

Науковий журнал

1.2011

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки

Хмельницький 2011

ВІСНИК ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Затверджений як фахове видання
Постановою президії ВАК України від 19.01.2006 № 2-05/1
(бюлетень ВАК України № 2 від 2006 р.)

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2011, № 1 (172)

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

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. Локазюк В.М., д.т.н. Либа В.П., д.т.н. Мазур М.П., 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. Поморова О.В., 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., к.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 Броженко В. О.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 5 від 24.11.2010 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: vagvestnik@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, 2011
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2011

ЗМІСТ

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ	
Я.Т. КІНИЦЬКИЙ НАУКОВА ДІЯЛЬНОСТІ ПРОФЕСОРА С.Г. КОСТОГРИЗА	7
В.С. КУРСКОЙ, А.М. ДАВИДОВ, І.М. ПАСТУХ ПЕРЕДУМОВИ ЙМОВІРНІСНОЇ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ МОДЕЛІ КОНТАКТУЮЧИХ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ ПОВЕРХНІ	11
Н.С. МАШОВЕЦЬ, І.М. ПАСТУХ, В.Г. КАПЛУН, С.М. ВОЛОШКО ОБґРУНТУВАННЯ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ МОДИФІКОВАНИХ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ	15
В.П. СВИДЕРСЬКИЙ, Л.М. КИРИЧЕНКО, І.І. ДАЦЕНКО ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ВТУЛОК КРОНШТЕЙНА МАЯТНИКОВОГО ВАЖЕЛЯ РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ АВТОМОБІЛЯ ГАЗ-21	19
М.С. СТЕЧИШИН, О.О.БІЛЕЦЬКИЙ РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ТА СПОСОБУ ОЦІНКИ КАВІТАЦІЙНО-ЕРОЗІЙНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ	22
В.С. ПАВЛОВ СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗАПАСУ ПРИ СКЛАДНОМУ ОПОРІ	26
Б.Ф. ППА, А.І. МАРЧЕНКО, В.В.ЧАБАН ДО ЗНИЖЕННЯ ПУСКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ В ПРИВОДІ КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН	31
Б.Ф. ППА, В.П. МІСЯЦЬ, В.В.ЧАБАН ДВОПОТОЧНА ФРИКЦІЙНА ПЕРЕДАЧА ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇЇ РОЗРАХУНКУ	34
Г.М. ДРАПАК, П.С. МАЙДАН СКЛАДАННЯ ЗАГОТОВОК ВЕРХУ ВЗУТТЯ ПРИ БАЗУВАННІ ДЕТАЛЕЙ З СИСТЕМОЮ ВІДЛІКУ КООРДИНАТ З КУТА ДЕТАЛІ	38
Т.П. РОМАНЕЦЬ МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ВАКУУМНИХ ЗАХВАТНИХ ПРИСТРОЇВ	41
Д.М. ЯКИМЧУК ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВИРУБУВАЛЬНИХ ПРЕСІВ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	46
О.В. БОРОВИК, О.Ю. ПОДОЛЯН МОДЕЛЬ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ЗРАЗКІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ВІДДІЛІВ ПРИКОРДОННОЇ СЛУЖБИ ТА МОБІЛЬНИХ ПІДРОЗДІЛІВ ОРГАНІВ ОХОРОНИ ДЕРЖАВНОГО КОРДОНУ	50
В.В. ДЖЕДЖУЛА, Н.М. СЛОБОДЯН ЕНЕРГОАУДИТ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ	56
С.І. ЯРЕМЧУК, Ю.О. ШАПОВАЛОВ ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ ОБ'ЄКТІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ВИДУ ДЕКОМПОЗИЦІЙНИМИ МЕТОДАМИ	59
О.С. ДРОБОТ, С.Я. ПІДГАЙЧУК, Н.М. ЯВОРСЬКА, Г.А. ПОКРИШКО СКЛАД ДЛЯ ОТРИМАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ З ДОБАВКАМИ НАНОРОЗМІРНИХ НІТРИДІВ	63
В.І. ОСИПЕНКО, О.О. СИТНИК, О.І. НЕКОЗ, Н.В. ФІЛІМОНОВА ОБґРУНТУВАННЯ ШЛЯХІВ ТЕХНІЧНОГО І ТЕХНОЛОГІЧНОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕКСТРУДЕРІВ	66
В.Т. КОНДРАТОВ ТЕОРИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ: НОВЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ НАРАБОТКИ НА МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ОТКАЗ. СООБЩЕНИЕ 1	74

В.Г. ПИСАРЕНКО, В.М. ІВАЩЕНКО, В.Г. БОРОДІН НАНОТЕХНОЛОГІЇ ЗНОСОСТІЙКОГО ПОКРИТТЯ	82
В. В. РОМАНЮК ОБЧИСЛЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПЛОЩ ПОПЕРЕЧНИХ ПЕРЕРІЗІВ У КОНСТРУКЦІЇ З ТРЬОМА ОПОРАМИ ЗА УМОВ ЧАСТКОВОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ СТИСКАЮЧИХ ЗУСИЛЬ НА ЕЛЕМЕНТИ З ПОЗДОВЖНЬОЮ СТІЙКІСТЮ	86
МЕЙСАМ ХАГРІЗАДЕ, В.С. КОВАЛЕНКО, Л.Ф. ГОЛОВКО, М.В. КІНДРАЧУК НОВІ МОЖЛИВОСТІ РОЗШИРЕННЯ МЕЖ ЗАСТОСУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ	94
РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ	
Б.Б. ПОСПЄЛОВ, О.М. ШИНКАРУК, Ю.О. БАБІЙ АДАПТАЦІЯ БАГАТОАНТЕННИХ СИСТЕМ ДО НЕВИЗНАЧЕНИХ УМОВ ЗВ'ЯЗКУ В MESH-МЕРЕЖАХ	99
Ю.М. БОЙКО, Н.М. СВОРНЬ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦИФРОВИХ МЕТОДІВ МОДУЛЯЦІЇ/ДЕМОДУЛЯЦІЇ В СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ ТА ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ	103
Д.Е. ІВАНОВ ПОДХОДИ К ПОСТРОЕНІЮ ПАРАЛЛЕЛЬНИХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЦИФРОВИХ СХЕМ ДЛЯ МНОГОЯДЕРНИХ СИСТЕМ	111
В.Д. МЕЛЬНИК, В.І. ШЕКЕТА, М.М. ДЕМЧИНА ВИВЕДЕННЯ ЗНАЧЕНЬ ЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ	118
Т.В. СІЧКО ФОРМАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ОСВІТНЬОГО СЕРЕДОВИЩА В МЕЖАХ СТВОРЕННЯ КОРПОРАТИВНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РЕГІОНАЛЬНОГО ОСВІТНЬОГО ЦЕНТРУ	123
О.Б. БЛІК НЕОБХІДНІСТЬ ТА ПРИНЦИПИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЗАКЛАДУ ОСВІТИ	127
А.М. МЕЛЬНИК, Р.М. ПАСІЧНИК МЕТОД АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ СТРУКТУРОЮ ПРОЦЕСУ НАВЧАННЯ	132
А.Б. ГОРКУНЕНКО, А.М. ЛУЦКІВ, С.А. ЛУПЕНКО МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА СТАТИСТИЧНИЙ СУМІСНИЙ АНАЛІЗ ВЗАЄМОПОВ'ЯЗАНИХ ЕКОНОМІЧНИХ ЦИКЛІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	137
В.Ю. ШАДХІН, М.В. РАЄВСЬКИЙ, А.М. ВЕСЄЛОВ РОЗРОБКА ЕВРИСТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ РОЗПОДІЛОМ ПОТОКУ ЗАЯВОК В СЕРВЕРНИХ СИСТЕМАХ	143
І.С. ПЯТІН, О.М. АДАБІР РОЗШИРЕННЯ ЧАСТОТНОГО ДІАПАЗОНУ ФАЗОВИХ ДЕТЕКТОРІВ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ	148
О.М. ШИНКАРУК, Л.В. КАРПОВА, В.М. ШВАЧІЙ ОБРОБКА ІМПУЛЬСНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНИХ ФЛУКТУАЦІЙ	153
С.В. МАТНЯК ВЗАЄМОДІЯ НЕМОНОХРОМАТИЧНОЇ СВІТЛОВОЇ ХВИЛІ З ПРОТОНОМ	158
В.В. МІШАН, Ю.М. БОЙКО ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ МАЛОШУМЛЯЧИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ВИСОКИХ ТА НАДВИСОКИХ ЧАСТОТ	162
В.П. ПАСІЧНИК, О.І. ПОЛКАРОВСЬКИХ АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ МАТЕРІАЛІВ В УЛЬТРАЗВУКОВІЙ ДЕФЕКТОСКОПІЇ	169

О.В. МАЗУРЕНКО, О.К. ЯНОВИЦЬКИЙ, К.Л. ГОРЯЩЕНКО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БОРТОВОЇ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ	173
Т.О. САВЧУК, О.В. СМІРНОВА МОДЕЛЬ АНАЛІЗУ ТЕХНОГЕННОЇ ПРОБЛЕМНОЇ СИТУАЦІЇ	178
А.В. КУДРЯШОВ, К.Л. ГОРЯЩЕНКО СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОВНИХ СИГНАЛІВ В СЕРЕДОВИЩІ МАТЛАВ	182
Т.О. САВЧУК, А.В. САКАЛЮК ЗАСТОСУВАННЯ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ КОЛАБОРАТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ	186
Т.О. САВЧУК, А.В. КОЗАЧУК РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ЦИСТЕРНИ	192
І.В. ТРОЦІШИН НАПРЯМКИ КВАНТОВОЇ ТЕОРІЇ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН НА ОСНОВІ ЄДИНОЇ ДРОБОВО-РАЦІОНАЛЬНОЇ ШКАЛИ ВИМІРЮВАНЬ	196
ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	
М.Г. МАРТОСЕНКО, О.В. ПАХОЛЮК, З.М. СЕМАК ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИННИХ БАРВНИКІВ ДЛЯ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ТА СВІТЛОСТАБІЛІЗАЦІЇ ЦЕЛЮЛОЗОМІСТКИХ ТЕКСТИЛЬНИХ ПОЛОТЕН	202
О.В. ЯРОЩУК, О.П. БОХОНЬКО, О.Ю. ЛЕПКАШ СТРУКТУРНИЙ ПІДХІД ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ВИРОБІВ З НИХ	209
О.Я. СЕМЕШКО, Ю.Г. САРИБЕКОВА, А.В. ЕРМОЛАЄВА ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ОБРАБОТКИ РАСТВОРОВ КИСЛОТНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ НА СКОРОСТЬ КРАШЕНИЯ ШЕРСТЯНОГО ВОЛОКНА	214
А.А. ГОРБАЧОВ, Г.В. САВЧЕНКО, Б.М. ЗЛОТЕНКО ВПЛИВ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ВОДИ НА ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХУТРА КРОЛЯ	217
А.Я. ГАНЗЮК, Ю.О. ЯФИНОВИЧ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АНТИСТАТИЧНОЇ ОБРОБКИ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	220
В.О. ПРИВАЛА, А.А. МИЧКО АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДО- І ВІТРОЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ І ПАКЕТІВ ДЛЯ ОДЯГУ	225
Т.М. ВАСИЛНИЧ ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ШКІРЯНОГО ВИРОБНИЦТВА ВІД ІОНІВ ХРОМУ	228
Л.В. ПЕЛИК ДОСЛІДЖЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ У ПРОЦЕСІ ТЕРМОСТАРИННЯ	231
Т.А. НАДОПТА АРЕАЛ ЗАСТОСУВАННЯ ЕМПІРИЧНОЇ МЕТОДИКИ ПРОЕКТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ВЕРХУ ВЗУТТЯ	234
Ю.І. ФОРДЗІОН ГРАФІЧНО-ЧИСЛОВИЙ СПОСІБ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ГІГІЄНИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВЗУТТЄВИХ МАТЕРІАЛІВ	239
В.Л. ФИЛИПЧУК ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД ВІД СВИНЦЮ	243
О.В. АВРАМЕНКО, Р.В. КАЧАН, Л.Д. МАСЛЕННИКОВА ТЕХНОЛОГІЯ ЗАХИСТУ ПОКРИТТІВ ПЕНТАФТАЛЕВОЇ ЕМАЛІ ПФ-115 ВІД БІОПОШКОДЖЕННЯ	246

І.А. МАНДЗЮК, В.П. НЕЗДОРОВІН, Ю.В. НЕЗДОРОВІНА РОЗРОБКА СКЛАДІВ І ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДХОДІВ БАЗАЛЬТОВИХ ВОЛОКОН	249
О.В. ЯРОЩУК АНАЛІЗ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ЕКСПЕРТИЗИ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ ДИТЯЧОГО АСОРТИМЕНТУ	252

УДК 621.01

Я.Т. КІНИЦЬКИЙ

Хмельницький національний університет

НАУКОВА ДІЯЛЬНОСТІ ПРОФЕСОРА С.Г. КОСТОГРИЗА

В роботі надано коротку інформацію про наукову діяльність доктора технічних наук, професора С.Г. Костогриза з нагоди його 70- річчя з дня народження.

Short information is in-process given about scientific activity of doctor of engineering sciences, professor S.G. Kostogriz on occasion of his 70- richchya from the day of birth.



Відомо, що будь-яка спроба оцінювання якості і здобутків науковця, а тим більше колеги, з яким працював поруч не один десяток років – справа не проста і не зовсім вдячна. Це я в черговий раз переконався, коли виникла потреба розповісти про проф. Костогриза С.Г., з яким мене звела доля у спільній праці з 1969 року і який розпочав свою науково-педагогічну діяльність на кафедрі опору матеріалів і деталей машин, а з 1970 року і до сьогодні є у складі науковців кафедри машинознавства попри те, що йому довелося, починаючи з 1975 року, працювати на керівних посадах декана механічного факультету та проректора з навчальної роботи, а тепер першого проректора університету.

Кафедра деталей машин у всіх вищих технічних закладах освіти завжди була центром загальноінженерної підготовки з механічних та технологічних спеціальностей. Потрібно звернути увагу на те, що Костогриз С.Г., який у 1963 році закінчив з відзнакою Львівський лісотехнічний інститут, добре вписався у викладацький склад кафедри деталей машин і у вирішення проблем її становлення та розвитку завдяки доброму, на мій погляд, вишколу, який він пройшов в інституті, аспірантурі, а також набутому за нетривалий час виробничому досвіду та військовій службі.

В 1969 році Сергій Григорович захистив у Білоруському технологічному інституті кандидатську дисертацію "Деякі питання дослідження коливань гусеничних трелювальних тракторів" за спеціальністю "машини і механізми лісової промисловості" [1]. Робота виконана у творчій співпраці із СКТБ Онезького тракторного заводу (м. Петрозаводськ) і спрямована на підвищення експлуатаційних характеристик трелювальних тракторів. Її виконання було пов'язане із ґрунтовним вивченням і аналізом коливальних процесів, які відбувалися в ходовій системі та трансмісії трактора, а також із проведенням широких експериментальних досліджень динамічних процесів у відповідних механізмах і, зокрема сил, моментів сил, прискорень, напружень та інше. Це дозволило йому суттєво підвищити рівень кваліфікації як інженера та науковця і, в першу чергу, в галузі загальної динаміки механізмів і машин, прикладної механіки, коливальних процесів та методики і техніки проведення експериментальних досліджень динамічних процесів в машинах, що зрештою позитивно вплинуло на подальше формування його як науковця.

Доречно згадати, що йому випала честь бути першим начальником науково-дослідного сектору нашого інституту, керівником першої госпдоговірної роботи [2], яку кафедра виконувала на замовлення Хмельницького радіотехнічного заводу і якій належить особлива роль у становленні і розвитку госпдоговірних робіт на кафедрі. Впродовж 1970–1990 років Костогриз С.Г. незмінно керував виконанням госпдоговірних науково-дослідних робіт [3–6], які кафедра виконувала на замовлення різних підприємств та установ бывшего СРСР, серед яких можна назвати Мічуринський приладобудівний завод Мінавіапрому СРСР, Ленінградський політехнічний інститут [3] та інші. При цьому він був не лише науковим керівником, але і безпосереднім виконавцем робіт, у т.ч. експериментальних досліджень, розробки конструкцій механізмів, машин і пристосувань. Конструкторські розробки, які виконував Костогриз С.Г., завжди відрізнялись високим рівнем закладених в них ідей та не менш високим виконавським рівнем. Тому не дивно, що його можна було віднести до тієї категорії працівників, які активно займалися винахідництвом, що дуже сприяло розвитку творчих зв'язків із промисловістю та підвищенню рівня фахової підготовки як викладачів, так і студентів. Ефективно була запроваджена на Мічуринському приладобудівному заводі гама винаходів під загальною назвою "Струмознімальні пристрої" [7–10], розроблених у співпраці з доц. Капустенським П.Г. Вдалою виявилась розробка "Стенд для динамічних випробувань пружних муфт", яка запроваджена у Ленінградському політехнічному інституті і на базі якої створена у 1988 році ще нині діюча установка для випробувань матеріалів на контактну втому [11]. Вона стала у нагоді своїм авторам (Костогриз С.Г. та д.т.н. Шалапко Ю.І.) при підготовці докторських дисертацій.

Потрібно мати на увазі, що у 70-80-і та на початку 90-х років робота над винаходом і доведення його до видачі авторського свідоцтва була надзвичайно працеємкою порівняно із підготовкою кількох солідних за обсягом наукових статей через високий обсяг патентних досліджень та багаторазової ділової переписки з фахівцями ВНДІПЕ. Останнє виявилось серйозним гальмом у розвитку винахідництва і значна

частина професорсько-викладацького складу в другій половині 80-х років за цієї причини суттєво послабило увагу і зацікавленість у винахідництві. На жаль, до цієї частини винахідників можна віднести і Костогриза С.Г., який суттєво з початку 90-х років відсунув цю роботу до "кращих" часів і повернувся до неї майже через десять років.

Період впродовж 70-х і майже до другої половини 80-х років для Костогриза С.Г. як для науковця не дивлячись на пристойні загальні показники результатів наукової роботи, був складним і неоднозначним. Він при цьому перебував у стані, який можна характеризувати відомим мудрим висловом "Тяжко нести і шкода кинути". Розуміти це треба так, що йому все важче і важче ставало займатись його традиційною лісотехнічною науковою тематикою з її тракторами, тягачами та іншою технікою, а шкода було кинути, так як на цьому тлі у нього були досить вагомими наукові здобутки, які можна було б з рештою довести до рівня, що достатній для представлення на здобуття докторського наукового ступеню. Зрештою останнє важко було досягти з огляду на певні проблеми поступової втрати необхідних наукових зв'язків з колегами-лісотехніками та цією галуззю. Натомість, реалії того часу були такими, що потрібно було вписуватись в русло наукових інтересів кафедри, тобто працювати за напрямом загального машинознавства. До середини 80-х років Костогриз С.Г. вже мав солідні наукові розробки і в цьому напрямі [11–17], але вони не були ще спрямовані в одне єдине потужне русло, а склалися з окремих розрізнених потічків. Як зібрати ці потічки в одне русло? Цю проблему допоміг вирішити проректор з наукової роботи кінця 80-х – початку 90-х років проф., д.т.н. Ковалевський В.В. Це відомий фахівець з фретинг-процесів, який порадив Костогризу С.Г., на той час проректорові з навчально-методичної роботи (їх кабінети розділяла приймальня проректорів), використати отримані ним результати і підходи до вивчення динамічних процесів з дослідження фретинг-змащування та фретинг-втоми у елементах номінально нерухомих з'єднань деталей машин. Крім того, свого часу ректор університету Сілін Р.І. допоміг Костогризу С.Г. налагодити творчі зв'язки з Інститутом проблем міцності АН України в особі його директора академіка Писаренка Г.С. та з провідними вченими цього інституту. Все це, зрештою, допомогло Костогризу С.Г. визначитись з темою наукової роботи, яку можна було б представити на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.02.04 – тертя та зношування в машинах. В період з 1988 по 1995 рр. він активно працює над дослідженням вібраційного тертя у номінально нерухомому фрикційному контакті. За цей час розробив і довів до виготовлення кілька установок для експериментального дослідження реверсивного тертя в механічному контакті. Серед них оригінальна установка для дослідження триботехнічних характеристик номінально нерухомого фрикційного контакту методом вібрувальної похилої площини, установка для дослідження фретинг-втоми [18], пристрій для вимірювання сили тертя [19], спосіб вимірювання сили тертя [20], пристрій для випробування на тертя [21], спосіб визначення стійкості до фретинг-втоми [22], спосіб збудження механічних коливань заданої амплітуди [23] та інші. Впродовж цих років він активно займається як науковий керівник та безпосередній виконавець госпдоговірною науково-дослідною роботою [24].

В грудня 1995 р. Костогриз С.Г. успішно захищає в нашому університеті докторську дисертацію на тему "Механіка вібраційного тертя у номінально нерухомому фрикційному контакті" [25]. Цю наукову роботу були всі підстави назвати в той час піонерською, оскільки вона започаткувала відкриття нового наукового напрямку однойменної з темою дисертації назвою. Не викликає жодних сумнівів те, що вона є вагомим внеском в теорію тертя спокою і, зокрема, в ту її частину, яку започаткував Верховський А.В. і яка має назву теорії попереднього зміщення.

Одним із основних і найбільш важливих результатів цієї роботи є одержання Костогризом С.Г. аналітичної залежності між тангенціальним напруженням зсуву τ та відносним переміщенням ε елементів номінально нерухомого фрикційного контакту в процесі попереднього зміщення, які мають такий вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \text{при } 0 \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{\max} \quad \tau = qf \left[\varepsilon - \frac{n}{(n+1)^{\frac{n+1}{n}}} \varepsilon^{\frac{n+1}{n}} \right]; \\ \text{при } \varepsilon \geq \varepsilon_{\max} \quad \tau = qf, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

де q – номінальний тиск в контакті;
 f – коефіцієнт тертя контактних пар;
 n – параметр пластичності контакту.
Відносна деформація зсув в контакті

$$\varepsilon = \frac{x}{\Delta_{\text{пр}}}, \quad (2)$$

де x – взаємне переміщення елементів контакту в межах попереднього зміщення;
 $\Delta_{\text{пр}}$ – пружна частина попереднього зміщення.
Параметр пластичності контакту

$$n = \frac{\Delta_{\text{пл}}}{\Delta_{\text{пр}}},$$

де $\Delta_{\text{пл}}$ – пластична частина повного попереднього зміщення.

Параметр пластичності контакту " n " вперше введений Костогризом С.Г. для оцінювання пластичних властивостей номінального нерухомого фрикційного контакту (ННФК). Причому, цей параметр має цілком конкретний фізичний зміст як пластична частина максимальної відносної деформації зсуву в ННФК, яка відповідає так званому "зриву" та переходу до фрикційного ковзання по всій площі контакту, а зі збільшенням n відносна деформація в контакті, тобто попереднє зміщення, збільшується. Параметр n може приймати будь-які значення в межах $0 < n < \infty$. Від цього залежить порядок показникового рівня (1), з якого можна одержати всі відомі часткові випадки описання кривої (1) початкового навантаження ННФК. Це рівняння буде квадратним при $n = 1$, кубічним – при $n = 0,5$, степені $3/2$ – при $n = 2$. Тому не буде перебільшенням, якщо зазначити, що рівняння (1) так званого початкового навантаження зсувом номінально нерухомого фрикційного контакту, що має пружно-пластичні властивості, є для нього універсальним.

Залежність (1) дозволила Костогризу С.Г. окреслити основи того, що названо ним механікою вібраційного тертя у номінально нерухомому фрикційному контакті і започаткувати відповідну наукову школу. Один з його учнів, доц. Шалапко Ю.І., виконав прекрасну роботу "Інноваційні моделі в механіці номінально нерухомого фрикційного контакту" і успішно захистив її на здобуття наукового ступеню доктора технічних наук [26].

Однак, незважаючи на вагомні наукові досягнення Костогриза С.Г. в теорії тертя і в машинознавстві, він виявив себе також серйозним вченим в галузі педагогіки вищої школи [27, 28]. Це обумовлене тим, що він майже 29 років працює на посаді проректора та безпосередньо займається організацією і методичним забезпеченням навчального процесу. Тому впродовж останніх 5-10 років Костогриз С.Г. активно займався розвитком теоретичних основ системного моніторингу якості навчального процесу у вищих закладах освіти, що дозволило йому разом із проф. Скибою М.Є. і доц. Красильниковою Г.В. у 2010 році видати наукову монографію "Моніторинг якості навчального процесу у вищому закладі освіти" [29]. Потрібно зазначити, що в цій роботі Костогриз С.Г. для аналізу глибинних чинників формування якості навчального процесу розробив структуру формування якості навчального процесу із виділенням в ній семи базових (основних) складових та використав векторне описання вхідних і вихідних процесів формування якості та подання зв'язку між ними у вигляді первинної та узагальненої матриць якості навчального процесу. Останнє дозволило реально та об'єктивно відслідковувати якість навчального процесу на всіх його організаційних та структурних рівнях формування. Ця робота, на мій погляд, має перспективу широкого практичного застосування у вищих навчальних закладах освіти.

В цілому, підводячи підсумки наукової діяльності професора, д.т.н., заслуженого працівника освіти України Костогриза С.Г., можна зазначити, що вона була плідною, потрібною і відкриває подальші перспективи розвитку започаткованих ним наукових напрямів. Він є автором більше 218 наукових робіт, з них чотирьох монографій [27–30], 27 авторських свідоцтв або патентів на винаходи, багато з яких запроваджені у виробництво, 7 наукових рецензій на монографії або навчальні посібники. Він активно працює в спеціалізованій вченій раді з захисту докторських і кандидатських дисертацій зі спеціальностей "Машинознавство" і "Тертя та зношування в машинах". Багато років був членом експертної комісії ВАК України, членом редакційних колегій наукового журналу "Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки" та міжнародного наукового журналу Хмельницького національного університету "Проблеми трибології" та різних наукових або методичних збірників, що видаються університетом. Під його науковим керівництвом захищено 1 докторську та 3 кандидатські дисертації [31–33].

Нас, викладачів кафедри, вражає надзвичайно високий професіоналізм Сергія Григоровича, його працездатність і високий коефіцієнт корисної дії. Здається чудом, що одна людина може стільки всього зробити: бути одним із провідних керівників університету, активно займатися науковою, навчально-методичною і виховною роботою, допомагати іншим і, в той же час, залишитися добрим господарем – майстром на всі руки, прекрасним сім'янином, винятково порядною людиною. І якщо б мене спитали наші студенти – з кого їм брати приклад, то я, не задумуючись, сказав би брати приклад із проф. Костогриза С.Г.

Багатолітня та сумлінна праця С.Г. Костогриза відзначена орденом "Знак пошани", знаком "Винахідник СРСР", йому присвоєне почесне звання "Заслужений працівник народної освіти України", "Заслужений професор Технологічного університету Поділля", але, як на мене, найбільша нагорода для нього – глибока шана і повага всього колективу університету, його друзів і рідних, вчених і практиків у галузі машинобудування і освіти [34, 35].

Література

1. Коливання у підвісках гусеничних трельовальних тракторів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.06.12 / С. Г. Костогриз. – Мінськ : Білоруський технологічний інститут, 1995. – 22 с.
2. Исследование и разработка методов оперативного контроля и прогнозирования технологической точности металлорежущих станков : отчет о НИР : 54 / Хмельниц. технол. ин-т бытового обслуживания ; рук. С. Г. Костогрыз ; исполн.: В. Е. Алехнович [и др.]. – Хмельницкий, 1976. – 174 с. – Библиогр.: с. 167–173. – № ГР 74015000. – Инв. № Б589616.
3. Проектирование и изготовление стенда для динамических испытаний упругих муфт : отчет о НИР : 28-79 / Хмельниц. технол. ин-т бытового обслуживания ; рук. С. Г. Костогрыз ; исполн.: В. А. Игошин [и др.]. – Хмельницкий, 1980. – 83 с. – Библиогр.: с. 83. – № ГР 79070551. – Инв. № Б896531.

4. Исследование износостойкости сталей и алюминия после лазерной обработки : отчет о НИР : 1–86 / Хмельниц. технол. ин-т бытового обслуживания ; рук. С. Г. Костокрыз ; исполн.: А. А. Овчинников [и др.]. – Хмельницкий, 1987. – 44 с. – Библиогр.: с. 39–43. – № ГР 0186.0031528. – Инв. № 02.88.0014103.
5. Трибологические характеристики образцов после лазерной обработки : отчет о НИР : 24–88 / Хмельниц. технол. ин-т бытового обслуживания ; рук. С. Г. Костокрыз ; исполн.: А. А. Овчинников, Г. А. Кошонько, А. В. Паршенко. – Хмельницкий, 1989. – 69 с. – Библиогр.: с. 68–69. – № ГР 0188.0081958. – Инв. № 02.8.90 065015.
6. Разработка комплексов на базе ПЭВМ для компьютеризации обучения в системе народного образования : отчет о НИР / Хмельниц. технол. ин-т ; рук. С. Г. Костокрыз ; исполн.: Н. И. Катричев [и др.]. – Хмельницкий, 1990. – 34 с. – Библиогр.: с. 34. – № ГР 0189.0075255. – Инв. № 02.9.10 027475.
7. А. с. 654992 СССР, МКИ² Н 01 R 39/18. Токосъемное устройство / С. Г. Костокрыз, П. И. Капустенский (СССР). – № 2436981/24–07 ; заявл. 03.01.77 ; опубл. 30.03.79, Бюл. № 12.
8. А. с. 756528 СССР, МКИ³ Н 01 R 39/18. Токосъемное устройство / С. Г. Костокрыз, П. И. Капустенский (СССР). – № 2661247/24–07 ; заявл. 06.09.78 ; опубл. 15.08.80, Бюл. № 30.
9. А. с. 1246204 СССР, МКИ⁴ Н 01 R 39/18. Многоканальное токосъемное устройство / С. Г. Костокрыз, П. И. Капустенский, Ю. В. Григорьев, Е. М. Семенов (СССР). – № 3768999/ 24–07 ; заявл. 26.07.84 ; опубл. 23.07.86, Бюл. № 27.
10. А. с. 1317533 СССР, МКИ⁴ Н 01 R 39/18. Токосъемное устройство / П. И. Капустенский, С. Г. Костокрыз, Ю. В. Григорьев, Е. М. Семенов, Л. Г. Корепанов (СССР). – № 3901095/24–07 ; заявл. 24.05.85 ; опубл. 15.06.87, Бюл. № 22.
11. А. с. 1536264 СССР, МКИ⁵ G 01 N 3/56. Установка для испытаний материалов на контактную выносливость / С. Г. Костокрыз, В. В. Ковалевский, В. Г. Каплун, Б. А. Ляшенко, Ю. И. Шалапко, Ю. С. Пивоваров (СССР). – № 4443383/25–28 ; заявл. 16.05.88 ; опубл. 15.01.90, Бюл. № 2.
12. Костокрыз С. Г. Универсальный стенд для испытания образцов с поверхностным упрочнением / С. Г. Костокрыз // Повышение надежности и долговечности материалов и деталей машин на основе новых методов термической и химико-термической обработки : тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф., Хмельницкий, 20–22 сентября 1988. – М. : ВНТОМ, 1988. – С. 40.
13. Ковалевский В. В. Физико-химические и технологические аспекты управления изнашиванием в условиях фреттинг-процесса / В. В. Ковалевский, С. Г. Костокрыз // Современные проблемы триботехнологии : тез. докл. I Всесоюз. науч.-техн. конф. – Николаев, 1988.
14. Капустенский П. И. Исследование триботехнических характеристик контактных пар измерительных токосъемных устройств / П. И. Капустенский, С. Г. Костокрыз, В. И. Петяк // Управление триботехническими и прочностными свойствами механических систем : сб. науч. тр. – К., 1990. – С. 76–80.
15. Костокрыз С. Г. К обоснованию параметров упругости системы установок для испытания материалов на фреттинг-усталость / С. Г. Костокрыз // Управление триботехническими и прочностными свойствами механических систем : сб. науч. тр. – К., 1990. – С. 71–75.
16. Ковалевский В. В. Виброустойчивость и надежность винтовых пар технологического оборудования / В. В. Ковалевский, С. Г. Костокрыз // Надежность технологического оборудования, качество поверхности, трение, износ : тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. – Хабаровск, 1991. – С. 28.
17. Ковалевский В. В. Влияние лазерного облучения на характеристики предварительного смещения при малоамплитудном фреттинге / В. В. Ковалевский, С. Г. Костокрыз // Надежность технологического оборудования, качество поверхности, трение, износ : тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. конф. – Хабаровск, 1991. – С. 37.
18. А. с. 1758506 СССР, МКИ⁵ G 01 N 3/56. Пара трения для испытания на фреттинг-усталость при изгибе / В. В. Ковалевский, С. Г. Костокрыз, П. И. Капустенский, Е. А. Збитнев, В. В. Каменюк, С. Е. Срагович (СССР). – № 4860653/28 ; заявл. 18.06.90 ; опубл. 30.08.92, Бюл. № 32.
19. А. с. 1714467, МКИ⁵ G 01 N 19/02. Устройство для измерения силы трения / В. В. Ковалевский, С. Г. Костокрыз, П. И. Капустенский, Е. А. Збитнев, В. В. Каменюк (СССР). – № 4704052/28 ; заявл. 12.06.89 ; опубл. 23.02.92, Бюл. № 7.
20. А. с. 1672307 СССР, МКИ⁵ G 01 N 19/02. Способ измерения силы трения / В. В. Ковалевский, С. Г. Костокрыз, П. И. Капустенский, Е. А. Збитнев, А. И. Телега, Ю. И. Шалапко (СССР). – № 4699724/28 ; заявл. 18.04.89 ; опубл. 23.08.91, Бюл. № 31.
21. А. с. 1718049, МКИ⁵ G 01 N 19/02. Способ измерения силы трения / В. В. Ковалевский, С. Г. Костокрыз, П. И. Капустенский, Е. А. Збитнев, А. И. Телега, Ю. И. Шалапко (СССР). – № 4729148/28 ; заявл. 14.08.89 ; опубл. 7.03.92, Бюл. № 9.
22. А. с. 1810794 СССР, МКИ⁵ G 01 N 3/56. Способ определения стойкости поверхности к фреттинг-усталости / В. В. Ковалевский, С. Г. Костокрыз, П. И. Капустенский, Е. А. Збитнев, Л. И. Попох, Т. П. Романец (СССР). – № 4928506/28 ; заявл. 17.04.91 ; опубл. 23.04.93, Бюл. № 15.
23. А. с. 1829205 СССР. Устройство для возбуждения механических колебаний заданной амплитуды / В. В. Ковалевский, С. Г. Костокрыз, П. И. Капустенский, Е. А. Збитнев (СССР). – заявл. 13.10.92 (Не подлежит опубликованию).
24. Експлуатаційна цілісність з'єднань елементів конструкцій при динамічному навантаженні в умовах розвитку фреттинг-корозії контактних поверхонь : звіт про НДР (закл.) : 2Б–2003 / Хмельниц. нац.

ун-т ; кер. С. Г. Костоґриз ; викон.: Ю. І. Шалапко [та ін.]. – Хмельницький, 2004. – 260 с. – Бібліогр.: с. 249–260. – № ДР 0103U001205. – Інв. № 0502U002288.

25. Механіка вібраційного тертя в номінально нерухомому фрикційному контакті : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : 05.02.04 / С. Г. Костоґриз ; Технол. ун-т Поділля. – Хмельницький, 1995. – 39 с.

26. Еволюційні моделі фретинг-процесів у номінально-нерухомому фрикційному контакті : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук : 05.02.04 / Хмельниц. нац. ун-т / Ю. В. Шалапко. – Хмельницький, 2009. – 38 с.

27. Державні стандарти професійної освіти: теорія і методика : монографія / [С. У. Гончаренко, Н. Г. Ничкало, В. Л. Пертенко, С. Г. Костоґриз та ін.]; за ред. Н. Г. Ничкало. – Хмельницький : ТУП, 2002. – 334 с.

28. Віхи поступу : до 40-річчя з дня заснування механічного факультету / [Р. І. Сілін, С. Г. Костоґриз, І. Ф. Ткачук та ін.]; заг. ред. С. С. Ковальчук ; Хмельниц. нац. ун-т. – Хмельницький : ХНУ, 2007. – 310 с.

29. Скиба М. Є. Моніторинг якості навчального процесу у вищому закладі освіти : [монографія] / М. Є. Скиба, С. Г. Костоґриз, Г. В. Красильникова. – Хмельницький : ХНУ, 2009. – 219 с.

30. Кіницький Я.Т. Кулачково-цівкові механізми переривчастого обертового руху вихідної ланки : [монографія] / Я. Т. Кіницький, С. Г. Костоґриз, Я. О. Підгайчук. – Хмельницький : ХНУ, 2010. – 194 с.

31. Формування поверхонь шнеків ливарних машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.02.02 / Технол. ун-т Поділля / О. М. Хіблін. – Хмельницький, 1997. – 17 с.

32. Підвищення працездатності циліндричних кінематичних пар з розривами поверхонь у ротаційних системах : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.02.02 / Технологічний ун-т Поділля / Е. А. Манзюк. – Хмельницький, 2003. – 22 с.

33. Розробка та синтез кулачково-цівкових механізмів переривчастого обертового руху вихідної ланки : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.02.02 "Машинознавство" / Хмельниц. нац. ун-т / Я. О. Підгайчук. – Хмельницький, 2009. – 23 с.

34. Кіницький Я. Наш загадковий проректор (перший проректор, д.т.н., проф. С. Г. Костоґриз) / Я. Кіницький, В. Ткач // Університет. – 2006. – № 1 (54). – С. 3.

35. Костоґриз С.Г. Кафедра машинознавства за 40 років розбудови : [довідник / уклад. Я. Т. Кіницький]. – Хмельницький : ПП Цюпак А.А., 2009. – С. 13–14.

Надійшла 5.1.2011 р.

УДК 621.81: (621.891+620.194)

В.С. КУРСКОЙ, А.М. ДАВИДОВ, І.М. ПАСТУХ
Хмельницький національний університет

ПЕРЕДУМОВИ ЙМОВІРНІСНОЇ ІНТЕРПРЕТАЦІЇ МОДЕЛІ КОНТАКТУЮЧИХ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ ПОВЕРХНІ

Отримано рішення для параметрів напруженого стану в мікроелементах контактуючих поверхонь з урахуванням ймовірнісної інтерпретації характеристик модельних параболоїдів

A decision for the parameters of the tense consisting is got of oligoelementss of contacting surfaces taking into account probabilistic interpretation of descriptions of model paraboloids.

Ключові слова: пружний контакт, рівнодійна сила, щільність вірогідності випадкових величин.

Одним з найважливіших етапів розв'язку задачі контактування двох модельних еліптичних параболоїдів [1, 2, 4] є визначення результуючої сили пружної взаємодії, що дозволить не лише оцінити міцнісні характеристики реального контакту, а й спрогнозувати його поведінку в умовах динамічного навантаження. В роботі [3] наведено приклад розв'язку задачі визначення рівнодійної сили в модельному контакті з перетворенням системи координат так, що один з елементів розміщується в початку координат, а його осі розташовані паралельно осям координат. Проте у випадку аналізу значної кількості елементів корегування напрямків є проблематичним. Тому доцільним було б розв'язання задачі для довільного розташування елементів.

Лінія взаємного проникнення двох еліптичних параболоїдів визначається розв'язком системи рівнянь:

$$\begin{cases} z = \frac{(x \cdot \cos(\alpha_1) - y \cdot \sin(\alpha_1))^2}{a} + \frac{(x \cdot \sin(\alpha_1) - y \cdot \cos(\alpha_1))^2}{b} + \Delta z \\ z = \frac{(x \cdot \cos(\alpha_2) - y \cdot \sin(\alpha_2) - \Delta x)^2}{c} + \frac{(x \cdot \sin(\alpha_2) - y \cdot \cos(\alpha_2) - \Delta y)^2}{d} \end{cases} \quad (1)$$

де a, b, c, d – коефіцієнти відповідно матриці та пуансона;

$\Delta x, \Delta y, \Delta z$ – зміщення пуансона одне відносно матриці по осях x, y та z відповідно;

α_1, α_2 – кути поворотів для параболоїдів пуансона та матриці.

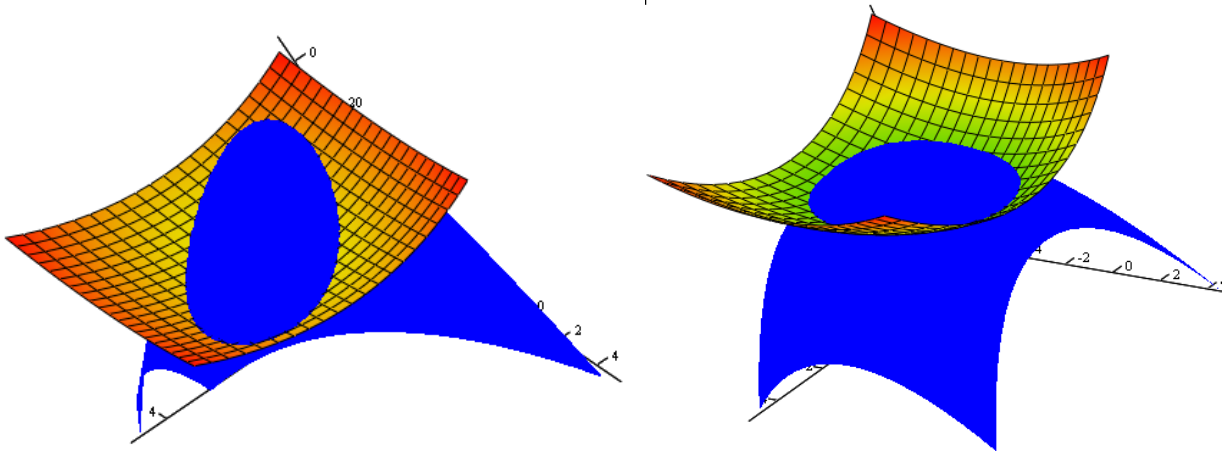


Рис. 1. Загальний вигляд тривимірного представлення модельного контакту для відносного кута повороту 0° та 45° відповідно

Розв'язання системи рівнянь дозволяє отримати залежність для визначення абсцис, яка в загальному вигляді може бути представлена у вигляді:

$$A \cdot x^2 + B \cdot x + C \cdot y^2 + D \cdot y + G \cdot x \cdot y + F = 0, \quad (2)$$

де введені заміною константи:

$$A = \frac{1}{b} + \frac{1}{d} + \frac{\sin(\alpha_1)^2 - 1}{a} + \frac{\sin(\alpha_1)^2 - 1}{b} + \frac{\sin(\alpha_2)^2 - 1}{c} + \frac{\sin(\alpha_2)^2 - 1}{d}, \quad (3)$$

$$B = \frac{2 \cdot \Delta y \cdot \cos(\alpha_2)}{d} + \frac{4 \cdot \Delta x \cdot (\cos(\frac{\alpha_2}{2})^2 - 1)}{c}, \quad (4)$$

$$C = \frac{1}{a} + \frac{1}{c} + \frac{\sin(\alpha_1)^2 - 1}{a} + \frac{\sin(\alpha_1)^2 - 1}{b} + \frac{\sin(\alpha_2)^2 - 1}{c} + \frac{\sin(\alpha_2)^2 - 1}{d}, \quad (5)$$

$$D = -\frac{2 \cdot \Delta x \cdot \sin(\alpha_2)}{c} + \frac{4 \cdot \Delta x \cdot (\cos(\frac{\alpha_2}{2})^2 - 1)}{d}, \quad (6)$$

$$G = -\frac{\sin(2\alpha_1)}{a} - \frac{\sin(2\alpha_1)}{b} + \frac{\sin(2\alpha_2)}{c} + \frac{\sin(2\alpha_2)}{d}, \quad (7)$$

$$F = -\frac{\Delta x^2}{c} - \frac{\Delta y^2}{d} + \Delta z. \quad (8)$$

$$y(x) = -\frac{D + G \cdot x \pm \sqrt{D^2 + 2 \cdot D \cdot G \cdot x + G^2 \cdot x^2 - 4 \cdot A \cdot C \cdot x^2 - 4 \cdot B \cdot C \cdot x - 4 \cdot C \cdot F}}{2 \cdot C}. \quad (9)$$

Область визначення отриманої функції, а отже і область перетину фігур визначається розв'язком нерівності з урахуванням того, що всі сталі коефіцієнти рівнянь еліптичних параболоїдів більші нуля.

$$D^2 + 2 \cdot D \cdot G \cdot x + G^2 \cdot x^2 - 4 \cdot A \cdot C \cdot x^2 - 4 \cdot B \cdot C \cdot x - 4 \cdot C \cdot F \geq 0. \quad (10)$$

В загальному вигляді нулі отриманого квадратного тричлену мають вигляд

$$x = \pm \frac{(2 \cdot B \cdot C - D \cdot G) \mp \sqrt{(2 \cdot D \cdot G - 4 \cdot B \cdot C)^2 - 4 \cdot (G^2 - 4 \cdot A \cdot C) \cdot (D^2 - 4 \cdot C \cdot F)}}{G^2 - 4 \cdot A \cdot C}. \quad (11)$$

Тоді діапазон абсцис перетину, який потрібно визначити: $[x_{\min}; x_{\max}]$.

Аналогічно визначаємо діапазон ординат:

$$x(y) = -\frac{B + G \cdot y \pm \sqrt{B^2 + 2 \cdot B \cdot G \cdot y + 2 \cdot G^2 \cdot y^2 - 4 \cdot A \cdot C \cdot y^2 - 4 \cdot A \cdot D \cdot y - 4 \cdot A \cdot F}}{2 \cdot A}. \quad (12)$$

Область визначення отриманої функції, а отже і область перетину фігур визначається з нерівності з урахуванням того, що всі сталі коефіцієнти рівнянь еліптичних параболоїдів більші нуля:

$$B^2 + 2 \cdot B \cdot G \cdot y + 2 \cdot G^2 \cdot y^2 - 4 \cdot A \cdot C \cdot y^2 - 4 \cdot A \cdot D \cdot y - 4 \cdot A \cdot F \geq 0, \quad (13)$$

$$y = \pm \frac{(2 \cdot A \cdot D - B \cdot G) \mp \sqrt{A^2 \cdot D^2 - 4 \cdot C \cdot F \cdot A^2 - C \cdot A \cdot B^2 - A \cdot B \cdot D \cdot G + F \cdot A \cdot G^2}}{G^2 - 4 \cdot A \cdot C}. \quad (14)$$

Межі перетину по осі ординат $[y_{\min}; y_{\max}]$.

Загальний об'єм зони перетину визначаємо з формули:

$$V = \iint_D (f_1(x, y) - f_2(x, y)) dx dy, \quad (15)$$

де D – область перетину параболоїдів, межі якої визначаються як $[x_{\min}, x_{\max}]$ та $[y_{\min}, y_{\max}]$ для абсцис та ординат відповідно.

Величина загальних відносних деформацій буде визначатися із співвідношення

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{V \Delta}{V_1 + V_2}, \quad (16)$$

де V_1 та V_2 – об'єми, що охоплюються еліптичними параболоїдами та площинами основ.

Для визначення напрямку вектору рівнодійної сил необхідно визначити реальну поверхню контакту з урахуванням пружних характеристик модельних фігур. Для цього було застосовано методики наведену в [1]. Загальний вигляд отриманої поверхні представлено на рис. 2.

Для визначення результуючого вектора розглянемо контакт двох параболоїдів, представивши його як суму дискретних контактів.

Результуючий вектор взаємодії може бути представлений у вигляді:

$$\vec{F}_r = |F| \cdot \vec{N}, \quad (17)$$

де $|F|$ – модуль сили пружної взаємодії, який визначається з геометричних та пружних характеристик матеріалу;

\vec{N} – рівнодійний нормальний одиничний вектор в даній точці.

Визначення модулю сили в контакті виконуємо за наступною формулою:

$$|F| = E \cdot \varepsilon \cdot S, \quad (18)$$

де S – площа поверхні, що деформується.

Величини відносних деформацій для конкретного параболоїда визначаються так:

$$\varepsilon_i = \frac{V_i \Delta}{V_i}, \quad (19)$$

де $V_i \Delta$ – об'єм частини параболоїда, що деформується в перетині, який визначається як різниця об'ємів загальної зони перетину та зони, що відсікається поверхнею розподілу.

Критерієм визначення дискретного одиничного вектора є кути відносно осей координат. Визначення кута нахилу результуючого вектору відносно системи виконується визначенням нормального результуючого вектора та знаходженням кутів між знайденим вектором та осями координат.

Побудова нормального вектора в заданій точці визначеної поверхні виконується наступним чином:

$$\vec{N}_i = \begin{pmatrix} \frac{d}{dx} f_R(x_i, y_i) \\ \frac{d}{dy} f_R(x_i, y_i) \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (20)$$

Тоді результуючий вектор може бути представлений у вигляді:

$$\vec{N} = \begin{pmatrix} \int_{y \min}^{y \max} \int_{x \min}^{x \max} \left(\frac{d}{dx} f_R(x, y) \right) dx dy \\ \int_{y \min}^{y \max} \int_{x \min}^{x \max} \left(\frac{d}{dy} f_R(x, y) \right) dx dy \\ \int_{y \min}^{y \max} \int_{x \min}^{x \max} dx dy \end{pmatrix}. \quad (21)$$

Аналіз геометричних характеристик реальних поверхонь свідчить про те, що практично всі вони є величинами випадковими, звідки слідє висновок, що подальше розв'язання задачі контакту мікроелементів слід реалізовувати на основі математичного апарату випадкових величин. Головні передумови цієї частини рішення зводяться до наступного.

Розглянемо випадкову величину Y , утворену в результаті функціонального перетворення сукупності незалежних випадкових величин X_1, \dots, X_n , так що значення величини Y :

$$y = f(x_1, \dots, x_n), \quad (22)$$

де x_1, \dots, x_n – значення величин X_1, \dots, X_n , а f – не випадкова функція. Передбачається відома n – мірна щільність вірогідності

$$w(x_1, \dots, x_n) = \prod_{k=1}^n w(x_k),$$

де $w(x_k)$ – одновимірна щільність відповідних випадкових величин.

Потрібно знайти щільність вірогідності $w(y)$ випадкових величин Y .

Запишемо вираз для сумісної щільності вірогідності величин Y, X_1, \dots, X_n :

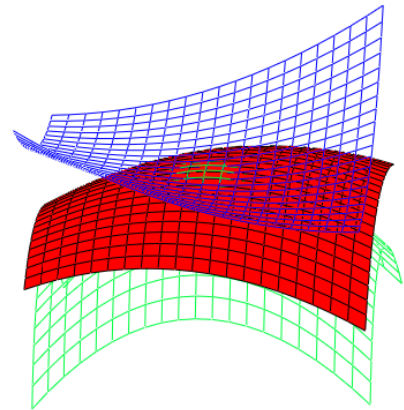


Рис. 2. Деформована поверхня розділу зони контакту

$$w(y, x_1, \dots, x_n) = w(y / x_1, \dots, x_n) w(x_1, \dots, x_n),$$

де $w(y / x_1, \dots, x_n)$ – умовна щільність вірогідності величини Y при заданих значеннях величин X_1, \dots, X_n .

Враховуючи детермінований характер зв'язку (22), ця щільність може бути виражена через дельта-функцію Діраку:

$$w(y / x_1, \dots, x_n) = \delta(y - f(x_1, \dots, x_n)) \prod_{k=1}^n w(x_k).$$

Таким чином

$$w(y, x_1, \dots, x_n) = \delta(y - f(x_1, \dots, x_n)) \prod_{k=1}^n w(x_k)$$

Шукана щільність вірогідності знаходиться n -кратним інтегруванням:

$$w(y) = \int \dots \int_A w(y, x_1, \dots, x_n) dx_1 \dots dx_n = \int \dots \int_A \delta(y - f(x_1, \dots, x_n)) \prod_{k=1}^n w(x_k) dx_1 \dots dx_n,$$

де A – область застосування сукупності x_1, \dots, x_n .

Подальше просування завдання в загальному вигляді представляється проблематичним. З огляду на це, можна знизити на одиницю кратність інтеграції, якщо скористатися властивістю дельта-функції, що фільтрує. Для цього введемо заміну змінною інтеграції $z = f(x_1, \dots, x_n)$ у інтегралі за будь-якою змінною, наприклад x_1 :

$$I_1 = \int_{A_1} \delta(y - f(x_1, \dots, x_n)) w(x_1) dx_1$$

де A_1 – область інтегрування за змінною x_1 , тоді

$$dz = \frac{\partial f(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_1} dx_1; \quad x_1 = f^{-1}(z, x_2, \dots, x_n)$$

Тут f^{-1} – символ зворотної відносно f -функції змінної x_1 . Якщо зворотна функція однозначна, то:

$$I = \int_{B_1} \delta(y - z) \left[w(x_1) \frac{1}{\frac{\partial f(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_1}} \right]_{x_1=f^{-1}(z, x_2, \dots, x_n)} dz = \int_{B_1} \delta(y - z) \left[w(x_1) \frac{1}{\frac{\partial f(x_1, \dots, x_n)}{\partial x_1}} \right]_{x_1=f^{-1}(z, x_2, \dots, x_n)} dz = I(y, x_2, \dots, x_n),$$

де B_1 – область інтегрування за змінною z .

Отже, в цьому випадку:

$$w(y) = \int \dots \int_B I(y, x_2, \dots, x_n) \prod_{k=2}^n w(x_k) dx_2 \dots dx_n,$$

де B – область інтегрування за змінними x_2, \dots, x_n .

Нехай деяка випадкова величина x характеризується рівномірним законом розподілу на інтервалі $(0, v)$ причому v , у свою чергу, також є випадковою величиною із заданим законом розподілу $w(v)$. Таким чином можна записати умовну щільність величини x .

$$\begin{aligned} w(x/v) &= \frac{1}{v} \text{ при } 0 \leq x \leq v, \\ w(x/v) &= 0 \text{ при } 0 < x \text{ и } x > v. \end{aligned} \quad (23)$$

Причому v приймає тільки позитивні значення.

Сумісна щільність вірогідності величин x і v може бути виражена як

$$w(x, v) = w(x/v) w(v).$$

А безумовна щільність вірогідності величини x знаходиться шляхом інтеграції

$$w(x) = \int_0^{\infty} w(x/v) w(v) dv.$$

У даному конкретному випадку, враховуючи умову (1), отримаємо

$$w(x) = \int_x^{\infty} \frac{1}{v} w(v) dv.$$

Приклад. Нехай $w(v)$ є релеєвским законом розподілу з параметром σ :

$$w(v) = \frac{v}{\sigma^2} e^{-\frac{v^2}{2\sigma^2}} \quad 0 < v < \infty,$$

$$w(x) = \int_x^\infty \frac{1}{v} \cdot \frac{v}{\sigma^2} e^{-\frac{v^2}{2\sigma^2}} dv = \frac{\sqrt{2}}{\sigma} \int_{x/\sqrt{2}\sigma}^\infty e^{-t^2} dt = \frac{\sqrt{\pi}}{\sqrt{2}\sigma} \left[1 - \operatorname{erf} \frac{x}{\sqrt{2}\sigma} \right].$$

Висновок. Викладена методика створює передумови для розв'язання задачі контакту мікроелементів поверхні, створеної на основі концепції еліптичних параболоїдів як сукупності випадкових факторів. З врахуванням того, що раніше встановлено характер розподілу головних з цих характеристик, можливе отримання рішення для параметрів напруженого стану в мікроелементах. В цьому випадку стає вірогідним створення моделі поведінки певної сукупності мікроелементів в координатах тривалості циклічних навантажень, тобто прогнозування розкриття стику.

Література

1. Пастух І.М., Курской В.С. Методика ідентифікації поверхонь фретинг-контакту / І. М. Пастух, В. С. Курской // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 1. – С. 47-50.
2. Пастух І.М., Курской В.С. Модель контакту мікроелементів поверхонь / І. М. Пастух, В. С. Курской // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 2. – С. 23-30.
3. Курской В.С., Пастух І.М. Результуюча сила пружного контакту мікроелементів поверхні / В. С. Курской, І. М. Пастух // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 4. – С. 44-49.
4. Курской В.С. Формування моделі поверхні контакту та її характеристик / Курской В.С // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 3. – С. 11-15.

Надійшла 28.1.2011 р.

УДК 621.78/(66.088+537.52+66.046)

Н.С. МАШОВЕЦЬ, І.М. ПАСТУХ, В.Г. КАПЛУН

Хмельницький національний університет

С.М. ВОЛОШКО

Національний технічний університет "Київський політехнічний інститут"

ОБґРУНТУВАННЯ ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ МОДИФІКОВАНИХ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Методами рентгеноструктурного аналізу, рентгенівської фотоелектронної спектроскопії та електронної оже-спектроскопії досліджені фазові перетворення на поверхні титанового сплаву VT8 після низькотемпературного безводневого азотування в тліючому розряді.

X-ray diffraction analysis, X-ray photoelectron spectroscopy and Electron Auger-spectroscopy investigation of phase transformation on the surface of titanium alloy VT8 after the low temperature hydrogen-free nitriding in the glow discharge.

Ключові слова: модифікація поверхні титанового сплаву, безводневе азотування, рентгеноструктурний аналіз, рентгенівська фотоелектронна спектроскопія, електронна оже-спектроскопія.

Вступ та постановка задачі

Традиційно поверхнева модифікація титанових сплавів азотуванням в тліючому розряді виконувалась при відносно високій температурі [1], проте, при цьому поверхневий шар стає крихким, що суттєво звужує ареал практичного використання методу. Низькотемпературним безводневим азотуванням в тліючому розряді (БАТР), не дивлячись на те, що на поверхні утворюється відносно тонкий шар нітридних структур і спостерігається порівняно невелика глибина дифузійної зони, завдяки саме більшій пластичності відкриваються нові можливості для використання модифікованих титанових сплавів в різних галузях промисловості. Дана робота присвячена дослідженню результатів низькотемпературного БАТР з метою напрацювання рекомендацій для подальшого їх практичного використання.

Експериментальні дослідження

Дослідження фазового складу проводилось методами рентгеноструктурного аналізу, рентгенівської фотоелектронної спектроскопії (РФЕС) та електронної оже-спектроскопії (ЕОС). Зйомка рентгенівських дифракційних максимумів проводилась на ДРОН-3М в СоК_α випромінюванні, за схемою θ-2θ в інтервалі кутів 30°-100° з шагом 0,05° і експозицією 2 с. По результатам рентгеноструктурного методу також було визначено товщину покриття [2]. Пошаровий аналіз методом ЕОС проводився шляхом травлення поверхні зразків пучком іонів аргону діаметром 1,5 мм з енергією 3000 еВ та щільністю струму 400 мкА/см². Система

автоматизації дозволяє провести пошаровий аналіз за глибиною не гірше 0,5-1 нм. Дослідження виконані за допомогою серійного растрового електронного оже-спектрометра JAMP-10S. Рентгенівські фотоелектронні спектри були отримані на електронному спектрометрі "SERIES 800 XPS" Kratos Analytical, з використанням немонохроматичного MgK_{α} рентгенівського випромінювача (1253,6 eV). З поверхні азотованого титанового сплаву BT-8 було записано спектри остових рівнів Ti2p, O1s та N1s.

Низькотемпературне БАТР виконувалось за наступних параметрів режимів [3]:

- режим 1 – температура поверхні 660 °С, тиск 160 Па, тривалість азотування 75 хв;
- режим 2 - температура поверхні 580 °С, тиск 160 Па, тривалість азотування 75 хв;
- режим 3 - температура поверхні 700 °С, тиск 240 Па, тривалість азотування 130 хв;
- режим 4 - температура поверхні 620 °С, тиск 240 Па, тривалість азотування 20 хв.

В режимах 1, 2 використовувалось газове середовище за об'ємом - азот 28%, аргон 72%, в режимах 3, 4 - азот 52 %, аргон 48%.

Рентгеноструктурні дослідження показали, що в результаті низькотемпературного БАТР, на поверхні титанового сплаву BT8 утворюється мононітрид TiN (δ -фаза) та ϵ -фаза Ti_2N . Саме ці фази вдалося зафіксувати, після азотування при температурі 660°C в той час, як порівнюючи з режимом при температурі 580°C, подібні фази не виявлені, відповідно рентгенівське проміння проходить глибше самого покриття.

Товщину нітридного шару зафіксовано для режиму 1 - 2,4 мкм, режиму 2 – 1,8 мкм, режиму 3 -4,1 мкм, режиму 4 – 2,1 мкм. Переважаючими структурами модифікованого шару формованого при режимі 1 є ϵ - фаза Ti_2N , в меншій мірі TiN (δ -фаза), при режимі 2 – Ti- α , тоді як у вихідному стані, в основному спостерігаються Ti- α , Ti- β фази. Ренгенограми для режимів 1, 2 показані на рис. 1.

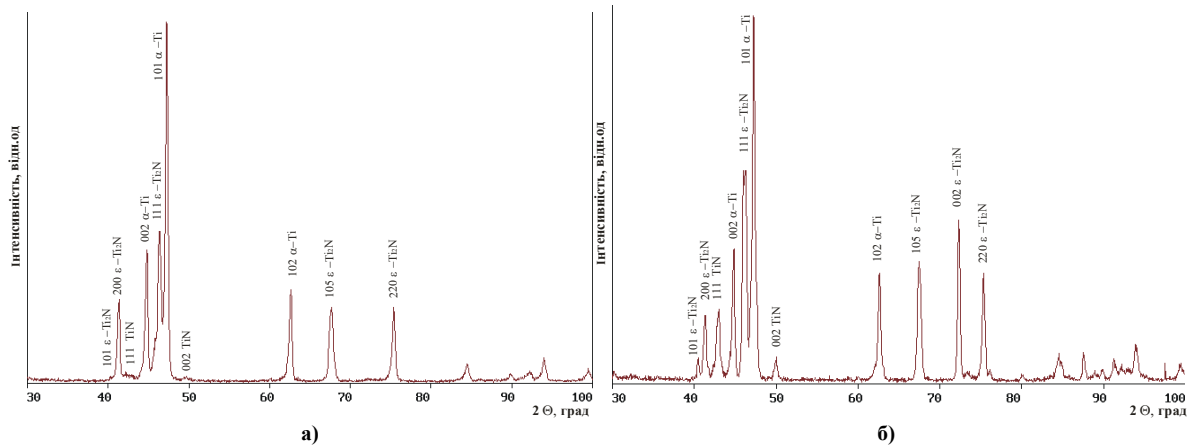


Рис. 1. Рентгенівські рентгенограми титанового сплаву BT8 азотованого за: а) режимом № 2, б) режимом № 1

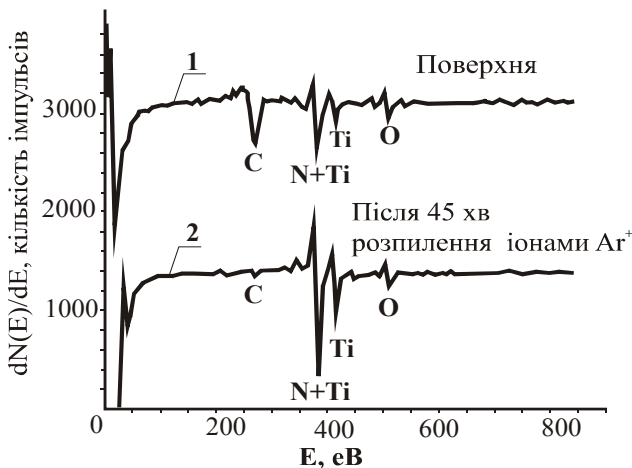


Рис. 2. Спектри оже-електронів азотованого титанового сплаву BT 8 (режим №1):
1 – вихідна поверхня: Ti (N) – 28; O -18; C – 54 ат.%;
2 – травлення іонами Ag⁺ 45 хв: Ti (N) – 7 2; O -20; C – 8 ат.%

видалення вуглецю та кисню в оже-спектрах збільшуються піки основних компонентів. Проведення пошарового аналізу дозволяє встановити значну неоднорідність розподілення за глибиною усіх елементів, що аналізувалися.

На рис. 3 показані пошарові залежності основних компонентів сплавів, що досліджуються, отриманих методом іонного травлення. Порівнюючи інтенсивність піків різних режимів іонного азотування, слідє висновок, що при азотуванні при 580°C (режим 2), інтенсивність піків значно менша, ніж при 660°C (режим 1).

Крім того, фазовий склад модифікованої поверхні досліджувався методом рентгенівської фотоелектронної спектроскопії (РФЕС) та електронної оже-спектроскопії (ЕОС). Методом ЕОС було проведено дослідження поверхні титанового сплаву BT8, азотованого за режимами №1, 2, 3, 4, для визначення розподілення елементів за глибиною в комбінації з розпорошенням матеріалу іонами аргону. На рис. 2 наведені оже-спектри для вихідного стану та після іонного травлення поверхні азотованого титанового сплаву BT8. Аналіз зміни вмісту елементів у поверхневих шарах азотованого титанового сплаву при іонному травленні дозволяє зробити висновок про те, що поверхня характеризується підвищеним вмістом вуглецю та кисню, які є поверхневими забрудниками. Після іонного травлення їх вміст різко знижується до глибини приблизно 50-100 Å, потім залишається практично постійним. По мірі

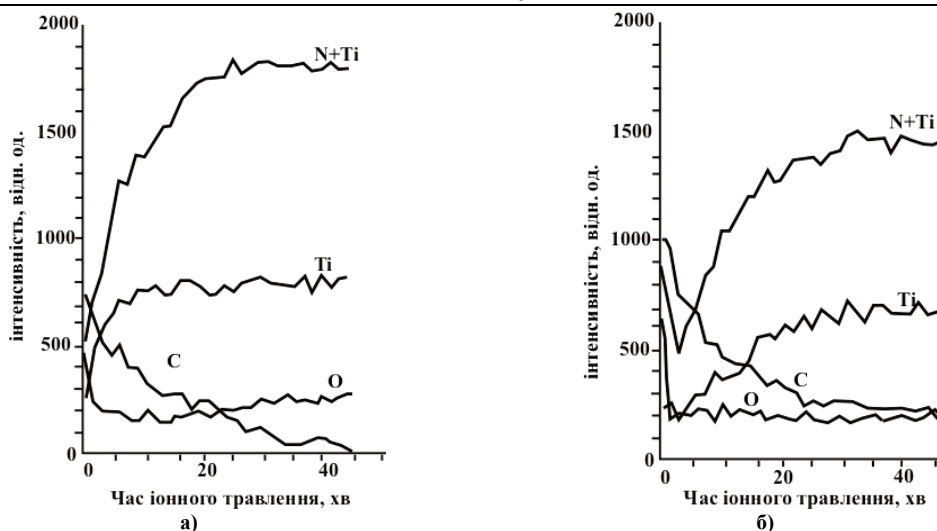


Рис. 3. Пошарова зміна вмісту компонентів за глибиною поверхневого шару азотованого титанового сплаву BT8: а) режим 1, б) режим 2

Про активність титанового сплаву стосовно кисню свідчить наступне: не дивлячись на те, що попередньо перед азотуванням травленням іонним бомбардуванням оксидні структури були видалені, вже після незначного знаходження на повітрі знову виявляються методом РФЕС сполуки кисню.

З поверхні титанового сплаву BT-8, азотованого за режимами 1, 2, 3, 4, було записано спектри остових рівнів Ti_{2p} , O_{1s} та N_{1s} . Враховуючи, що метод РФЕС дає інформацію про склад поверхні на глибині не більше 10 нм від поверхні, один зразок №7 було протравлено іонним бомбардуванням Ag^+ і знову записано спектр. На основі отриманих даних про склад елементів були розраховані енергії зв'язку електронів остова для атомів кисню, азоту та титану (табл. 1).

Таблиця 1

Енергія зв'язку електронів остова для азотованого титанового сплаву BT8

	Енергія зв'язку, eV			
	O_{1s}	N_{1s}	$Ti_{2p_{3/2}}$	$Ti_{2p_{1/2}}$
№7	530,5	397,4	459,1	464,6
№8	530,6	397,5	459,0	464,8
№10	530,2	397,1	458,7	464,7
№13	530,9	397,3	458,9	464,5

Складний рентгенівський фотоелектронний спектр, що відповідає іонізації $1s$ -електронів кисню (рис. 4) відповідає хімічному стану кисню в діоксиді титану TiO_2 із енергією зв'язку $E_c=530,5$ eV та $E_c=529,9$ eV. Інтенсивність піків кисню для різних режимів азотування титанового сплаву суттєво відрізняється: максимальне значення для режимів №1 та №2, проте після іонного очищення інтенсивність різко падає, а для режимів №3 і №4 - інтенсивність досить мала. Це свідчить про те, що оксидна плівка досить мала, і її присутність викликана адсорбцією атомів кисню під час азотування.

У РФЕС спектрах (рис. 5, 6) для режиму 1, до очищення іонним розпорощенням область Ti_{2p} відповідає трьом групам дублету. Пік I відповідає стану титану в нітриді TiN із енергією зв'язку $E_c=455,4$ eV та $E_c=461,1$ eV, пік II та III при високих енергіях зв'язку тісно пов'язані із $Me-O$ зв'язком в різних оксидних формах, що відповідає $Ti-O-N$ ($E_c=457,8$ eV та $E_c=463,5$ eV) та діоксидному стану титану ($E_c=459,1$ eV та $E_c=464,6$ eV).

Після іонного розпорощення Ag^+ , пік II пропадає, а пік III зменшує інтенсивність, проте після 2 годин травлення пік III повністю пропадає, що свідчить про усунення поверхневого оксиду. Це підтверджує, що при низькотемпературному азотуванні в тліючому розряді на поверхні вже при температурі $580^{\circ}C$ утворюється нітрид титану.

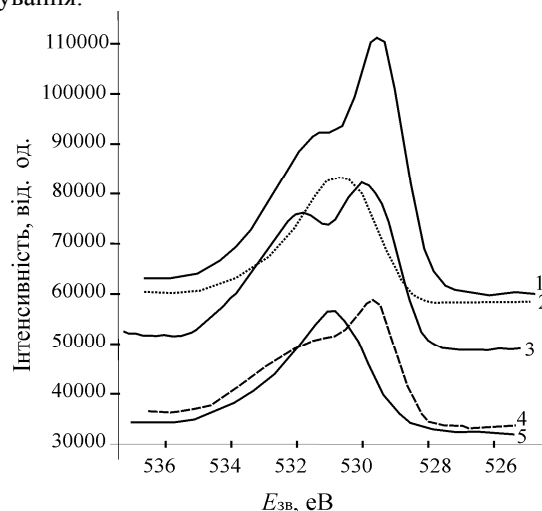


Рис. 4. Рентгеноелектронні спектри O_{1s} – електронів: 1 – режим №2; 2 – режим №1 після іонного травлення; 3 – режим №1; 4 – режим №3; 5 – режим №4

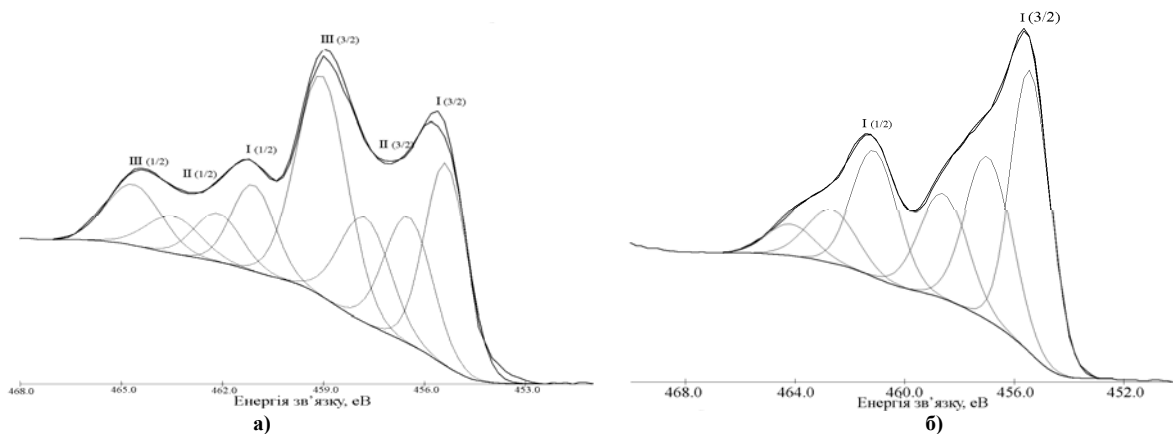


Рис. 5. Рентгеноелектронні спектри Ti_{2p} – електронів режиму №1, (а) – до іонного травлення, (б) – після іонного травлення. Пік I відповідає TiN, пік II - Ti-O-N, пік III – TiO_2

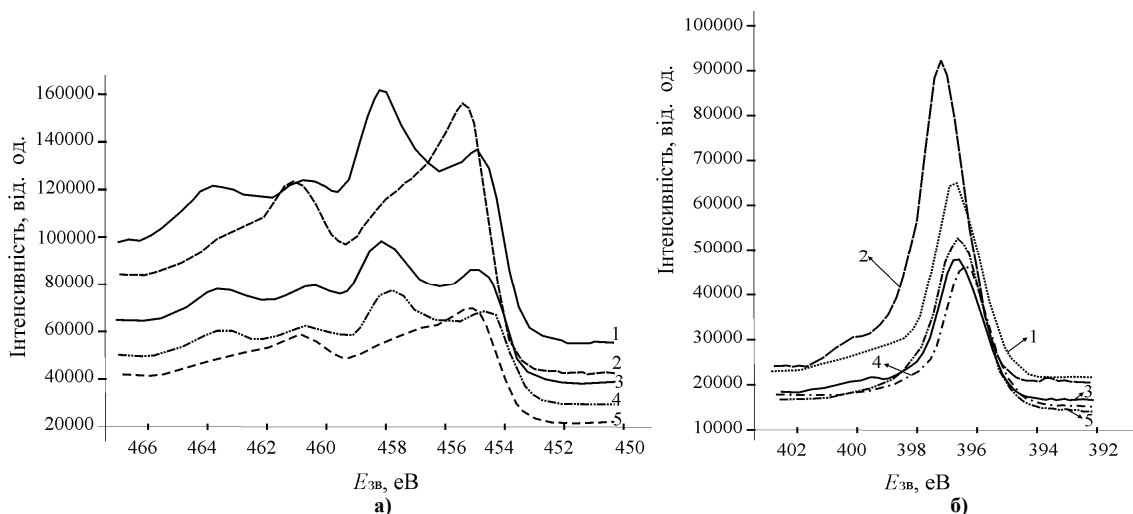


Рис. 6. а) Рентгеноелектронні спектри Ti_{2p} – електронів, б) Рентгеноелектронні спектри N_{1s} – електронів, де 1 – режим №2; 2 – режим №1 після іонного травлення; 3 – режим №1; 4 – режим №3; 5 – режим №4

Щодо спектру РФЕС N_{1s} , то він є дуже складним у точному визначенні хімічного складу та стану. На спектрі N_{1s} основний пік відповідає з'єднанню TiN для усіх азотованих зразків. Присутність на спектрах деяких менш інтенсивних піків пояснюється утворенням в незначній кількості оксинітридів титану Ti-O-N.

Висновки

Наведений матеріал свідчить про те, що низькотемпературне без водневе азотування в тліючому розряді є перспективною технологією, яка суттєво розширює область практичного застосування титанових сплавів, крім того зміна параметрів технологічного режиму дозволяє в значних межах керувати фазовим складом модифікованого поверхневого шару, а й відтак формувати поверхню деталей виготовлених з титанових сплавів відповідно до передумов подальшої експлуатації.

Література

1. Ионная химико-термическая обработка сплавов / [Арзамасов Б.Н., Братухин А.Г., Елисеев Ю.С., Панайоти Т.А.] . – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 400с.
2. Горелик С.С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. / С.С. Горелик, Ю.А. Скаков, Л.Н. Расторгуев : [Учеб. пособие для вузов] . – [3-е изд., доп. и перераб.] – М.: МИСИС, 1994. – 328 с.
3. Машовець Н.С. Вплив параметрів іонного азотування титану на фізико-механічні характеристики азотованого шару / Машовець Н.С. // Вісник двигунобудування. -2004. - №3. – С. 122-125.

Надійшла 16.1.2011 р.

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ВТУЛОК КРОНШТЕЙНА МАЯТНИКОВОГО ВАЖЕЛЯ РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ АВТОМОБІЛЯ ГАЗ-21

Виконано аналіз роботи і видів зношування втулок кронштейна маятникового важеля рульового керування автомобіля ГАЗ-21. Розроблено установку, методику і виконані стендові дослідження зносостійкості антифрикційних матеріалів втулок кронштейна маятникового важеля, що показали доцільність застосування в якості втулок матеріал Ф4УВ20

The analysis of the operation and types of wear in bushings of the bracket of the floating lever in the steering wheel of the GAZ-21 truck has been performed. The installation and methodology have been developed and the stand tests of wear resistance of antifriction materials used for bushings of the bracket of the floating wheel have been carried out which proved the expediency of using the F4UB20 material for bushings.

Ключові слова: композиційні матеріали, маятник важеля, антифрикційні властивості, зносостійкість, ущільнення, шайби.

Рульове керування автомобіля є важливим засобом його управління. Від справності і надійності рульового керування залежить безпека і життя всіх учасників дорожнього руху. Втулки маятника є важливими складовими, оскільки через несправність кронштейна маятникового важеля можливі такі негативні наслідки, як люфт рульового колеса, туге обертання рульового колеса, шум (стукіт) в рульовому керуванні, самовільне кутове коливання передніх коліс, погана стійкість автомобіля.

Водії автомобіля ГАЗ-21 часто вважають недоліком туге рульове керування. Не останню роль в цьому відіграє маятник, в якому використовуються втулки ковзання, виготовлені з поліетилену. Поки вони нові, вісь ричага переміщується туго, перетворюючи автомобіль в тренажер. Після припрацювання і зносу втулок досить швидко з'являється люфт в рульовому керуванні. Проблему можна розв'язати, якщо замінити пластмасові втулки підшипниками голчастого типу [1]. Для їх встановлення на токарному верстаті з обох сторін корпусу маятника розточують посадочні місця, при цьому товщина стінок зменшується на один міліметр, що в цілому знижує запас міцності його корпусу. Після цього зі старих пластмасових втулок ретельно обрізають фланці, які в подальшому будуть виконувати функції ущільнювальних шайб. Для зручності внесення мастила в корпусі ричага необхідно просвердлити отвір і нарізати різьбу під пресмастилку. Деякі автомобільні підприємства пропонують "маятники", комплектуючи їх дешевими кулькопідшипниками, але ці підшипники погано витримують навантаження, через що ресурс роботи такого маятника дуже малий. Але необхідно зауважити, що наше законодавство дозволяє модернізацію рульового керування тільки після попереднього отримання дозволу на неї в органі сертифікації автотранспорту (ДержавтотрансНДІпроект) або Науково-дослідний центр безпеки руху. В протилежному випадку можуть виникнути проблеми при проходженні техогляду або при експлуатації автомобіля у випадку дорожньо-транспортної пригоди. Виходячи з вищенаведеного аналізуючи характеристики маятників представлених для продажу, (табл. 1) [1] ми дійшли до висновку, що найбільш раціональний метод підвищення зносостійкості втулок маятника ричага рульового керування автомобіля ГАЗ-21 – заміна матеріалу поліетилен на більш зносостійкий. Відомі методи підвищення зносостійкості, такі як напилення, наплавлення, неможливо застосувати при підвищенні зносостійкості втулок маятника, оскільки ці втулки виготовлені з неметалічного матеріалу. Для підвищення зносостійкості втулок маятника доцільно застосувати метод заміни базового матеріалу на більш зносостійкий композиційний матеріал Ф4УВ20 [2].

Таблиця 1

Характеристика маятників, представлених для продажу

Тип маятника	Вартість, грн.	Середній ресурс, тис. км
Заводський з втулками	60-65	80-100
З неоригінальними втулками	25-30	5-10
З кулькопідшипниками	35-40	10-15
З голчастими підшипниками	50-60	30-40

Виходячи з цього для підвищення зносостійкості і надійності втулок кронштейна маятникового важеля рульового керування автомобіля ГАЗ-21 поставлені такі задачі:

- виконати аналіз роботи і видів зношування втулок маятника;
- розробити установку, методику і виконати стендові дослідження зносостійкості антифрикційних матеріалів втулок маятника.

Конструкція кронштейна маятникового важеля рульового керування автомобіля ГАЗ-21 представлена на рис. 1. Стальний палець запресований в маятниковий важіль (рис. 1) обертається в поліетиленових втулках 8, запресованих в гумові захисні втулки 9. Одна втулка своїм торцем притиснута до площини бобишки маятникового важеля, інша – до шайби 6, яка обертається разом зі стальним пальцем.

Циліндрова частина поліетиленових втулок входить в кронштейн 7 із зазором, що дозволяє передньому кінцю маятникового важеля переміщатися до 2 мм за рахунок деформації гумових втулок. У експлуатації допускається переміщення переднього кінця маятникового важеля до 4 мм.

На передньому кінці маятникового важеля встановлений кульовий шарнір, однаковий по конструкції і розмірам з іншим шарніром тяги сошки, за винятком того, що в ньому встановлений поліетиленовий сухар 2, який служить для утримання пальця 4 шарніра усередині корпусу 3 в певному положенні. При зносі поліетиленовий сухар слід замінювати. Не допускається збирання кульового шарніра маятникового важеля без сухаря. Також абсолютно недопустима установка поліетиленових сухарів в інші шарніри рульової тяги. У запасні частини всі кульові шарніри поставляються без сухарів.

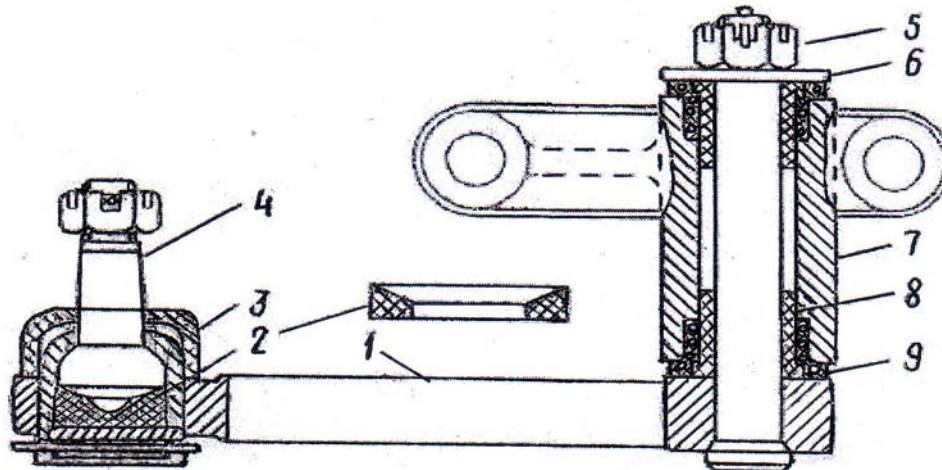


Рис. 1. Маятниковий важіль:

1 – важіль; 2 – сухар; 3 – корпус шарніра; 4 – кульовий палець; 5 – гайка; 6 – шайба; 7 – кронштейн; 8 – втулка; 9 – гумова захисна втулка.

Шарові шарніри при збиранні заповнюються мастилом ШРБ-4 і герметизуються з однієї сторони заглушкою завальцьованою в наконечнику тяги, а з другої гумовим захисним ковпачком. Поповнення або заміна мастила при експлуатації автомобіля не потребується. Основний ресурс роботи рульового управління складає 80000 км пробігу автомобіля. Отже, ресурс роботи втулок маятника, як складової частини рульового управління, складає теж 80000 км.

Експериментальні випробування

1.1. Аналіз умов роботи і видів зношування втулок маятника

Максимальний контактний тиск в спряженні втулка-вісь знайдено, використавши розрахункову схему підшипника ковзання [1]. Він складає 1.64 МПа. Шлях тертя визначили з виразу:

$$S = \pi d n \tau, \quad (1)$$

де d – внутрішній діаметр втулки, $d = 20$ мм, n – частота обертання осі, $n = 0.5 \text{ с}^{-1}$, τ – час, с.

В даному вузлі тертя має місце абразивне і втомне зношення. Ці зношення виникають завдяки дії граничного тертя.

Абразивне зношення характеризується процесами безпосередньої взаємодії контактуючих поверхонь тертя з абразивними частками. Результатом абразивного зношення є інтенсивне руйнування робочих поверхонь деталей машин.

В результаті взаємодії абразивних часток процес руйнування може відбуватись:

- а) шляхом мікрорізання;
- б) шляхом багатократного пластичного деформування поверхневих шарів;
- в) шляхом ударно-механічного деформування.

Абразивне зношення викликає грунт, пил, які попали на поверхню тертя, металева стружка, окисні плівки, які закріплені чи зруйновані на поверхні тертя, продукти зношування, особливо викришені частинки твердих структурних складових.

Абразивні частки можуть мати різну форму і бути по-різному розміщені відносно спряженої поверхні. Здатність абразивного зерна втискуватись в поверхню залежить не тільки від співвідношення їх твердостей, але і від геометричної форми зерна.

Втомне зношення це вид механічного зношення в результаті втомного руйнування при багаторазовому повторному деформуванні мікрооб'ємів матеріалу поверхневого шару. Цей процес має скритий латентний період, внаслідок якого здійснюється накопичення пошкоджень всередині матеріалу.

При терті полімерів пружні деформації викликають утворення втомних тріщин, які розміщуються в поперечному напрямку по відношенню до швидкості ковзання. Ці тріщини ведуть до руйнування фрикційного вузла.

Для ударно-втомного зношення характерне поступове формування рельєфу і повільне збільшення зношування. Поверхня зношування не має явно визначеного рельєфу у вигляді рисок і лунок, в результаті

співудару зразків високої твердості згладжуються початкові нерівності і технологічна шорсткість на поверхні. Час припрацювання прослідковується чітко, потім настає стабілізація швидкості зношування. В початковий період досліду швидкість зношування максимальна, потім поступово знижується, і після досягнення відповідного рівня залишається постійною протягом наступних випробувань.

Основний ресурс роботи рульового управління складає 80000 км пробігу автомобіля. Ресурс же роботи втулок маятника як складової частини рульового управління не досягає цього пробігу і тому необхідно його збільшити.

З цією метою була розроблена і виготовлена установка, що моделює зворотно-обертальний рух втулок кронштейна маятникового важеля.

1.2. Стендові випробування

Установка для моделювання руху втулок кронштейна маятникового важеля змонтована на базі настільно-свердлувального станка [3]. Обертання ведучого шківів відбувається за допомогою клинового паса. Потім за допомогою підшипникового вузла і тяги рух передається на шків через другий підшипниковий вузол. Завдяки різниці радіусів $R=120$ мм і $R'=122,5$ мм обертальний рух шківів за

допомогою тяги перетворюється в обертальний зворотно-поступальний рух шківів, що насаджений на шпиндель вузла установки. Навантаження на вузол тертя передається через важіль за допомогою вантажів. Кульовий палець закріплюється в шпинделі за допомогою втулки і затискується контргайкою. Досліджувані зразки у вигляді циліндричної втулки з фланцем розмірами: внутрішній діаметр – 20 мм, зовнішній діаметр – 24 мм, висота – 16 мм, діаметр фланця – 36 мм, кріпиться в тримачі, який забезпечує його вертикальне розташування. Схема контактування кульового пальця і кільця (зразок) наведена на рис. 2. Випробування на знос проводились при дії постійного навантаження $Q=350$ Н, частота обертів $n=50$ хв⁻¹ з радіусом кулі $R_1=12,5$ мм, внутрішнім радіусом втулки $r=12$ мм. Матеріал кулі – сталь 30Х, матеріали зразка: поліетилен-В, Ф4УВ20.

Результати проведених випробувань на знос: залежність розміру площадки контакту кільця (a) від шляху тертя (S), наведені на рис. 3.

Аналіз отриманих результатів показав, що втулки кронштейна маятникового важеля виготовлені з матеріалу Ф4УВ20 за зносостійкістю суттєво переважають втулки з матеріалу поліетилен-в.

Висновки

Результати стендових досліджень показали, що в якості втулок кронштейна маятникового важеля автомобілів ВА3-21011 доцільно застосовувати матеріал Ф4УВ20.

Слід відмітити, що переваги матеріалу Ф4УВ20 в порівнянні з матеріалом поліетилен-в більш чітко проявляються при підвищенні навантаження вузла тертя [4].

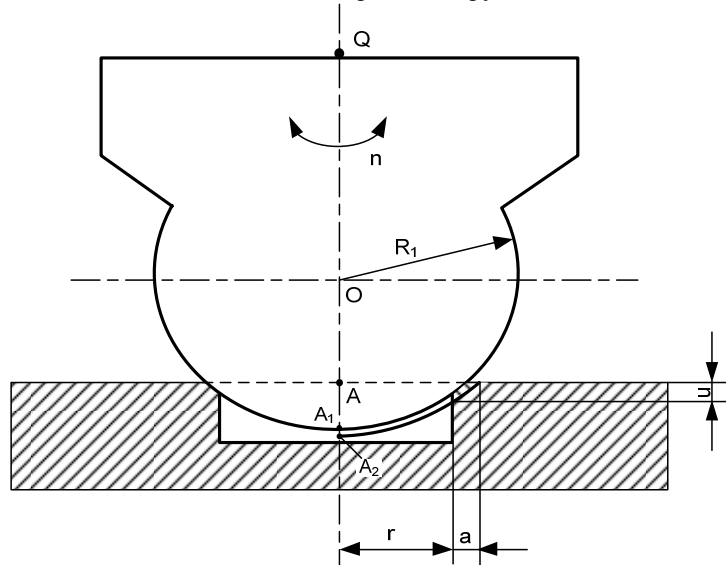


Рис. 2. Випробування на зношування за схемою куля-кільце: Q – нормальне навантаження, n – частота обертів, R_1 – радіус кулі, r – внутрішній радіус втулки, a – розмір площадки контакту кільця, u – знос

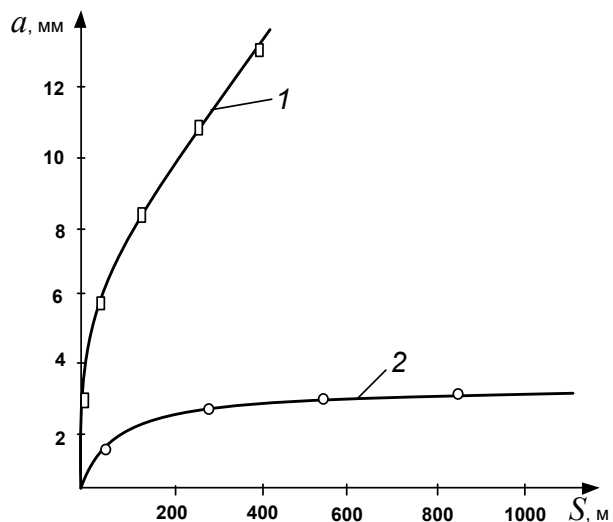


Рис. 3. Графік залежності розміру площадки контакту кільця (a) від шляху тертя (S); 1 – поліетилен-В; 2 – Ф4УВ20

Література

1. Глебов А.В. Легче и долговечнее / А.В. Глебов // Автоцентр. – 2004. – № 28. – С. 39
2. Сиренко Г.А. Антифрикционные карбопластики / Г.А. Сиренко. – К.: Техніка, 1985. – 195 с.
3. Свідерський В.П. Підвищення зносостійкості кульової опори автомобіля ВА3-2109 / В.П. Свідерський, Л.М. Кириченко, О.Ф. Письменюк. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – Ч. 1. – Т.1. – № 5. – С. 71-73.

4. Свідерський В.П. Підвищення зносостійкості втулок кронштейна маятникового важеля рульового керування автомобіля ВАЗ-21011. / В.П. Свідерський, Л.М. Кириченко, О.О. Дука // Вісник Хмельницького національного університету. – Технічні науки. – 2007. – № 1. – С. 58-61.

Надійшла 18.1.2011 р.

УДК 620.193.16

М.С. СТЕЧИШИН, О.О.БІЛЕЦЬКИЙ
Хмельницький національний університет

РОЗРОБКА УСТАНОВКИ ТА СПОСОБУ ОЦІНКИ КАВІТАЦІЙНО-ЕРОЗІЙНОЇ ДОВГОВІЧНОСТІ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

В роботі описана установка для проведення кавітаційно-ерозійних випробувань полімерних матеріалів, а також спосіб і методика оцінки довговічності полімерів та полімерних покриттів.

The setting for realization of cavitation-erosion tests of polymeric materials, and method and methodology of estimation of longevity of polymers and polymeric coverage were described in the article.

Ключові слова: кавітаційно-ерозійна зносостійкість, оцінка довговічності, полімерні покриття.

Постановка проблеми. Відомі способи оцінки довговічності конструкційних сталей, чавунів при їх корозійному, корозійно-механічному, кавітаційно-ерозійному, гідроабразивному зношуванні в корозійно-активних середовищах за втратами маси за певний час проведення випробувань [1]. Для оцінки зносостійкості захисних покриттів, особливо термодифузійних, застосовують значення швидкостей руйнування структурних складових покриття [1, 2].

Недоліком такої оцінки зносостійкості полімерних покриттів є неможливість порівняння результатів випробувань різних полімерів між собою внаслідок великої різниці густини полімерних матеріалів. Крім того, в момент дії кавітаційних бульбашок на двошарові системи з різними акустичними властивостями (покриття– підложка), ударні хвилі частково відбиваються від підложки і проходять в зворотньому напрямку, що викликає появу тангенційних напружень і, відповідно, деформацій зсуву ділянок поверхні покриття. Останнє зумовлює відшарування покриття від поверхні підложки та наступний відрив відшарованих ділянок покриття. При подальшій кавітації відбувається руйнування основного матеріалу (підложки), який також враховують при оцінці зносостійкості покриття.

Відомі також способи дослідження кавітаційної стійкості металів [3] при яких зразок у процесі гідроерозії підлягає анодній поляризації, що дозволяє скоротити час випробувань для отримання результатів зносостійкості металів в лабораторних умовах співвідносних з результатами натурних випробувань. Основний недолік цього способу полягає в необхідності мати дані натурних випробувань, які і не потрібні для вибору типу полімерного покриття, оптимізації його складу, структури та товщини. Крім того, при поляризації зразків корозійні процеси інтенсифікуються на поверхні металу основи ослаблюючи зчеплення полімеру з металом, що не відповідає реальним процесам руйнування полімерних покриттів в умовах експлуатації. Тому було поставлено завдання підвищення точності оцінки довговічності полімерних і полімеркомпозиційних покриттів при їх кавітаційно-ерозійному зношуванні в середовищах-електролітах, отримання порівняльних характеристик стійкості полімерів, оптимізації їх складу за вмістом і співвідношенням компонентів наповнювача, товщини покриття тощо.

Для реалізації поставленого завдання необхідно було також створити лабораторну установку для проведення кавітаційно-ерозійних випробувань полімерних матеріалів. Існуючі лабораторні установки призначені для проведення кавітаційно-ерозійних випробувань металевих зразків здебільшого оснащені сорочками або спіральними теплообмінниками, в яких для охолодження робочого середовища використовується проточна вода або система охолодження взагалі відсутня. Як показали проведені випробування полімерних матеріалів, така система охолодження і тим більше її відсутність не забезпечує сталу температуру робочого середовища особливо в зоні кавітації.

Разом з тим, температура поверхні полімеру суттєво впливає на його характеристики міцності. Навіть незначне перевищення температури (для кристалічних полімерів вище температури плавлення, а для аморфних – температури оскління) веде до катастрофічного руйнування поверхонь полімерів незалежно від виду навантаження: тертя, кавітація, циклічне навантаження тощо. Разом з тим, температури детонації кавітаційних бульбашок у багатьох випадках перевищують поріг теплостійкості полімерів. Так, за даними різних авторів вони знаходяться в межах 500...700 °С, але можуть сягати і 1000...3000 °С.

Проведені дослідження показали, що приповерхнева температура поверхонь зразків значно відрізняється від середньої температури середовища. Різниця температур залежить від виду полімеру і знаходиться в межах 8 °С для полікапролактаму і до 27 °С для ебоніту та фторопласту після 1 хв проведення кавітаційних випробувань. Для сталі 45 і сірого чавуну відповідна різниця температур становить всього 4 °С. При цьому, для полімерів приповерхнева температура невпинно зростає в процесі кавітації, а для залізобуглецевих сплавів (сталь, чавун) вона стабілізується в часі [4].

Накопичення приповерхневої температури полімерів при кавітації пояснюється тим, що їх

теплопровідність на порядок нижча ніж теплопровідність металів та їх сплавів. Енергія ультразвукових коливань вібратора накопичується в поверхневих шарах полімеру і розсіюється в об'ємі робочої рідини для металевих сплавів. Тому було поставлено завдання створити установку для проведення кавітаційно-ерозійних випробувань полімерних матеріалів з максимально можливим виключенням температурного чинника руйнування поверхневих шарів полімерів.

Методика проведення досліджень. Для виключення температурного чинника руйнування сконструйована і виготовлена установка з магнітострикційним вібратором (МСВ). Ультразвукові коливання збуджуються ультразвуковим генератором УЗДН-А потужністю 150 Вт, частотою коливань 22 кГц і амплітудою 53 мкм. Коливання підсилюються в осьовому напрямку вібратором 5 (рис. 1).

Для розширення можливостей установки ємність 1 для робочих середовищ і вузол кріплення зразків 2 виготовлено з фторопласту. У ємність встановлено два спіральні охолоджувальні контури 3 і 4. Перший контур 3 забезпечує термостатування всього об'єму середовища, а другий 4 підтримує стабільність середньої температури робочого середовища безпосередньо в зоні кавітації. Для підвищення ефективності охолодження зони кавітації експериментальним шляхом підібрано віддаль між витками охолоджувального контура 4, який виявився в межах 4...5 мм. Такий крок витків забезпечує вільне переміщення різнонагрітих об'ємів робочого середовища між витками контура у різних фазах ударних і відбивних кавітаційних хвиль. Різнонаправленість витків охолоджувальних контурів забезпечує протитечію потоків охолоджувальної і нагрітої рідини і збільшує ефективність охолодження всього об'єму середовища. Крім того, при русі вібратора вниз робоче середовище внаслідок стискання витків контура 3, відтискується із зони кавітації, а стискання витків контура 4 забезпечує протилежний напрям руху середовища і таким чином здійснюється зустрічний рух потоків, збільшується коефіцієнт теплообміну і ефективність вирівнювання температури середовища.

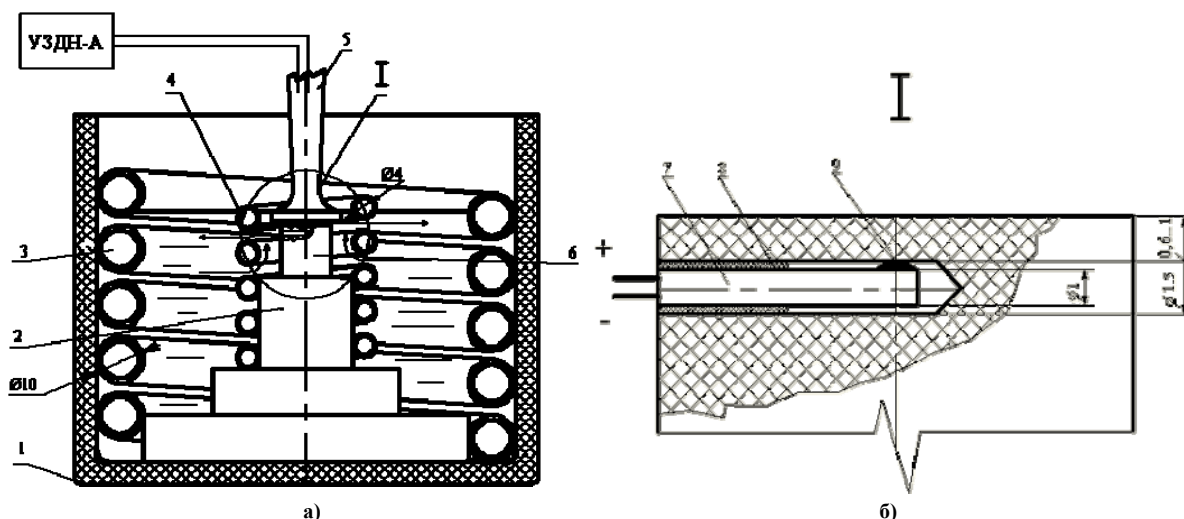


Рис. 1. Установка для кавітаційно-ерозійних випробувань полімерних матеріалів:
1 – ємність для робочих середовищ; 2 – вузол кріплення зразків;
3, 4 – змішані охолоджувальні контури; 5 – вібратор; 6 – зразок

Для перевірки ефективності роботи установки вимірювали приповерхневу температуру зразків 6 хром-копелевою терморпарою 7, яка розміщувалася на віддалі 0,6...1 мм від робочої поверхні зразка (рис. 1, б). Терморпара фіксується і герметизується в отворі гумовою втулкою 8 і одночасно запобігає відриву контакту терморпари 9 від поверхні зразка 6 і під'єднується до приладу для вимірювання температури.

Результати дослідження та їх обговорення.

З метою перевірки ефективності розробленої конструкції установки провели дослідження направлені на встановлення залежності зміни приповерхневої температури зразків з фторопласту Ф4 від часу кавітації в 3-відсотковому розчині хлориду натрію. За 15 хв кавітаційних випробувань при відсутності охолоджувального контуру температура робочого середовища з 20 °С підвищилася до 50 °С, з одним контуром – до 40 °С, а з двома контурами з різнонаправленими витками спіралі температура залишається майже постійною і стабілізується в межах 20 ± 2 °С (рис. 2).

На розробленій установці досліджувалися полімеркомпозиційні покриття на основі епоксидної смоли ЕД-16, де в якості наповнювача використовувалася суміш, яка складалася з карбідів тугоплавких металів зернистістю 20...100 мкм (табл. 1). Композиції VI, VII не містили наповнювача. Композиція VII складалася з епоксидної смоли ЕД-16 і каучуку СКН-26-1, а композиція VII – лише з епоксидної смоли ЕД-16. Композиція III містила 230 % (за масою), а композиція V – 270 % наповнювача.

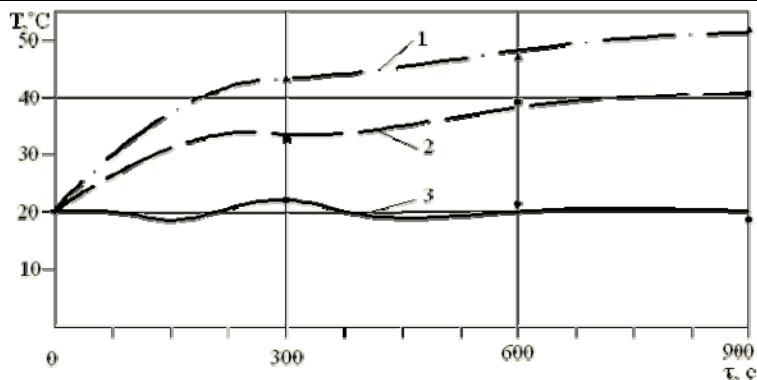


Рис. 2. Кінетика зміни приповерхневої температури фторпласту Ф4 в 3-відсотковому розчині хлориду натрію: без охолоджувального контуру; 2 – з одним охолоджувальним і 3 – з двома охолоджувальними контурами

Таблиця 1

Результати кавітаційно-ерозійних випробувань полімеркомпозиційних покриттів

№ композиції	Вміст наповнювача, %	Час пробою, τ_n хв.	Загальна працездатність шару, $\tau_{заг}$ хв.
I	190	50	60
II	130	35	75
III	230	40	115
IV	170	20	62
V	270	20	45
VI	-	30	60
VII	-	25	45

Випробування проводили в 3-відсотковому розчині хлориду натрію при температурі розчину 23 ± 3 °C.

Внаслідок того, що покриття склалися з композицій, які містили компоненти тугоплавких металів в різних співвідношеннях, що значно відрізнялися густиною, основними параметрами оцінки зносостійкості покриттів служили їх довговічність ($\tau_{заг}$), а також час пробою шару (τ_n).

Кінетика зміни потенціалу зразків з покриттями і втрата їх маси наведені на рис. 3.

Аналіз кривих зміни потенціалу і кінетики втрат маси показав, що в загальному випадку, потенціал пробою характеризує період накопичення енергії деформації в покритті і в цей період часу інтенсивність зношування незначна. По досягненню потенціалу рівного або більшого за власний потенціал матеріалу зразка, встановлюється постійна швидкість зношування, в результаті якої зменшується товщина покриття. В наступний період, внаслідок утворення мікротріщин, проходить проникнення мікроб'ємів середовища в матеріал покриття і його відшарування від поверхні підложки, що характеризується різкими коливаннями потенціалу. При цьому інтенсивне зношування покриття пояснюється відривом відшарованих частинок покриття. Подальша зміна потенціалу характеризує процес руйнування основного матеріалу зразка. Відшарування покриття можна пояснити тим, що при руйнуванні кавітаційних бульбашок виникають значні, залежно від в'язкості рідини, тангенційні зусилля, що приводять до появи деформацій зсуву ділянок поверхні покриття. Крім того, в момент дії кавітаційних бульбашок на двошарові системи з різними акустичними властивостями (підложка – покриття), ударні хвилі частково відбиваються від підложки і проходять в зворотньому напрямку. В зв'язку з цим виникають напруження розтягу, які і приводять до відшарування покриття [5]. Проведені дослідження підтверджують цей висновок. Так, при випробуванні композиції IV, яка містить нітрильний каучук, що надає покриттю значних пружних властивостей руйнування, в основному, проходить шляхом відшарування покриття. Згідно з [7] при критичних і закритичних швидкостях навантаження (характерних при випробуваннях на МСВ), внаслідок запізнення релаксаційних процесів, матриця вітрильного каучуку не може пружно сприймати удари такої швидкості і її поверхня руйнується з утворенням тріщин характерних при крихкому руйнуванні. Цим, зокрема, пояснюється наявність інкубаційного періоду при випробуванні композиції VI, яка характеризується відсутністю втрат маси на початковому періоді випробувань, а різке збільшення втрат маси після цього вказує на втрату композицією пружних властивостей і наступне крихке руйнування.

З приведених даних (табл. 1) видно, що композиції I...III мають найбільшу довговічність як по часу пробою шару τ_n , так і по загальній працездатності $\tau_{заг}$. Останнє пояснюється, як раціонально підібраним співвідношенням між наповнювачем і епоксидною смолою, так і відповідним гранулометричним складом наповнювача.

У результаті проведених досліджень отримали для композиції III:

Загальна працездатність шару покриття $\tau_{заг} = 115$ хв, час пробою шару $\tau_n = 40$ хв (рис. 3, а). Для композиції V: $\tau_{заг} = 45$ і $\tau_n = 20$ хв (рис. 3, б). Втрати маси за 1 год випробувань становлять 54 і 41 мг,

відповідно для композиції III і V. Таким чином, за часом пробою композиція III в 2 рази переважає композицію V і в 2,56 рази за часом загальної працездатності, а за втратами маси всього в 1,32 рази.

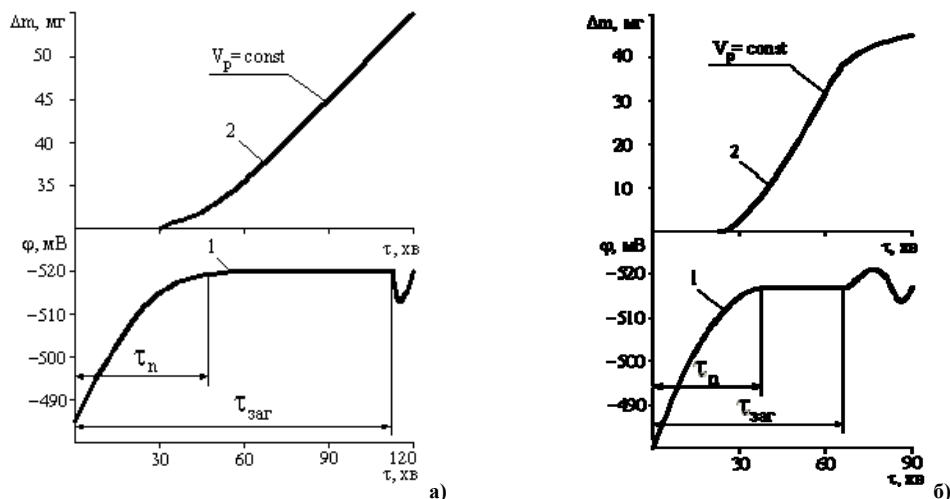


Рис. 3. Кінетика зміни потенціалу (1) та втрати маси зразка (2) для композиції I (а) і для композиції II (б)

Запропонований спосіб оцінки довговічності також дозволяє знайти оптимальне співвідношення, як у даному випадку, між епоксидною смолою та кількістю наповнювача. Криві залежності $\tau_{\text{заг}}$ і τ_n від відсотка вмісту наповнювача (рис. 4.) показують, що найбільш ефективними є композиції, які містять наповнювач в межах 210...250%. При меншому вмісті наповнювача збільшується τ_n , що пов'язано з оптимальним відношенням властивостей міцності та пружності покриття. Зі збільшенням вмісту наповнювача дещо зменшується величина τ_n , але різко зростає $\tau_{\text{заг}}$, що зумовлено зростанням механічних характеристик шару покриття. Таким чином, запропонований спосіб дозволяє оптимізувати склад покриття за вмістом наповнювача.

Аналогічно можна провести оптимізацію за гранулометричним складом наповнювача, співвідношення вмісту карбідів, товщини покриття тощо. На даний спосіб оцінки довговічності полімерних і полімеркомпозиційних покриттів отримано патент України [6].

Висновки

1. Створено установку для проведення кавітаційно-ерозійних досліджень полімерних матеріалів, що дозволяє стабілізувати поверхневу температуру зразків протягом часу проведення випробувань.
2. Розроблено спосіб та методику оцінки кавітаційно-ерозійної довговічності полімерних покриттів, що включає отримання кінетичної кривої втрат маси ($\Delta m - \tau$), та кінетичної кривої зміни потенціалу ($\phi - \tau$), який відрізняється тим, що оцінка довговічності покриття проводиться за часом загальної працездатності покриття $\tau_{\text{заг}}$ і часом його пробою τ_n , які фіксуються на кривій $\phi - \tau$ і узгоджуються з відповідними змінами кінетики втрат маси ($\Delta m - \tau$).

Література

1. Богачев И.Н. Кавитационное разрушение и кавитационно-стойкие сплавы / Богачев И.Н. – М.: Металлургия, 1972. – 192 с.
2. Юргенсон А.А. Азотирование в энергомашиностроении / Юргенсон А.А. – М.: Машгиз, 1962. – 131 с.
3. А. с. 1569668 СССР, МКИ G01 N3/56. Способ исследования гидроэрозионной стойкости металлов / А.И. Некоз, Н.А. Сологуб, М.С. Стечишин (СРСР). – 1990.
4. Стечишин М.С. Вплив температури поверхні на руйнування полімерних матеріалів під дією мікроударних навантажень в рідких середовищах / М.С. Стечишин, А.В. Мартинюк, І.І. Сорока // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2008. – № 2. – С. 157–161.
5. Погодаев Л.И. О механизме кавитационного изнашивания / Л.И. Погодаев, А.И. Некоз // Пробл.

трения и изнашивания: респ. межвед. науч. – техн. сб. – 1975. – Вып. 7. – С. 11– 16.

6. Пат. 55103 Україна, МПК G01N 3/56. Спосіб оцінки довговічності полімерних і полімеркомпозиційних покриттів при їх кавітаційно-ерозійному зношуванні в середовищах електролітах / М.С. Стечишин, Н.М. Стечишин, О.О. Білецький. В.А. Мартинюк (Україна); заявник і патентовласник Хмельницький національний університет. – № u201004888; заяв. 23.04.2010; опубл. 10.12.2010, Бюл. № 23.

7. Шальнев К.К., Релаксационная гипотеза кавитационной эрозии / К.К. Шальнев, С.П. Козырев // Доклады АН СССР. – 1972. – Т. 202, № 5. – С. 1057– 1060.

Надійшла 27.1.2011 р.

УДК 620.178.1

В.С. ПАВЛОВ

Хмельницький національний університет

СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗАПАСУ ПРИ СКЛАДНОМУ ОПОРІ

Запропоновано спосіб визначення коефіцієнта запасу міцності при складному опорі за допомогою використання поняття "опірність матеріалу руйнуванню". Виведено формули коефіцієнта запасу за різних критеріїв міцності.

The method of determination of safety margin coefficient at difficult resistance by means of the use of concept "resistibility of destruction material" has been offered in the article. The formulas of coefficient of supply at the different criteria of durability have been shown out.

Ключові слова: напруження, напружений стан, коефіцієнт запасу.

Вступ

Як відомо, коефіцієнт запасу міцності (надалі "коефіцієнт запасу") обчислюють за формулою:

$$n = K_L / K, \quad (1)$$

де K_L і K – граничне і максимальне значення критерію міцності в небезпечній точці деталі за подібних напружених станів відповідно [1, с.175].

Напружені стани при складному опорі подібні, якщо:

- а) вони обумовлені опорами, що мають однакові складники (компоненти) у вигляді простих опорів;
- б) співвідношення між максимальними напруженнями в небезпечній точці, спричиненими кожним з простих опорів, однакові [1, с.173].

В роботах [2, с.41, 3, с.27, 4, с.37] виведено формули коефіцієнта запасу з використанням діаграм граничних значень критеріїв міцності і логічних викладок.

Мета роботи – 1) викладення суті способу визначення коефіцієнта запасу при складному опорі за допомогою поняття "опірність матеріалу руйнуванню" (надалі "опірність");

2) виведення формул коефіцієнта запасу, складниками яких є частинні коефіцієнти запасу, з використанням понять "опірність" і "частинна опірність".

Основні поняття і терміни

Означення. Опірність є число, що дорівнює відношенню максимального і граничного значень критерію міцності в небезпечній точці деталі за подібних напружених станів:

$$\omega = K / K_L. \quad (2)$$

Гранична опірність матеріалу за довільного опору (простий чи складний) дорівнює одиниці:

$$\omega_L = 1. \quad (3)$$

Як видно із (1) і (2), між величинами n і ω існує обернена пропорційна залежність:

$$n = 1 / \omega. \quad (4)$$

Таким чином, обчисливши величину опірності ω , можна визначити коефіцієнт запасу n .

При визначенні опірності ω за складного опору використовують принцип незалежності дії сил: опірність ω_i за кожного із простих опорів не залежить від наявності інших простих опорів.

$$\omega = f(\omega_i) \quad (i = 1, 2, \dots, m), \quad (5)$$

де m – число простих опорів.

Конкретна форма співвідношення (5) залежить від природи критерію міцності і компонентів складного опору.

Величину ω_i названо *частинною опірністю*, за аналогією з поняттям "частинний коефіцієнт запасу". Між частинною опірністю ω_i і частинним коефіцієнтом запасу n_i існує залежність, що визначається співвідношенням (4):

$$\omega_i = 1 / n_i. \quad (6)$$

Частинну опірність, згідно із (2), можна обчислити за формулою:

$$\omega_i = K_i / K_{Li}, \quad (7)$$

де K_i / K_{Li} – максимальне і граничне значення критерію міцності за простого опору відповідно.

Методика

Складний опір може бути статичним, циклічним або змішаним [3, с.25].

Статичний: всі складники (компоненти) – прості статичні опори.

Циклічний: всі складники – прості циклічні опори.

Змішаний: складниками є як статичні, так і циклічні прості опори.

Формули коефіцієнта запасу доцільно виводити для характерного статичного складного опору, компонентами якого є два прості опори.

Далі можна відзначити особливості використання виведеної формули за складного опору, обидва компоненти якого є циклічними опорами (або один із них є циклічним) і розглянути її модифікації за наявності більше двох простих опорів.

Структура формули опірності ω і максимального значення критерію міцності K однакова, оскільки між ними існує залежність (2). Ця структура залежить від природи критерію.

Послідовність дій при визначенні і виведенні формули коефіцієнта запасу.

1) Запис формули K (максимального значення критерію міцності в небезпечній точці деталі), складниками якої є максимальні значення критерію K_i в небезпечній точці.

2) Запис формули опірності ω відповідно до співвідношення (5) і формули критерію K .

3) Визначення коефіцієнта запасу n (без виведення формули коефіцієнта запасу).

а) Обчислення частинних опірностей ω_i з використанням формули (6) у разі циклічного простого опору і (7) – у разі статичного.

Формули коефіцієнта запасу при циклічному простому опорі, залежно від характеристики ρ циклу напружень, наведено в [5, с.18].

б) Обчислення опірності ω відповідно до (5).

в) Визначення коефіцієнта запасу згідно з (4).

3*) Виведення формули коефіцієнта запасу n , складниками якої є частинні коефіцієнти запасу n_i .

а) Запис співвідношення (5) у вигляді

$$\frac{1}{n} = f\left(\frac{1}{n_i}\right), \quad (8)$$

використовуючи формули (4) і (6).

б) Запис формули коефіцієнта запасу, після виконання необхідних перетворень співвідношення (8), у вигляді:

$$n = f(n_i). \quad (9)$$

Виведення формул коефіцієнта запасу

При складному опорі в розрахунках використовують одну з трьох гіпотез міцності, залежно від виду напруженого стану (лінійний чи складний) і стану матеріалу (крихкий чи пластичний): найбільшого нормального напруження, найбільшої додатної лінійної деформації, найбільшого дотичного напруження [1, с.175].

Нижче наведено формулювання гіпотез міцності і виведення, згідно з методикою, формули коефіцієнта запасу при використанні відповідного критерію міцності.

Гіпотеза найбільшого нормального напруження

Руйнування матеріалу за складного опору, що спричиняє лінійний напружений стан, настає при досягненні найбільшим нормальним напруженням граничного значення.

Лінійний напружений стан при складному опорі виникає за наявності простих опорів розтягу (стиску) і згину.

Виведення формули коефіцієнта запасу при використанні критерію найбільшого нормального напруження ($K = |\sigma_{\max}|$).

Вихідні дані. Статичне навантаження спричиняє в небезпечній точці деталі додатні нормальні напруження розтягу і згину, σ_p і σ_z відповідно.

Діємо згідно з методикою (див. п.3).

1) Запис формули максимального значення критерію найбільшого нормального напруження:

$$K = \sigma_{\max} = \sigma_p + \sigma_z. \quad (10)$$

2) Запис формули опірності згідно із (5) і (10):

$$\omega = \omega_p + \omega_z, \quad (11)$$

де ω_p і ω_z – частинні опірності нормальним напруженням, спричиненим розтягом і згином відповідно.

3) Використавши співвідношення (4) і (6), записуємо формулу (11) у вигляді виразу (8):

$$\frac{1}{n} = \frac{1}{n_p} + \frac{1}{n_3} = \frac{n_p + n_3}{n_p n_3} \Rightarrow$$

$$n = \frac{n_p n_3}{n_p + n_3}, \quad (12)$$

де n_p, n_3 – частинні коефіцієнти запасу.

$$n_p = \sigma_{Lp} / \sigma_p, \quad (13)$$

$$n_3 = \sigma_{L3} / \sigma_3. \quad (14)$$

В (13), (14) σ_{Lp} і σ_{L3} – граничні нормальні напруження при розтязі і згині відповідно.

Замінивши індекси у (12), отримаємо:

$$n = \frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}, \quad (15)$$

де n_1, n_2 – частинні коефіцієнти запасу за простих опорів, що спричиняють лінійний напружений стан.

За трьох простих опорів формула (11) набуде вигляду:

$$\omega = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3, \quad (16)$$

а формула коефіцієнта запасу

$$n = \frac{n_1 n_2 n_3}{n_1 n_2 + n_2 n_3 + n_3 n_1}. \quad (17)$$

При числі простих опорів $i > 3$ формула коефіцієнта запасу, складниками якої є частинні коефіцієнти n_i , стає досить громіздкою. Тому доцільно використати формулу (4)

$$n = 1 / \omega,$$

де

$$\omega = \sum \omega_i \quad (i = 4, 5, \dots, m). \quad (18)$$

Гіпотеза найбільшого дотичного напруження

Руїнування пластичного матеріалу за складного опору, що спричиняє складний напружений стан, настає при досягненні найбільшим дотичним напруженням граничного значення.

Виведення формули коефіцієнта запасу при використанні критерію найбільшого дотичного напруження.

В машинобудуванні найбільший практичний інтерес представляє складний напружений стан, що виникає при сумісній дії згину і кручення.

Вихідні дані. В небезпечній точці сталевго стержня з конструкційної сталі діють нормальне напруження σ і дотичне τ , спричинені статичними згином і крученням відповідно.

Виведення формули (діємо згідно з п.3).

1) Запис формули максимального значення критерію міцності K (найбільшого дотичного напруження).

При згині з крученням матеріал в небезпечній точці перебуває в умовах спрощеного плоского напруженого стану (рис. 1).

Максимальне дотичне напруження при складному напруженому стані обчислюють за формулою

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}, \quad (19)$$

де σ_1 і σ_3 – екстремальні головні напруження.

Нагадаємо, що алгебраїчно

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3. \quad (20)$$

Отже головні напруження σ_1 і σ_3 потрібно виразити через задані напруження σ і τ .

Головні напруження при плоскому напруженому стані обчислюють за формулою:

$$\sigma_{\max}^{\min} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_x - \sigma_y}{2}\right)^2 + \tau_{xy}^2}. \quad (21)$$

В даному разі

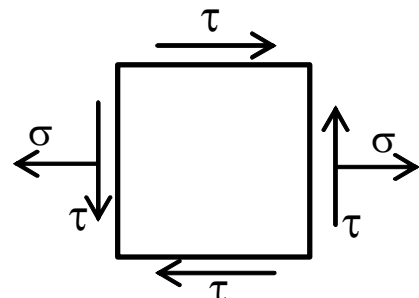


Рис. 1.

$$\sigma_x = \sigma; \quad \sigma_y = 0; \quad \tau_{xy} = -\tau. \quad (22)$$

Із (21), (22) випливає:

$$\begin{aligned} \sigma_{\max} &= \sigma/2 + \sqrt{(\sigma/2)^2 + \tau^2} > 0; \\ \sigma_{\min} &= \sigma/2 - \sqrt{(\sigma/2)^2 + \tau^2} < 0. \end{aligned}$$

Третє головне напруження дорівнює нулю.

Відповідно до (20) маємо:

$$\sigma_1 = \sigma/2 + \sqrt{(\sigma/2)^2 + \tau^2}; \quad \sigma_2 = 0; \quad \sigma_3 = \sigma/2 - \sqrt{(\sigma/2)^2 + \tau^2}. \quad (23)$$

Згідно із (19) і (23) отримуємо:

$$K = \tau_{\max} = \sqrt{(\sigma/2)^2 + \tau^2}, \quad (24)$$

де $\sigma/2$, τ – дотичні напруження в небезпечній точці, спричинені згином і крученням відповідно.

2) Запис формули опірності відповідно до (5) і (24):

$$\omega = \sqrt{\omega_3^2 + \omega_k^2}, \quad (25)$$

де ω_3 і ω_k – опірності дотичним напруженням, спричиненим згином і крученням відповідно.

$$\omega_3 = \frac{\tau_3}{\tau_{L3}} = \frac{\sigma/2}{\sigma_L/2} \Rightarrow \omega_3 = \sigma/\sigma_L. \quad (26)$$

$$\omega_k = \frac{\tau_k}{\tau_{LK}} \Rightarrow \omega_k = \tau/\tau_L. \quad (27)$$

3) Запис формули (25) у вигляді співвідношення (8), використовуючи (4) і (6):

$$\begin{aligned} \frac{1}{n} &= \sqrt{\left(\frac{1}{n_\sigma}\right)^2 + \left(\frac{1}{n_\tau}\right)^2} = \sqrt{\frac{n_\sigma^2 + n_\tau^2}{n_\sigma^2 n_\tau^2}} \Rightarrow \\ &\boxed{n = \frac{n_\sigma n_\tau}{\sqrt{n_\sigma^2 + n_\tau^2}}}, \end{aligned} \quad (28)$$

де n_σ , n_τ – частинні коефіцієнти запасу по нормальному і дотичному напруженням відповідно.

$$n_\sigma = \sigma_L/\sigma; \quad n_\tau = \tau_L/\tau. \quad (29)$$

У разі 3-х простих опорів у вигляді розтягу, згину і кручення формула (25) набуде вигляду:

$$\omega = \sqrt{(\omega_p + \omega_3)^2 + \omega_k^2}. \quad (30)$$

Частинний коефіцієнт запасу n_σ у (28) потрібно обчислити згідно з (12):

$$n_\sigma = \frac{n_p n_3}{n_p + n_3}, \quad (31)$$

де n_p , n_3 – частинні коефіцієнти запасу, що відповідають простим опорам розтягу і згину.

Гіпотеза найбільшої додатної лінійної деформації

Руйнування крихкого матеріалу за складного опору, що спричиняє складний напружений стан, настає при досягненні найбільшою додатною лінійною деформацією граничного значення.

Виведення формули коефіцієнта запасу при використанні критерію найбільшої додатної лінійної деформації (надалі "ДЛД").

Вихідні дані. В небезпечній точці стержня із крихкого металу діють нормальне напруження σ і дотичне τ , спричинені статичними згином і крученням відповідно.

Діємо згідно з методикою (див. п. 3).

1) Запис формули максимального значення критерію міцності K (найбільшої ДЛД – ε_{\max}).

При згині з крученням, як уже відмічалось вище, матеріал в небезпечній точці перебуває в умовах спрощеного плоского напруженого стану (рис. 1).

Напрямок найбільшої ДЛД (ε_{\max}) збігається з напрямком найбільшого (алгебраїчно) головного напруження σ_1 . Її величина обчислюється за узагальненим законом Гука:

$$\varepsilon_{\max} = \varepsilon_1 = (\sigma_1 - \mu(\sigma_2 + \sigma_3))/E, \quad (32)$$

де μ – коефіцієнт Пуассона, E – модуль поздовжньої пружності.

Із (23) і (32) отримаємо:

$$K = \varepsilon_{\max} = (1 - \mu)(\sigma/2)/E + (1 + \mu)\sqrt{(\sigma/2)^2 + \tau^2}/E \Rightarrow$$

$$K = \varepsilon_{\max} = \frac{1 - \mu}{2} \left(\frac{\sigma}{E} \right) + \sqrt{\left(\frac{1 + \mu}{2} \right)^2 \left(\frac{\sigma}{E} \right)^2 + \left(\frac{1 + \mu}{E} \tau \right)^2}, \quad (33)$$

де

$$\sigma/E = \varepsilon_{\sigma}; \quad (34)$$

$$(1 + \mu)\tau/E = \varepsilon_{\tau} \quad (35)$$

– прості лінійні деформації, спричинені згином і крученням відповідно.

Як видно із (33), складові деформації $\frac{1 - \mu}{2} \left(\frac{\sigma}{E} \right)$ і $\frac{1 + \mu}{2} \left(\frac{\sigma}{E} \right)$ по різному впливають на сумарну

деформацію ε_{\max} .

2) Запис формули опірності відповідно до (5) і (33):

$$\omega = \frac{1 - \mu}{2} \omega_{\sigma} + \sqrt{\left(\frac{1 + \mu}{2} \right)^2 \omega_{\sigma}^2 + \omega_{\tau}^2}, \quad (36)$$

де ω_{σ} і ω_{τ} – частинні опірності додатним лінійним деформаціям, спричиненим в небезпечній точці згином і крученням відповідно.

$$\omega_{\sigma} = \frac{\varepsilon_{\sigma}}{\varepsilon_{L\sigma}} = \frac{\sigma/E}{\sigma_L/E} \Rightarrow$$

$$\omega_{\sigma} = \sigma/\sigma_L; \quad (37)$$

$$\omega_{\tau} = \frac{\varepsilon_{\tau}}{\varepsilon_{L\tau}} = \frac{(1 + \mu)\tau/E}{(1 + \mu)\tau_L/E} \Rightarrow$$

$$\omega_{\tau} = \tau/\tau_L. \quad (38)$$

У формулах (37) і (38) величини σ_L і τ_L – граничні значення нормального і дотичного напружень відповідно.

3) Запис формули (36) у вигляді співвідношення (8), з використанням (4) і (6):

$$\frac{1}{n} = \frac{1 - \mu}{2} \cdot \frac{1}{n_{\sigma}} + \sqrt{\left(\frac{1 + \mu}{2} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{n_{\sigma}} \right)^2 + \left(\frac{1}{n_{\tau}} \right)^2} =$$

$$= \frac{1 - \mu}{2n_{\sigma}} + \sqrt{\frac{(1 + \mu)^2 n_{\tau}^2 + 4n_{\sigma}^2}{4n_{\sigma}^2 n_{\tau}^2}} = \frac{(1 + \mu)n_{\tau} + \sqrt{4n_{\sigma}^2 + (1 + \mu)^2 n_{\tau}^2}}{2n_{\sigma} n_{\tau}} \Rightarrow$$

$$n = \frac{n_{\sigma} n_{\tau}}{(1 - \mu)n_{\tau}/2 + \sqrt{n_{\sigma}^2 + (1 + \mu)^2 (n_{\tau}/2)^2}}, \quad (39)$$

де n_{σ} , n_{τ} – частинні коефіцієнти запасу по нормальному і дотичному напруженням відповідно.

$$n_{\sigma} = \sigma_L/\sigma, \quad (40)$$

$$n_{\tau} = \tau_L/\tau. \quad (41)$$

При наявності простих опорів згину, розтягу і кручення величину коефіцієнта n_{σ} обчислюють за формулою (31).

Обговорення результатів

Використання понять "опірність" і "частинна опірність" дозволяє суттєво спростити визначення коефіцієнта запасу деталі за складного опору при використанні різних критеріїв міцності.

Особливо ефективний цей спосіб при визначенні коефіцієнта запасу за наявності більше трьох простих опорів, що є компонентами складного опору, а також при виведенні формул коефіцієнта запасу за складного опору, що спричиняє складний напружений стан.

Прості опори можуть бути як статичними, так і циклічними. Або одна частина опорів може мати статичний характер, а інша – циклічний.

Запропонований спосіб дозволяє обчислити коефіцієнт запасу без визначення граничного значення критерію міцності при складному опорі. Тому відпадає потреба в діаграмі граничних значень критерію міцності, побудова якої може спричинити значні труднощі, як це видно із [3, 4].

На нашу думку, можна сподіватись, що запропонований спосіб знайде застосування в інженерних розрахунках.

Увага! Спроба автора визначити граничне значення критерію найбільшої додатної лінійної деформації за допомогою часткового використання діаграми граничних дотичних напружень [4, с. 34] виявилась невдалою. Причина: не врахована та обставина, що однакові формули найбільшого дотичного напруження і складника найбільшої додатної лінійної деформації мають різний фізичний зміст.

Висновки

1. Запропоновано спосіб визначення коефіцієнта запасу і виведення формул коефіцієнта запасу з використанням понять "опірність" і "частинна опірність".
2. Спосіб дозволяє вивести формулу коефіцієнта запасу без побудови діаграми граничних значень критерію міцності.

Література

1. Павлов В.С. Вибір критерію міцності в машинобудуванні. / В.С.Павлов // Вісник Хмельницького національного університету. – Технічні науки. – 2006. – № 6. – С. 172-176.
2. Павлов В.С. Визначення коефіцієнта запасу міцності при використанні критерію найбільшого нормального напруження. / В.С.Павлов // Вісник Хмельницького національного університету. – Технічні науки. – 2008. – № 3. – С. 39-43.
3. Павлов В.С. Визначення коефіцієнта запасу при використанні критерію найбільшого дотичного напруження. / В.С.Павлов // Вісник Хмельницького національного університету. – Технічні науки. – 2010. – № 1. – С. 25-31.
4. Павлов В.С. Визначення коефіцієнта запасу при використанні критерію найбільшої додатної лінійної деформації / В.С.Павлов // Вісник Хмельницького національного університету. – Технічні науки. – 2010. – № 2. – С. 34-41.
5. Павлов В.С. Виведення формули коефіцієнта запасу при циклах напружень з від'ємним середнім напруженням. / В.С. Павлов, В.І. Євдокименко // Вісник Хмельницького національного університету. – Технічні науки. – 2009. – № 3. – С. 16-25.

Надійшла 5.1.2011 р.

УДК 677.055

Б.Ф. ПІПА, А.І. МАРЧЕНКО, В.В. ЧАБАН
Київський національний університет технологій та дизайну

ДО ЗНИЖЕННЯ ПУСКОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ В ПРИВОДІ КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНИХ МАШИН

Представлено результати досліджень з підвищення надійності та довговічності роботи круглов'язальних машин шляхом зниження пускових динамічних навантажень в приводі. Запропоновано здійснювати пуск круглов'язальної машини при мінімальній робочій її швидкості за допомогою лобового фрикційного варіатора, керованого електромагнітом. Наведено методику вибору робочих параметрів лобового фрикційного варіатора та електромагніта.

The results of researches on increase of reliability and durability of job of circleknitted machines are submitted by reduction of starting dynamic loadings in a drive. It is offered to carry out start-up of circleknitted machines at the minimal working speed through frontal frictional CVT, controlled by an electromagnet. The technique of choice of working parameters frontal frictional CVT and electromagnet is given.

Ключові слова: круглов'язальна машина, привод, лобовий варіатор, динамічні навантаження.

Вступ

Специфікою роботи круглов'язальних машин є значні динамічні навантаження, що виникають в періоди несталого режиму їх роботи (пуск, гальмування та інше), величина яких в 3 та більше разів перевищує сталі навантаження [1, 2]. Дослідження показують, що зниженню динамічних навантажень в механізмах круглов'язальних машин в значній мірі сприяє удосконалення конструкції привода [3]. При цьому на величину динамічних навантажень впливають не тільки пусковий момент електродвигуна привода, а і режим пуску привода та його конструктивні параметри (жорсткість пружних в'язей, моменти інерції обертальних мас та інше). Тому і надалі в трикотажному машинобудуванні залишається актуальним питання подальшого вдосконалення конструкції привода круглов'язальних машин, що сприяє зниженню динамічних навантажень.

Об'єктом досліджень обрано привод круглов'язальних машин, його вдосконалення та метод вибору раціональних параметрів, що призводить до зниження динамічних пускових навантажень, забезпечуючи підвищення надійності та довговічності роботи як привода, так і круглов'язальної машини в цілому.

При розв'язанні задач, поставлених у даній роботі, були використані сучасні методи теоретичних

досліджень, що базуються на теорії пружних коливань мас механічних систем, теорії пружності, опору матеріалів та деталей машин.

Завданням досліджень стала розробка нової більш досконалої конструкції приводу круглов'язальної машини, здатної знизити пускові динамічні навантаження, та методики вибору його робочих параметрів.

Основний розділ

Параметри приводу круглов'язальної машини значною мірою впливають на динамічні навантаження, що виникають під час її пуску [4]. Згідно з результатами досліджень автора [5] величина максимальних динамічних навантажень, що виникають в приводі під час пуску круглов'язальних машин, може бути знайдена за залежністю:

$$T_{max} = \sqrt{(T_2 - T_1)^2 + \frac{T_1^2 J_2 \sin^2 \left[\arccos \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) \right]}{J_1 + J_2}} + \frac{J_2 T_1 + J_1 T_2}{J_1 + J_2}, \quad (1)$$

де T_{max} – максимальні динамічні навантаження в приводі;

T_1, T_2 – відповідно ведучий (пусковий) момент електродвигуна та момент сил опору механізмів машини (тут і надалі параметри приведені до валу електродвигуна);

J_1, J_2 – відповідно моменти інерції ведучої (ротор електродвигуна з урахуванням моменту інерції ведучого шківів клинопасової передачі) та веденої мас системи (моменти інерції оберտальних мас механізмів машини).

Аналіз залежності (1) показує, що зниження динамічних навантажень в приводі можна досягти шляхом зменшення на період пуску круглов'язальної машин параметрів T_2 та J_2 .

Враховуючи ці обставини, автори запропонували конструкцію приводу (рис. 1), здатного реалізувати цю пропозицію авторів.

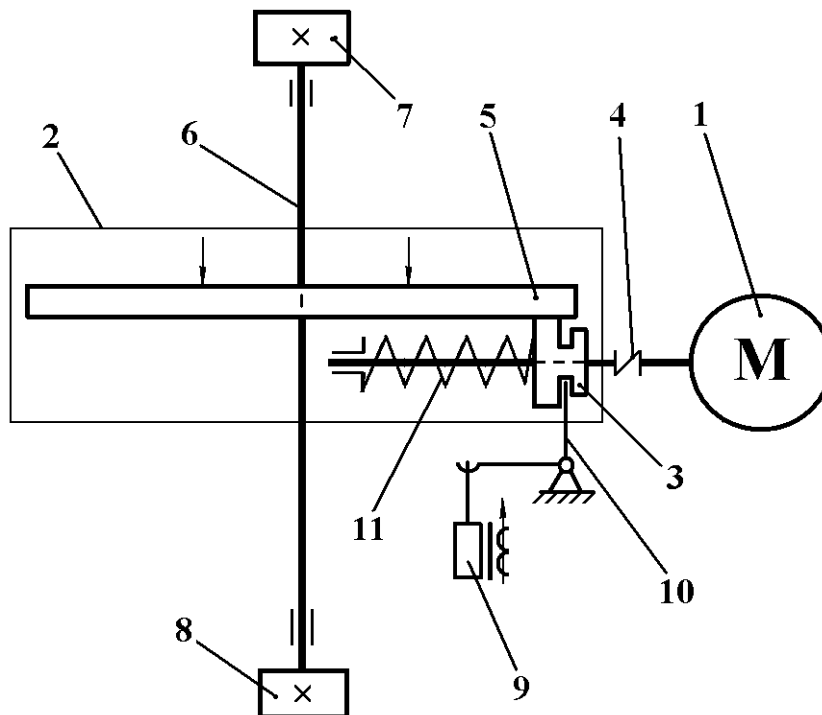


Рис. 1. Схема приводу круглов'язальної машини з лобовим фрикційним варіатором та електромагнітом

Привід круглов'язальної машини містить електродвигун 1, лобовий фрикційний варіатор 2, коток 3 якого за допомогою муфти 4 з'єднаний з електродвигуном 1, а диск 5 з'єднаний з вертикальним приводним валом 6, на кінцях якого жорстко закріплені циліндричні шестерні 7, 8 для кінематичного зв'язку з механізмами круглов'язальної машини (на рис. 1 не показані), та електромагніт 9, з'єднаний за допомогою важеля 10 з котком 3. Лобовий фрикційний варіатор 2 містить також пружину стиску 11, що взаємодіє з котком 3.

Принцип роботи приводу такий. При вмиканні електродвигуна 1 оберտальний рух його вала передається за допомогою муфти 4 котку 3. За рахунок сил тертя, зумовлених притиском диску 5 до котка 3, оберտальний рух котка 3 передається диску 5 і, відповідно, вертикальному приводному валу 6, з'єднаному з ним. Циліндричні шестерні 7, 8, жорстко закріплені на кінцях вертикального приводного вала 6, приводять в оберտальний рух механізми круглов'язальної машини. Схема керування пуском електродвигуна побудована таким чином, що при вмиканні електродвигуна електромагніт 9 залишається вимкненим і коток 3 під дією

тиску пружини стиску 11 займає крайнє праве положення (згідно з рис. 1), що відповідає максимальному передаточному числу лобового фрикційного варіатора і відповідно мінімальній швидкості круглов'язальної машини, коли динамічні навантаження будуть мінімальними. Після закінчення перехідного режиму пуску електродвигуна (час, коли настає стаціонарний режим роботи електродвигуна) вмикається електромагніт 9, який за допомогою важеля 10 відводить коток 3 вліво (згідно з рис. 1), забезпечуючи його робоче положення відносно диска 5, що призводить до зменшення передаточного числа лобового фрикційного варіатора 2, забезпечуючи робочу швидкість круглов'язальної машини. При зупинці круглов'язальної машини одночасно вимикаються електродвигун і електромагніт (коток 3 під дією тиску пружини стиску 11 займає вихідне крайнє праве положення).

Регулювання швидкості круглов'язальної машини (вибір раціонального режиму роботи) досягається шляхом переміщення котка 3 вздовж його осі за допомогою механізму регулювання (на рис. 1 не показаний).

Розміри робочих елементів (котка та диска) фрикційного варіатора можуть бути знайдені із умови їх контактної витривалості [6]:

$$d_1 = 240 \sqrt[3]{\frac{\beta P E}{\psi u f n [\sigma_{\max}]^2}}, \quad (2)$$

де d_1 – діаметр котка;

β – коефіцієнт запасу зчеплення котка з диском;

P – потужність фрикційного варіатора (потужність привода);

E – приведений модуль пружності матеріалів котка та диска;

ψ – коефіцієнт ширини ролика,

$$\psi = \frac{b}{d_1};$$

b – ширина котка;

u – мінімальне передаточне число варіатора;

f – коефіцієнт тертя пари коток – диск;

n – частота обертання котка;

$[\sigma_{\max}]$ – допустиме контактне напруження в парі коток – диск.

Сила електромагніту, необхідна для зміни положення котка при переході привода в робочий режим роботи круглов'язальної машини, знаходиться із умови:

$$F_e = \frac{F l_1}{l_2} - F_r = \frac{1,1(F_{np} + F_n) l_1}{l_2} - F_r, \quad (3)$$

де F_e , F , F_{np} , F_n – відповідно сила електромагніта, сила зміни положення котка, сила пружини стиску та сила переміщення котка відносно диска;

1,1 – коефіцієнт, що враховує тертя, зумовлене переміщенням котка по валу;

l_1 , l_2 – робоча довжина відповідно вертикального (згідно з рис. 1) та горизонтального плеча важеля.

F_r – вага якоря електромагніта.

Величина сили переміщення котка відносно диска F_n знаходиться із умови [7]:

$$F_n = \frac{F_t}{\sqrt{1 + \left(\frac{v_{cp}}{v_n}\right)^2}}, \quad (4)$$

де F_t – необхідна для передачі крутного моменту механізмам круглов'язальної машини сила тертя фрикційної пари варіатора;

v_{cp} – середня швидкість геометричного ковзання робочих тіл варіатора (коток, диск),

$$v_{cp} = \frac{v_{\max}}{2} = \frac{d_1 \cdot b}{2 \cdot d_2} \cdot \omega; \quad (5)$$

v_{\max} – максимальна швидкість геометричного ковзання робочих тіл варіатора;

d_2 – діаметр диска;

ω – кутова швидкість котка;

v_n – швидкість переміщення котка електромагнітом.

Інші параметри привода можна знайти використовуючи результати досліджень [1, 2, 8, 9 та ін.].

Використання запропонованої конструкції привода круглов'язальної машини з лобовим

фрикційним варіатором та електромагнітом дозволяє:

- знизити динамічні навантаження, що виникають в приводі та механізмах круглов'язальної машини під час пуску;
- підвищити довговічність роботи привода та круглов'язальної машини в цілому шляхом зниження динамічних навантажень;
- підвищити продуктивність круглов'язальної машини за рахунок скорочення простоїв, зумовлених необхідністю ремонту або заміни робочих елементів привода.

Література

1. Піпа Б.Ф. Динаміка круглов'язальних машин / Піпа Б.Ф., Хомяк О.М., Павленко Г.І. – К. : КНУТД, 2005. – 294 с.
2. Піпа Б.Ф. Наукові основи проектування та удосконалення систем гальмування круглов'язальних машин / Піпа Б.Ф., Хомяк О.М., Павленко Г.І. – К. : КНУТД, 2003. – 208 с.
3. Хомяк О.Н. Повышение эффективности работы вязальных машин / О.Н. Хомяк, Б.Ф. Пипа. – М. : Легпромбытиздат, 1990. – 208 с.
4. Піпа Б.Ф. Вплив конструктивних параметрів привода круглов'язальних машин на динамічні навантаження / Б.Ф. Піпа, С.О. Ловейкіна // Вісник КНУТД. – 2004. – № 6 (20). – С. 5– 11.
5. Піпа Б.Ф. Вплив параметрів привода круглов'язальних машин типу КО на величину пускових навантажень / Б.Ф. Піпа, Г.І. Коньков, С.О. Ловейкіна // Вісник КНУТД. – 2005. – № 1 (21). – С. 12– 15.
6. Райко М.В. Расчет деталей и узлов машин / Райко М.В. – К. : Техніка, 1966. – 500 с.
7. Пронин Б.А. Бесступенчатые клиноременные и фрикционные передачи (вариаторы) / Б.А. Пронин, Г.А. Ревков. – М. : Машиностроение, 1987. – 404 с.
8. Кожевников С.Н. Динамика машин с упругими звеньями / Кожевников С.Н. – К. : Изд-во АН УССР, 1961. – 190 с.
9. Піпа Б.Ф. Приводи круглов'язальних машин (нові розробки та елементи розрахунку) / Піпа Б.Ф., Хомяк О.М., Марченко А.І. – К. : КНУТД, 2007. – 400 с.

Надійшла 28.1.2011 р.

УДК 677.055

Б.Ф. ПІПА, В.П. МІСЯЦЬ, В.В.ЧАБАН
Кіївський національний університет технологій та дизайну

ДВОПОТОЧНА ФРИКЦІЙНА ПЕРЕДАЧА ТА ОСОБЛИВОСТІ ЇЇ РОЗРАХУНКУ

Представлено результати досліджень з удосконалення фрикційних передач. Запропоновано нову конструкцію двопоточної фрикційної передачі з паралельно розташованими валами та двома конічними ведучими котками. Наведено методику розрахунку запропонованої фрикційної передачі.

The results of researches of improvement of friction-gears have been presented. The new construction of two-stream friction-gear with the billows located in parallel and two conical first rollers have been offered. Methodology of calculation of the offered friction-gear has been brought in the article.

Ключові слова: фрикційна передача, довговічність роботи фрикційної передачі, двопоточна передача потужності, розрахунок фрикційної передачі.

Вступ

Фрикційні передачі, маючи ряд переваг над іншими механічними передачами (простота конструкції, безшумність роботи, можливість безступінчатого регулювання передаточного числа та ін.), широко використовуються в машинах та обладнанні легкої промисловості [1-3]. Як показують дослідження [4, 5], існуючі конструкції фрикційних передач мають ряд недоліків. Зокрема двопоточні фрикційні передачі, як такі, що можуть передавати більшу потужність, складі в конструктивному виконанні і недовговічні в роботі. Тому як в легкому, так і в загальному машинобудуванні залишається актуальним питання подальшого вдосконалення конструкцій фрикційних передач, що сприяє підвищенню ефективності роботи приводів машин та обладнання, де вони використовуються.

Об'єктом досліджень обрано двопоточні фрикційну передачу, її вдосконалення та метод вибору її параметрів, що забезпечують працездатність та довговічність роботи фрикційної передачі.

При розв'язанні задач, поставлених у даній роботі, були використані сучасні методи теоретичних досліджень, що базуються на теорії пружності, опору матеріалів та деталей машин.

Завданням досліджень стала розробка нової більш досконалої конструкції двопоточної фрикційної передачі, здатної підвищити надійність та довговічність її роботи, та методики вибору її робочих параметрів.

Основний розділ

Враховуючи ці обставини, автори запропонували нову конструкцію фрикційної передачі (рис. 1), здатної вирішити поставлену задачу.

Фрикційна передача містить ведучий коток 1, встановлений на ведучому валу 2, додатковий ведучий коток 3 з проміжним валом 4 та ведений коток 5 з внутрішньою 6 і зовнішньою 7 робочими поверхнями, встановлений на веденому валу 8 з можливістю взаємодії внутрішньої робочої поверхні 6 з ведучим котком 1, а зовнішньої робочої поверхні 7 з додатковим ведучим котком 3, при цьому осі ведучого 2, веденого 8 та проміжного 4 валів розташовані в одній площині. Ведучий вал 2 кінематично зв'язаний з проміжним валом 4 за допомогою циліндричних шестерень 9, 10. Ведучий коток 1 і додатковий ведучий коток 3 виконані конічними та встановлені відповідно на ведучому 2 та проміжному 4 валах з можливістю осьового переміщення та притискання до відповідних робочих поверхонь веденого котка 5.

Фрикційна передача працює таким чином. При вмиканні привода, в складі якого використовується фрикційна передача (на рис. 1 не показаний), ведучий вал 2 з встановленими на ньому ведучим котком 1 та циліндричною шестернею 9 починає обертатися. Обертальний рух циліндричної шестерні 9 передається циліндричній шестерні 10 та жорстко з'єднаному з нею проміжному валу 4. Встановлені з можливістю осьового переміщення на ведучому 2 та проміжному 4 валах ведучий 1 та додатковий ведучий 3 котки, взаємодіючи під тиском пружин стиску (на рис. 1 не показані) з відповідними робочими поверхнями 6, 7 веденого котка 5, приводять останній в обертальний рух, а разом з ним і ведений вал 8, на якому він жорстко встановлений. При цьому передача потужності від ведучого вала 2 до веденого вала 8 здійснюється двома потоками: перший потік ведучий вал 2 – ведучий коток 1 – ведений коток 5 – ведений вал 8; другий потік ведучий вал 2 – циліндрична шестерня 9 – циліндрична шестерня 10 – проміжний вал 4 – додатковий ведучий коток 3 – ведений коток 5 – ведений вал 8.

Передача потужності від ведучого вала 2 до веденого вала 8 двома потоками знижує контактні напруження на робочих поверхнях 6, 7 веденого котка 5, що взаємодіють відповідно з ведучим 1 та додатковим ведучим 3 котками, що призводить до підвищення довговічності роботи фрикційної передачі. При цьому наявність на веденому котку 5 двох робочих поверхонь 6, 7 розвантажує ведений вал 8 та його опори від радіальних навантажень, що також призводить до підвищення довговічності роботи фрикційної передачі.

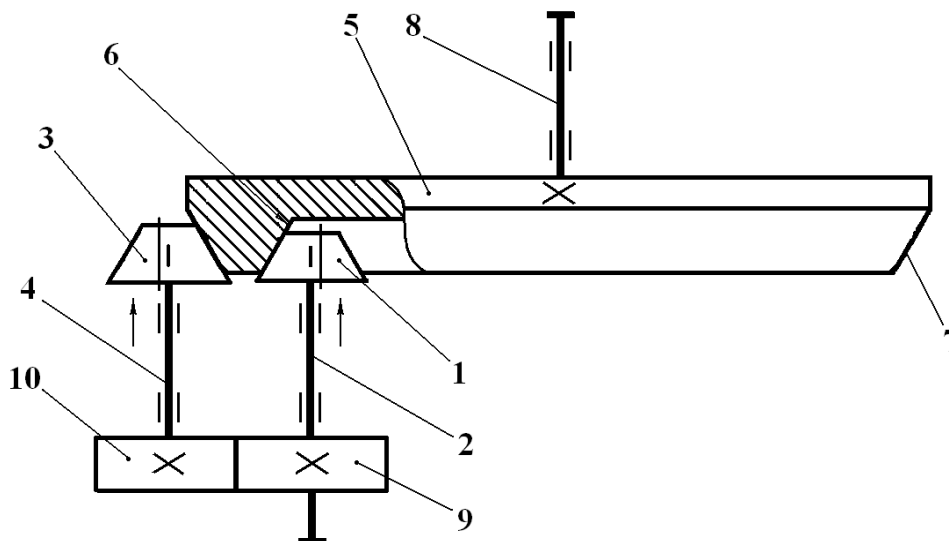


Рис. 1. Схема двопоточної фрикційної передачі

Аналіз показує, що задовільна робота запропонованої фрикційної передачі можлива при умові:

$$\varpi_1 = \varpi \frac{d_2}{d_1}; \quad \varpi_2 = \varpi \frac{d_4}{d_3}, \quad (1)$$

де ϖ_1, ϖ_2 – кутова швидкість відповідно додаткового ведучого 3 та ведучого 1 котків;
 ϖ – кутова швидкість веденого котка;
 d_1, d_3 – середні діаметри відповідно додаткового ведучого та ведучого котків;
 d_2, d_4 – середні діаметри відповідно зовнішньої та внутрішньої робочих поверхонь веденого котка.

Передаточне число зубчастої передачі u_1 знаходиться із умови:

$$u_1 = \frac{\varpi_1}{\varpi_2} = \frac{z_2}{z_1}, \quad (2)$$

де z_1, z_2 – число зубів відповідно шестерень 10, 9 (рис. 1).

Використовуючи вирази (1), (2), знаходимо:

$$\frac{d_2 \cdot d_3}{d_1 \cdot d_4} = \frac{z_2}{z_1} \quad (3)$$

Очевидно, що при $z_1 = z_2$:

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{d_4}{d_3} \quad (4)$$

Нехтуючи пружним ковзанням фрикційної передачі [6, 7], можемо записати:

$$u_2 = \frac{d_2}{d_1} = \frac{d_4}{d_3} \quad (5)$$

де u_2 – передаточне число фрикційної передачі.

Для забезпечення працездатності привода, окрім кінематичної умови (5), необхідно також витримувати і наступне геометричне співвідношення (рис. 2):

$$a_1 = a_2 = \frac{m(z_1 + z_2)}{2} = \frac{d_1 + d_3}{2} + b \quad (6)$$

де a_1, a_2 – міжосьова відстань відповідно зубчастій передачі та ведучих котків 1, 3 (рис. 1);
 m – модуль зубчастого зачеплення;
 b – середня ширина ободу веденого котка в зоні взаємодії його з ведучими котками 1, 3..

Підставивши $b = \frac{d_2 - d_4}{2}$ (рис. 2) в (6),

одержимо:

$$d_1 + d_2 + d_3 - d_4 = m(z_1 + z_2) \quad (7)$$

Для знаходження середньої ширини ободу фрикційного колеса можемо записати:

$$b = \frac{d_{1max} - d_1}{2} + \frac{d_{3max} - d_3}{2} + b_1 \quad (8)$$

де d_{1max}, d_{3max} – величина більшого (максимального) діаметру відповідно додаткового ведучого та ведучого котків;

b_1 – ширина ободу веденого котка в зоні взаємодії його з ведучими котками 1, 3 (рис. 1).

Очевидно:

$$d_{1max} = d_1 + h \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad d_{3max} = d_3 + h \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (9)$$

де h – довжина ведучого котка;

β – кут конусності ведучих котків;

$$b = b_1 + h \cdot \operatorname{tg} \beta \quad (10)$$

Ширину ободу веденого котка з урахуванням вимог працездатності та зниження металоємкості доцільно вибирати із умови [7]:

$$0 \leq b_1 \leq 5 \text{ мм} \quad (11)$$

Із конструктивних особливостей веденого котка (рис. 2) маємо:

$$d_2 = d_4 + 2b \quad (12)$$

З метою зниження осьового тиску ведучих котків на ведений коток кут конусності котків β повинен задовольняти умову [6]:

$$\sin \beta = \frac{F_a}{F} \leq 12^\circ \quad (13)$$

де F_a – осьовий тиск ведучого котка на ведений коток;

F – нормальний тиск в фрикційній парі ведучий – ведений коток.

Як відомо [7], умовою працездатності фрикційної передачі є:

$$F_{TP} = k \cdot F_t \quad (14)$$

де F_{TP} – сила тертя в зоні взаємодії ведучих котків з веденим котком;

k – коефіцієнт надійності роботи фрикційної передачі;

F_t – окружна сила фрикційної пари ведучий коток – ведений коток; прийнявши рівномірний

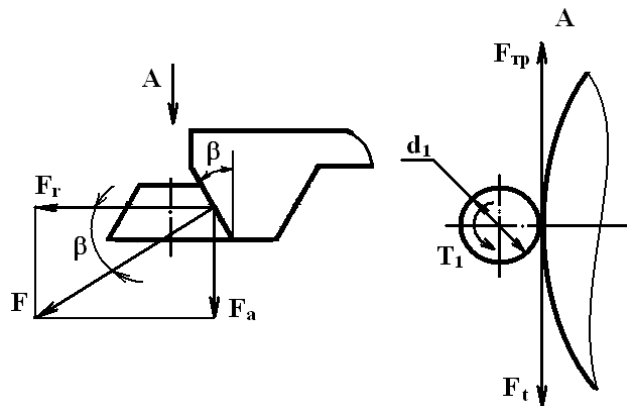
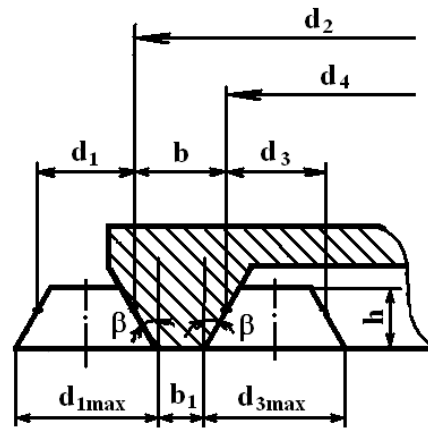


Рис. 2. Розрахункова схема фрикційної передачі привода

розподіл потужності між двома ведучими котками, маємо:

$$F_t = \frac{2T_1}{d_1} = \frac{P}{d_1 \cdot \omega_1}; \quad (15)$$

T_1 – крутний момент одного із ведучих котків;

P – потужність фрикційної передачі.

Оскільки $F_{TP} = F \cdot f$ (f – коефіцієнт тертя в парі ведучий коток – ведений коток), із виразу (14), використовуючи (15), знаходимо:

$$F = \frac{k \cdot P}{d_1 \cdot \omega_1 \cdot f}. \quad (16)$$

При проектуванні фрикційної передачі приводу доцільно із конструктивних міркувань спершу задатись розмірами одного із ведучих котків, наприклад додаткового ведучого, d_1 і його довжиною h , а потім виконати перевірку фрикційної передачі із умови роботи її на контактну витривалість [6]:

$$\sigma = 0,418 \sqrt{\frac{\lambda \cdot F \cdot E}{l \cdot \rho}} \leq [\sigma_H], \quad (17)$$

де σ , $[\sigma_H]$ – контактне напруження в парі ведучий коток – ведений коток відповідно максимальне діюче та допустиме;

λ – коефіцієнт довговічності фрикційної передачі;

E – приведений модуль пружності матеріалів ведучих та веденого котків;

l – довжина лінії контакту ведучого котка з веденим котком,

$$l = \frac{h}{\cos \beta}; \quad (18)$$

ρ – приведений радіус кривизни робочих поверхонь ведучого та веденого котків,

$$\rho = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}. \quad (19)$$

Оскільки для даної фрикційної передачі [6] $R_1 = \frac{d_1}{2 \cos \beta}$; $R_2 = \frac{d_2}{2 \cos \beta} = \frac{d_1 \cdot u_2}{2 \cos \beta}$, вираз (19) набуває вигляду:

$$\rho = \frac{d_1 \cdot u_2}{2 \cos \beta (1 + u_2)}. \quad (20)$$

Підставивши одержані результати (16), (18), (20) в (17), остаточно одержуємо:

$$\sigma = 0,59 \frac{\cos \beta}{d_1} \sqrt{\frac{P \cdot k \cdot \lambda \cdot E (1 + u_2)}{h \cdot f \cdot \omega_1 \cdot u_2}} \leq [\sigma_H]. \quad (21)$$

Інші параметри фрикційної передачі можна знайти, використовуючи відомі методики розрахунку фрикційних передач [6...9].

Запропонована методика розрахунку може бути використана при проектуванні двопоточних фрикційних передач з паралельними валами та двома конічними ведучими котками.

Використання запропонованої конструкції фрикційної передачі в приводі машини дозволяє:

- розширити асортимент фрикційних передач;
- підвищити довговічність роботи фрикційної передачі шляхом зниження контактних напружень в зоні взаємодії ведучих котків з веденим котком та усунення радіальних навантажень на ведений вал та його опори;
- підвищити продуктивність машини, в приводі якої використовується фрикційна передача, за рахунок скорочення простоїв, зумовлених необхідністю ремонту або заміни робочих тіл фрикційної передачі.

Література

1. Гарбарук В.Н. Проектирование трикотажных машин / Гарбарук В.Н. – Л. : Машиностроение, 1980. – 472 с.
2. Хомяк О.Н. Повышение эффективности работы вязальных машин / О.Н. Хомяк, Б.Ф. Пипа. – М. : Легпромбытиздат, 1990. – 208 с.
3. Пипа Б.Ф. Приводи круглов'язальных машин (нові розробки та елементи розрахунку) / Пипа Б.Ф., Хомяк О.М., Марченко А.І. – К. : КНУТД, 2007. – 400 с.
4. Пипа Б.Ф. Нові конструкції деталей, вузлів та механізмів машин / Пипа Б.Ф., Хомяк О.М., Марченко А.І. – К. : КНУТД, 2006. – 322 с.
5. Пат. України на корисну модель 40730, МПК⁷ : F16H 1/24. Фрикційна передача / Б.Ф. Пипа, О.М.

- Хомяк, А.І. Марченко. – № u200812855; заявл. 03.11.2008, Бюл. № 8, 2009. – 2 с.
 6. Детали машин / [Добровольский В.А. и др.]. – М. – К. : Машгиз, 1962. – 604 с.
 7. Райко М.В. Расчет деталей и узлов машин / Райко М.В. – К. : Техніка, 1966. – 500 с.
 8. Гузенков П.Г. Детали машин / Гузенков П.Г. – М. : Высшая школа, 1982. – 351 с.
 9. Хомяк О.М. Передачи / О.М. Хомяк, Б.Ф. Піпа. – К. : КНУТД, 2003. – 167 с.

Надійшла 28.1.2011 р.

УДК 685.34.07

Г.М. ДРАПАК, П.С. МАЙДАН
 Хмельницький національний університет

СКЛАДАННЯ ЗАГОТОВОК ВЕРХУ ВЗУТТЯ ПРИ БАЗУВАННІ ДЕТАЛЕЙ З СИСТЕМОЮ ВІДЛІКУ КООРДИНАТ З КУТА ДЕТАЛІ

В статті наводиться аналітичне дослідження точності процесу базування деталей при складанні заготовок верху взуття з розташуванням системи відліку координат в куті деталей. Проаналізовано фактори, які впливають на похибки розташування осей деталей. Запропоновано геометричні параметри за допомогою яких можливо характеризувати точність спряження деталей перед їх складанням у виріб

In this article is provided analytical research of accuracy of details basing process of assembling of shoe uppers with a system of reference coordinates of the detail corner. Factors which affecting on the error of location the details axis are analyzed. A geometrical parameters by which we can characterize the accuracy of conjugation the details before their assembling into a product

Ключові слова: Заготовки верху взуття, деталі верху взуття, базування, орієнтування, координування.

Як відомо [1], основним фактором, який суттєво впливає на якість складання деталей верху взуття у заготовку є відсутність їх зміщень і перекосів в отриманих комплектах. Тому першим кроком в процесі складання деталей в заготовку верху взуття (ЗВВ) є обов'язкове виконання операції їх попереднього базування.

Усі існуючі способи базування деталей ЗВВ можна поділити за місцем розташування осей координат, відносно яких відбувається процес [2, 3]:

- з розташуванням осей координат в умовних центрах деталей;
- з розташуванням осей координат в умовних кутах деталей.

Перший спосіб розташування осей координат був всебічно досліджений в роботах провідних вітчизняних науковців (школи професора Піскорського Г. А. та професора Тонковиди Л. А.). Увага дослідників до цього методу виявилась через легкість його застосування в автоматизованих складальних лініях. Проте сьогодні, в складній економічній ситуації малі підприємства, на яких базується вітчизняна взуттєва промисловість, не можуть собі дозволити використовувати автоматизовані системи при складанні взуття. Користування цим способом при застосуванні на виробництві пристосувань для попередньої фіксації об'єктів, наприклад палет [4], призводить до зниження якості процесу через високу складність точного встановлення оператором деталей і базуючих елементів [5].

Другий спосіб базування з розташуванням осей координат в куті деталей перед їх скріпленням в ЗВВ не знайшов широкого застосування у взуттєвій галузі при масовому виробництві. Однак, як загалом відомо, використання засобів малої механізації суттєво покращує якість продукції, продуктивність праці та позитивно впливає на зниження собівартості продукції, що дуже важливо для малих підприємств. Тому створення умов для застосування на малих підприємствах палет або їх більш досконалих аналогів, на наш погляд, є надзвичайно актуальним. Адже саме цей спосіб, на наш погляд, дозволить суттєво покращити точність процесу і якість виробів при ручному режимі комплектування ЗВВ. Втім наукових досліджень присвячених вивченню цього способу базування деталей перед їх скріпленням в ЗВВ нам не відомо.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

В даній роботі розглядається аналітична модель забезпечення якісного процесу базування елементів плоских багат шарових виробів. Зокрема досліджується точність процесу базування деталей при їх складанні у ЗВВ за умови розташування осей координат в протилежних кутах деталей, які складаються.

Виклад основного матеріалу досліджень

На нашу думку, при дотримуванні міжцентрової віддалі A (рис. 1, 2) спосіб складання ЗВВ, яка комплектується, наприклад з трьох деталей за умови розташування початку відліку системи координат з їх кута можна реалізувати двома методами:

- перший (рис. 1), встановлення деталі 3 з початком відліку з правого кута деталі;
- другий метод (рис. 2), встановлення деталі 3 з початком відліку її з лівого кута.

Точність складання для даних методів буде характеризуватись точністю відстані між краями деталей, що накладаються, $C \pm \Delta C$ та величиною накладання деталей на базову $D \pm \Delta D$, а також орієнтування деталей 2 та 3 щодо базової деталі, яке можна виразити через приріст похибки ΔD на ширині деталей 2 та 3 (S_2 та S_3).

Сумарна похибка спряження $\Delta\Sigma_1$ деталей для базування з кута деталі при відліку координат з правого кута третьої деталі:

$$\Delta\Sigma_1 = \sqrt{\Delta S_1 + \cos \varphi_2 \times \Delta S_2 + \cos \varphi_3 \times \Delta S_3 + \cos\left(\frac{\pi}{2} + \varphi_1\right) \times \Delta L_1} \cdot \quad (10)$$

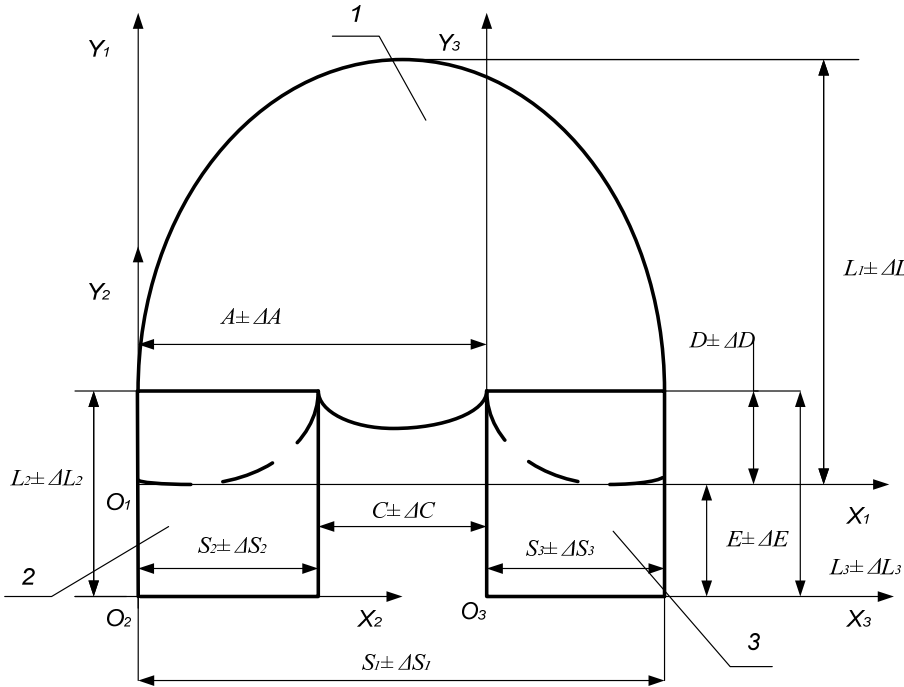


Рис. 2. Базування деталей вершу взуття із системою відліку з кута деталі, відлік координат з лівого кута деталі: 1 – базова деталь; 2 – друга деталь; 3 – третя деталь.

Сумарна похибка $\Delta\Sigma_2$ при відліку координат з лівого кута третьої деталі:

$$\Delta\Sigma_2 = \sqrt{\cos \varphi_2 \times \Delta S_2 + \cos\left(\frac{\pi}{2} + \varphi_1\right) \times \Delta L_1} \cdot \quad (11)$$

Аналіз залежностей (10) та (11) дозволяє зробити висновок, що сумарна похибка спряження деталей комплексу в процесі їх базування буде залежати від похибок координування та орієнтування деталей, що накладаються. Для першого методу базування похибка координування буде дорівнювати сумі похибок міжцентрової відстані по осі X та похибок виготовлення деталей ΔS_i , що накладаються. В той же час похибка координування другого - дорівнює похибці виготовлення лише однієї деталі ΔS_2 . Виходячи з цього можна стверджувати, що сумарна похибка спряження для другого методу буде меншою за сумарну похибку спряження для першого.

Висновки

1. Сумарна похибка спряження $\Delta\Sigma_1$ для першого методу базування деталей перевищує похибку $\Delta\Sigma_2$ при використанні другого.
2. При обох методах базування точність процесу залежить від точності:
 - виготовлення кожної деталі;
 - їх взаємного розташування;
 - орієнтації деталей відносно обраних осей.
3. Однак переналаштування пристосування при використанні другого методу суттєво спрощується за рахунок сталості положення основних базових поверхонь і відповідного зменшення кількості змін положень базуючих елементів, що у свою чергу не вносить додаткових погрешностей при складанні ЗВВ.
4. Проведення досліджень точності процесу базування деталей при їх складанні у ЗВВ є важливим етапом створення умов для можливості застосування пристроїв малої механізації в умовах малих підприємств.

Література

1. Тонковид Л. А. Автоматизация сборочных процессов в обувном производстве / Тонковид Л. А. – К. : Техніка, 1984. – 248 с.
2. Майдан П.С. Класифікація способів та методів попередньої фіксації плоских деталей вершу взуття перед їх з'єднанням у заготовку / П.С. Майдан, Г.М. Драпак // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 3. – С. 90–95.

3. Майдан П.С. Вибір системи відліку координат деталей при складанні плоских виробів виготовлених з матеріалів, що легко деформуються : Праці Міжнар. конф [“Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины”], (Херсон, 27–28 жовтня 2009 р.) / П.С. Майдан, Г.М. Драпак // М-во освіти і науки України, Херсон. націон. техн. ун-т. – Херсон : ХНТУ АН України, – 2009. – С. 51–52.

4. Пат. 44619 України, МКВ⁷ А 43 D 111/00. Палета для складання багатошарових плоских виробів / Майдан П. С.; Драпак Г. М.; Горященко С. Л.; заявник та власник Хмельницький нац. ун-т. – № 200904066 ; заявл. 27.04.2009 ; опубл. 12.10.2009, бюл. № 19.

5. Майдан П.С. Аналіз точності процесу базування деталей при складанні заготовок верху взуття / П.С. Майдан, Г.М. Драпак // Вісник КНУТД. – 2010. – № 5, том 1. – С. 84–89

6. Майдан П.С. Проектирование и разработка приспособления для автоматизированнии процесса сборки деталей верха обуви : Труды Междунар. конф [“Новое в технике и технологии текстильной и легкой промышленности”], (Витебск, 18 ноября 2009 р.) / П.С. Майдан, Г.М. Драпак // М-во образования и науки Беларуси, Витебский гос. техн. ун-т – Часть 2 – Витебск : ВГТУ АН Беларуси, – 2009. – С. 110–113.

Надійшла 9.1.2011 р.

УДК 685.31.02

Т.П. РОМАНЕЦЬ

Хмельницький національний університет

МЕТОДИКА ПРОЕКТУВАННЯ ВАКУУМНИХ ЗАХВАТНИХ ПРИСТРОЇВ

В статті розглянуто найбільш важливі експлуатаційні показники вакуумних захватних пристроїв. Запропоновано методику розрахунку технологічних та геометричних параметрів пристроїв. Розроблено алгоритм прийняття рішень й проведення розрахунків.

The most important operating indexes of vacuum gripping devices are considered in the article. The methods of calculation of technological and geometrical parameters of devices are offered. There have been elaborated the algorithm of making decision and realization of calculations.

Ключові слова: маніпулятор, захватний пристрій, вакуумний присос, методика проектування.

Переважає більшість операцій обробки та складання у взуттєвому виробництві є монотонними і протікають у шкідливому середовищі. Кількість типових допоміжних прийомів в одному технологічному процесі може досягати кількох десятків [1], що викликає потребу в їх автоматизації.

На відміну від захватних пристроїв, призначених для роботи з деталями одного-двох найменувань, до складальних схватів пред'являються вимоги високої універсальності, оскільки в цьому випадку необхідно маніпулювати усіма деталями складання, як базовими, так і кріпильними. Для складання вузлів, що мають п'ять-шість деталей, можливе використання одного універсального схвата. У випадку більшого числа типорозмірів деталей і комплектуючих частин, що входять у вузол, доцільно передбачити змінні схвати [2].

Одна з важливих особливостей взаємодії схвата, деталі й оснащення – необхідність компенсації неточностей їхнього взаємного розташування. У випадку наявності похибок взаємного розташування деталей, що з'єднуються, виникають небажані, а іноді й небезпечні навантаження, які сприймаються елементами маніпулятора деталлю й оснащенням. Зменшити ці навантаження й компенсувати похибку положення руки маніпулятора найбільш просто введенням у конструкцію пружних елементів. Їх можна встановити у місці кріплення схвата до руки маніпулятора, у механізмі приводу робочих органів та в робочих органах. В останньому випадку забезпечуються необхідна піддатливість і пристосовуваність до похибок форми деталі, тобто досягається рівномірний розподіл зусилля взаємодії по поверхні деталі.

Різноманітність принципів дії й велика кількість конструктивно-технологічних особливостей утрудняють чітку класифікацію захватних пристроїв за окремими ознаками в ієрархічній послідовності.

Для захватних пристроїв, як і для будь-яких інших, найбільш важливими є їх вихідні параметри (експлуатаційні показники). До них можна віднести наступні:

- номінальна сила захоплення – визначається як сила, з якою робочі органи взаємодіють з поверхнею об'єкта маніпулювання. Визначається, як правило, розрахунковим шляхом з урахуванням маси, прискорення, характеру взаємодії контактних поверхонь робочих органів з об'єктом маніпулювання;
- маса захватного пристрою, визначає інерційні сили, що діють на механізми маніпулятора, а також максимальну корисну масу об'єкта маніпулювання;
- час захоплення – час від подачі сигналу пристроєм керування на захоплення до моменту завершення процесу, тобто коли зусилля захоплення досягає сталого значення;
- час відпускання – час від подачі команди пристроєм керування на відпускання до моменту завершення процесу, тобто звільнення об'єкта від дії схвата. Час захоплення й час відпускання звичайно визначаються експериментально, їхній розрахунок дає, як правило, недостовірні результати, але ці показники важливі для побудови циклограми й визначення продуктивності робототехнологічного комплексу;
- середнє напруження на відмову й середній час відновлення після відмови, що характеризують надійність роботи захватного пристрою. Середнє напруження на відмову при нормальних експлуатаційних умовах має бути не меншим 2000 годин;

- габаритні розміри захватного пристрою;
- кількість використовуваних робочих органів;
- діапазон зміни характерних розмірів об'єктів маніпулювання, на які розрахований схват;
- умови експлуатації – температура, стан навколишнього середовища;
- вид привода;
- енергетичні показники – напруга, сила струму, тиск робочого тіла;
- максимальна маса об'єкта маніпулювання.

До захватних пристроїв пред'являються вимоги загального характеру й спеціальні, пов'язані з конкретними умовами. До обов'язкових вимог відносяться наступні: надійність захоплення й утримання об'єкта маніпулювання за умови дотримання необхідних швидкісних характеристик маніпулятора; стабільність базування виробу в схваті; міцність захватного пристрою при малих габаритах і масі; необхідна відповідність із технологічним устаткуванням по точності позиціонування; простота керування й малий час спрацювання; висока надійність в експлуатації, простота конструкції.

До спеціальних вимог відносяться: широкодіапазонність, тобто можливість захоплення й базування деталей у широкому діапазоні маси, форми й розмірів; легкість і швидкість зміни захватного пристрою; можливість зміни зусилля утримання об'єкта маніпулювання. Крім того, при проектуванні захватних пристроїв необхідно враховувати загальні вимоги безпеки, що ставляться до маніпуляторів, робототехнологічних комплексів і дільниць. У кожному конкретному випадку вибір конструкції захватного пристрою залежить від цілого ряду факторів, основними з яких є наступні:

- Форма, характеристики й взаємне положення поверхонь об'єкта маніпулювання. Для захвату не можуть бути використані ділянки поверхонь, по яких здійснюється фіксація об'єкта в технологічному устаткуванні й на які він встановлюється перед захопленням. Доцільно здійснювати захват об'єкта маніпулювання за попередньо оброблені поверхні, що зменшує похибки його фіксування в схваті. З метою забезпечення необхідного запасу надійності утримання об'єкта доцільно здійснювати захват таким чином, щоб зменшити сили інерції при маніпулюванні;

- Технічні характеристики основного й допоміжного технологічного устаткування, які визначають вимоги до напрямку руху схвата при захопленні й відпусканні об'єкта маніпулювання, напрямку введення об'єкта на позицію складання, до забезпечення вільного переміщення об'єкта по окремих координатах у захватному пристрої, реалізації пошукових рухів;

- Умови збереженості об'єкта маніпулювання, до яких відносяться умови неущодження поверхонь захвата, міцності, збереження форми;

- Положення й рух об'єкта маніпулювання в момент захоплення визначають вимоги до точності позиціонування й орієнтування об'єкта перед захопленням, а також до способу подачі об'єкта перед захватом;

- Необхідність інформаційного забезпечення процесів захоплення й відпускання. Крім того, окремим завданням є проблема уніфікації схватів та їхніх елементів.

В загальному випадку проектування захватного пристрою включає два основних етапи: перший – вибір типу, компонування й структурної схеми схвата, його якісних показників; другий – розрахунок основних параметрів обраної системи.

Розрахунок основних параметрів обраної схеми схвата включає:

- геометричний синтез – вибір типу й довжин ланок механізму, геометричних параметрів робочих органів, визначення діапазону переміщення робочих органів в схваті, його компоновочних розмірів, проведення розрахунків на точність;

- статичний силовий аналіз – розрахунок зусилля, що розвивається приводом, зусилля захоплення, сил і моментів, що діють у шарнірах, визначення умов жорсткого фіксування об'єктів у схваті;

- динамічний силовий аналіз – визначення сил і моментів, що діють на об'єкт маніпулювання у динамічних режимах, рішення задач динаміки схват – об'єкт;

- перевірочні розрахунки на міцність і жорсткість – вибір перерізів ланок, розв'язання контактних задач, розрахунок пружних елементів та інші розрахунки.

Укрупнений алгоритм проектування захватного пристрою показаний на рис. 1.

Цьому алгоритму відповідає наступна послідовність прийняття рішень і проведення розрахунків:

1. Визначають можливі напрямки підведення схвата до деталі (або заготовки) з урахуванням взаємного розташування маніпулятора й допоміжного технологічного устаткування.

2. Визначають конфігурацію, положення й розміри поверхонь деталі, по яких відбувається її захоплення з урахуванням геометричних обмежень, що накладаються контактними поверхнями допоміжного та технологічного устаткування, а також властивості поверхонь деталі.

3. Вибирають число, форму, діапазон та кінематику переміщень робочих органів схвата.

4. Визначають положення деталі в схваті, з огляду на зміщення центра маси деталі відносно геометричного центра схвата.

5. Розраховують сили й моменти, що діють на деталь на всіх етапах маніпулювання відповідно до програми роботи маніпулятора.

6. Розраховують необхідне зусилля захоплення. Визначають граничні значення складових сил і моментів по осях системи координат схвата. Визначають вісь найменшого запасу несучої здатності схвата. За коефіцієнтом несучої здатності визначають зусилля захвата, що забезпечує жорстке фіксування деталі

при діючих динамічних навантаженнях.

7. Вибирають тип приводу й параметри двигуна. Параметри приводу вибирають із урахуванням необхідної швидкодії та силових характеристик. У випадку фіксування деталі в схваті лише за рахунок сили тертя основною умовою є забезпечення заданого зусилля захоплення, що гарантує необхідні сили тертя.

8. Визначають вид і параметри передаточного механізму, що реалізує необхідне передаточне число, можливий вид залежності зусилля захоплення від величини переміщення робочих органів схвата, необхідну кінематику переміщення робочих органів.

9. Проводиться серія перевірочних розрахунків і при потребі – коректування параметрів схвата.

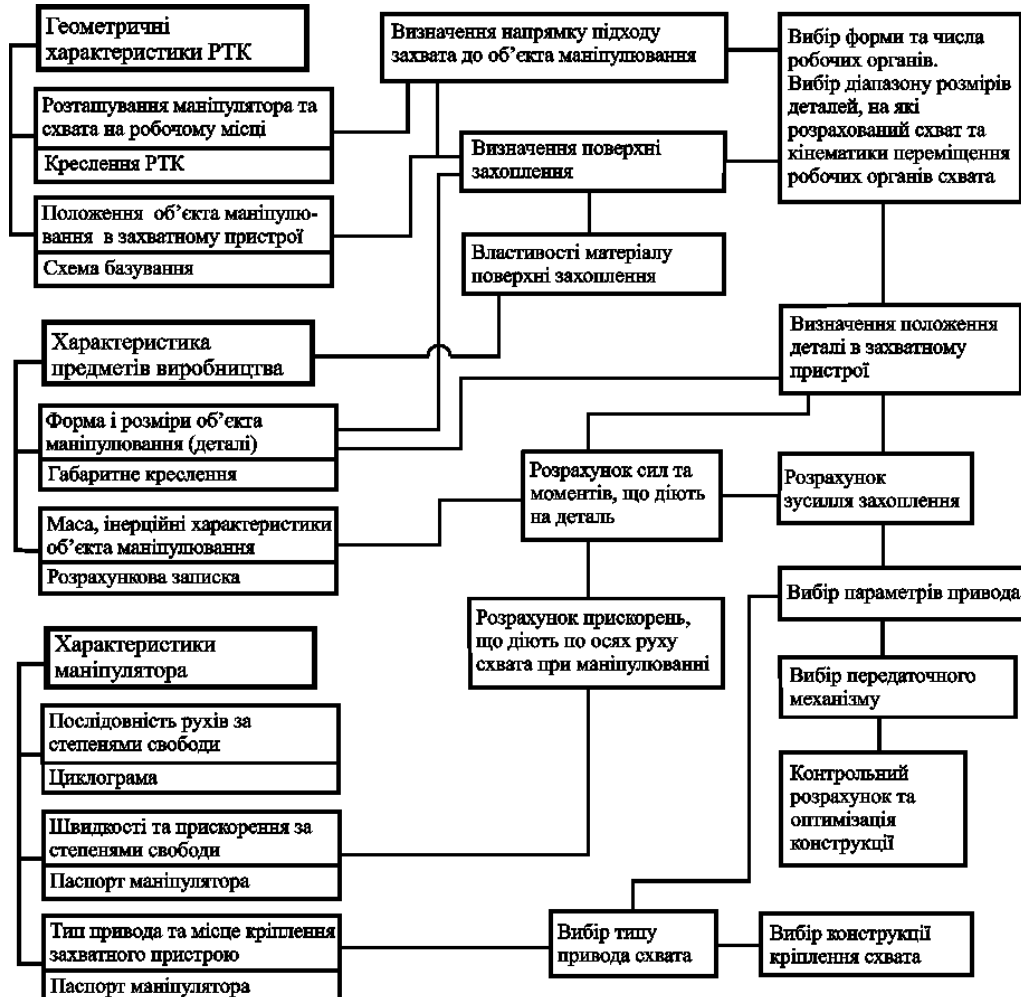


Рис. 1. Алгоритм прийняття рішень і проведення розрахунків

Пневматичні захватні пристрої мають особливі переваги, які полягають в тому, що сила захоплення й утримання розподіляється на значну поверхню, завдяки чому з їхньою допомогою можна захоплювати й переміщати деталі малої жорсткості та міцності. За допомогою вакуумних захватних пристроїв можна захоплювати й утримувати вироби значної ваги з досить складною поверхнею незалежно від матеріалу, з якого вони виготовлені. Недоліком є необхідність вживання спеціальних заходів для забезпечення надійної підтримки сталого вакууму.

Основою роботи вакуумних захватних пристроїв служить явище вакуумного ефекту, суть якого полягає у створенні зниженого тиску на певній ділянці виробу. Головна деталь – вакуумна порожнина або присос, що при накладенні на виріб утворює між його поверхнею й своїми стінками замкнутий простір – камеру. При створенні розрідження в цій камері на площі, обмеженій стінками присоса, можна одержати позитивну різницю тисків, добуток якої на площу дії дає силу, здатну утримати виріб на захваті.

Утримуюче зусилля, що розвивається вакуумним захватом, розраховується за формулою:

$$F_{\text{упр}} = SK_{\text{зм}}(p_a K_a - p_b), \quad (1)$$

де S – геометрична площа проекції присоса, обмежена внутрішнім контуром, м²;

$K_{\text{зм}}$ – коефіцієнт зменшення площі присоски внаслідок її деформації.

На практиці для присосів з пористих (губчатих) гум можна прийняти $K_{\text{зм}} = 0,95 \dots 1,0$; p_a й p_b – відповідно атмосферний і залишковий тиск всередині камери, Па; K_a – коефіцієнт, що враховує зміну атмосферного тиску в порівнянні з нормальним $p_a \approx 100$ кПа.

Для практичних розрахунків досить враховувати мінімальний атмосферний тиск. Для України його приймають рівним 93 кПа (700 мм рт. ст.). У цьому випадку можна приймати $K_a \approx 0,9$; $K_{зб}$ – коефіцієнт збільшення сили вакуумного притягання в результаті плинну повітря, що просочується в зазор між контактною поверхнею присоса та поверхнею деталі (приймають рівним 1,1 – 1,05). При цьому більші значення беруть для присосів з меншою робочою площею, а менші – для присосів з більшою робочою площею.

Якщо вакуумний захватний пристрій розраховується не для захоплення й переносу конкретних деталей у конкретних умовах, то значення перерахованих вище коефіцієнтів приймають для найгірших умов роботи, і їх можна замінити загальним коефіцієнтом фактичної сили вакуумного присмокування $K_p = 0,8 \dots 0,85$. У цьому випадку для попередніх розрахунків можна приймати $(p_a - p_e) = 0,030 \dots 0,035$ МПа.

В процесі захвату, підйому й переміщення деталі вантажопідйомність вакуумного схвата не постійна й залежить від співвідношення сил, що утримують деталь, та тих, які намагаються відірвати й зрушити її. Максимальне значення результуючих зовнішніх навантажень є одним з вихідних даних для визначення умов рівноваги деталі в захваті. Рівнодіючу від зовнішніх навантажень F можна розкласти на дотичну T та нормальну N складові:

$$T = G_x + Fi_x + Fo_x, \tag{2}$$

$$N = G_y + Fi_y + Fo_y. \tag{3}$$

Тут G , Fi , Fo – проекції, відповідно сил ваги деталі, інерції й опору зовнішнього середовища на осі координат X і Y .

Є два найбільш типові випадки транспортування деталей, коли напрямки сил ваги, інерції й опору зовнішнього середовища збігаються з осями координат (рис. 2, а, б):

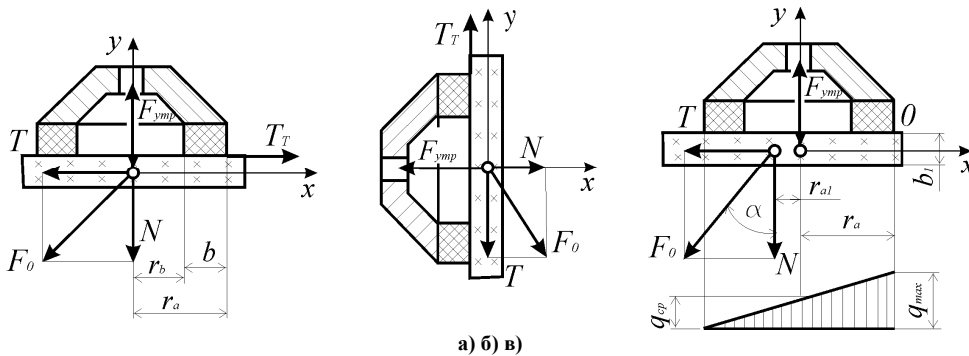


Рис. 2. Сили, що діють на деталь при її транспортуванні

1. Захват деталі "зверху" (рис. 2, а):

а) переміщення у вертикальному напрямку:

$$T = 0, \quad T = G + Fi + Fo; \tag{4}$$

б) переміщення в горизонтальному напрямку:

$$T = Fi + Fo, \quad N = G; \tag{5}$$

2. Захват деталі "збоку" (рис. 2, б):

а) переміщення у вертикальному напрямку:

$$T = G_x + Fi_x + Fo_x, \quad N = 0. \tag{6}$$

У ряді випадків, наприклад при транспортуванні деталей несиметричної форми, вісь симетрії захватного пристрою може не проходити через центр ваги деталі (див. рис. 2, в).

Збільшення результуючих зовнішніх навантажень Fo при нецентровому захваті деталі може бути визначене за формулою:

$$\varepsilon = 1 + 2(N r_{a_1} / r_a + T b_1 / r_a) / (N + T / f), \tag{7}$$

де ε – коефіцієнт збільшення зовнішніх навантажень Fo ;

r_{a_1} , r_a , b_1 – геометричні розміри (див. рис. 2, в);

f – коефіцієнт тертя.

Часто необхідно розрахувати граничне значення сили N відриву об'єкта маніпулювання від захватного пристрою. Ця сила залежить не тільки від активної площі присоса й розрідження повітря в ньому, але й від питомого тиску присоса, що забезпечує необхідну герметичність стику деталі з захватним пристроєм. Між цими параметрами існує залежність

$$N / F_{ymp} = (F_{ymp} - S_k q) / (S p_0) = \xi, \tag{8}$$

де F_{ymp} – сила утримання деталі, створювана схватом;
 q – мінімально необхідний питомий тиск на площі S_k контакту присоса з деталлю;
 S – площа присоса;
 p_0 – розрідження повітря в схваті;
 ξ – коефіцієнт зниження вантажопідйомності схвата.
 Для круглих камер

$$\xi = 1 - 4 \left(\frac{B}{D} - \frac{B^2}{D^2} \right) \frac{q}{p_0}, \quad (9)$$

де B – ширина ущільнювальної юбки присоса;
 D – діаметр присоса.

При невеликій активній площі присоса та грубій поверхні деталі коефіцієнт (може наблизитися до нуля, і захват стає непрацездатним. Залежність q і ξ від діаметра присосів показує переваги тих, що мають більшу площу. Значення питомих тисків q залежать від якості поверхні деталі, розмірів і матеріалу контактної поверхні присоса і можуть бути встановлені експериментально. Наприклад, для виробів із гладкою поверхнею (скло, пластик) $q = 30 \dots 90$ кПа, а із грубою поверхнею $q = 300$ кПа та більше. При роботі вакуумних захватних пристроїв у типових умовах $\xi = 0,6 \dots 0,9$.

Для надійної роботи вакуумного захвата необхідні наступні умови:

$$F_{ymp} = NK_N / \xi, \text{ або } F_{ymp} = N + K_T / f, \quad (10)$$

де K_N і K_T – відповідно коефіцієнти запасу під силу відриву та зсуву деталі.

Для вакуумного схвата, не призначеного для особливих умов роботи, з деяким припущенням у бік збільшення сили можна прийняти

$$F_{ymp} = (N/\xi + T/f)K, \quad (11)$$

де $K = K_T = K_N = 2$.

При сполученні трьох рухів (підйому руки маніпулятора, повороту руки в горизонтальній площині й висуванні руки) для розрахунку допустимої маси переміщуваного об'єкта можна скористатися залежністю:

$$m \leq \frac{n\pi d^2(p_a - p_b)}{4K \left[1 + \frac{a_n}{g} + \frac{1}{\mu g} \sqrt{(\varepsilon r^2) + (a_{вис} + r\omega^2)^2} \right]}, \quad (12)$$

де d – діаметр вхідного отвору присоса;
 K – коефіцієнт надійності утримання ($K = 1,5 \dots 2,0$);
 a_n – прискорення підйому деталі;
 g – прискорення вільного падіння;
 r – відстань від осі обертання руки до центра ваги деталі;
 ε – кутове прискорення руки маніпулятора;
 ω – кутова швидкість руки;
 $a_{вис}$ – прискорення висування руки;
 μ – коефіцієнт тертя.

Площу присосів визначають з рівняння:

$$S = \frac{(N/\varepsilon + T/f) K}{(p_a - p_b)n K_p}, \quad (13)$$

де p_a – атмосферний тиск;
 p_b – тиск розрідження;
 n – число присосів у захватному пристрої.
 Час спрацьовування вакуумного захвата визначається залежністю:

$$t \approx 2,3(V_0/S_0) \lg \frac{p_a}{p_b}, \quad (14)$$

де V_0 – сумарний об'єм вакуумної системи, м³;
 S_0 – швидкість відкачки повітря з камери.

При з'єднанні вакуумного захвата з вакуумним ресивером за допомогою клапана

$V_0 = V_m + V_k + V_n$, де V_m – об'єм трубопроводу між захватом і ресивером; V_k – об'єм захвата з урахуванням деформації ущільнення, V_n – об'єм присосів.

На основі приведеної методики та результатів досліджень автора викладених в роботі [3] розроблено комп'ютерну програму для автоматизованого проектування вакуумних захватних пристроїв.

Література

1. Тонковид Л.А. Автоматические манипуляторы в обувном производстве / Тонковид Л.А. – М.: Легпромбытиздат, 1987, – 176 с.
2. Андреев А.Ф. Грузозахватные устройства с автоматическим и дистанционным управлением / Андреев А.Ф. – М.: Стройиздат, 1979. – 173 с.
3. Романець Т.П. Розрахунок параметрів робочих органів пасивного вакуумного захвата / Романець Т.П. // Вісник ХНУ. 2008. – № 1. – С. 28-31.

Надійшла 15.1.2011 р.

УДК 685.34.054

Д.М. ЯКИМЧУК

Хмельницький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ВИРУБУВАЛЬНИХ ПРЕСІВ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

В статті запропоновано спосіб підвищення ефективності роботи вирубувальних пресів легкої промисловості. Проаналізовано основні конструктивні особливості маховиків і їх вплив на динаміку роботи пресового обладнання. На основі експериментальних досліджень встановлено оптимальні параметри пари електродвигун-маховик, що дозволило підвищити надійність роботи електродвигуна і преса в цілому.

The method of increase of efficiency work of cutting presses of light industry is offered in the article. The basic structural features of fly-wheels and their influence on the dynamics of work of press equipment are analysed. On the basis of experimental researches the optimal parameters of pair motor-fly-wheel are set, which allowed promoting reliability of work of electric motor and press on the whole.

Ключові слова: електрогідравлічне пресове обладнання, вирубувальний прес, маховик, електродвигун.

Постановка проблеми

На сьогодні актуальним постає завдання підвищення ефективності роботи вже існуючого обладнання. Електрогідравлічні вирубувальні преси консольного типу поширені на підприємствах легкої промисловості, однак їхні конструкції не відповідають сучасним вимогам по енергоефективності і надійності роботи. Тому вдосконалення вказаного обладнання з цієї точки зору є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

В попередніх дослідженнях [1, 2] розглянуто можливі шляхи вдосконалення електрогідравлічного пресового обладнання легкої промисловості. Однак не враховано можливість підвищення ефективності вирубувальних пресів за рахунок встановлення оптимальних співвідношень пари електродвигун-маховик.

Сучасні методи вимірювання, а також існуюче обладнання [2] дозволяють з високою точністю отримувати відповідні вимірювальні характеристики, які дають змогу судити про динаміку роботи вирубувальних пресів.

Формулювання мети

Метою роботи є підвищення ефективності роботи електрогідравлічного пресового обладнання легкої промисловості за рахунок оптимізації пари електродвигун-маховик.

Виклад основного матеріалу

Невід'ємною складовою ефективності роботи вирубувальних пресів легкої промисловості є узгодження роботи системи електродвигун-маховик. Як відомо [3-5], маховик використовується для згладження пікових навантажень під час виконання операції вирубування. Існують різні конструкції маховиків. Енергія, яку запасє і віддає маховик залежить від його форми, матеріалу, міцності.

Найпростіша конструкція маховика – диск з отвором в середині (рис. 1, а). Як правило такі маховики виготовляють з сталених поковок чи відливок, міцність матеріалу яких не досить висока. Великі відливки навіть з найкращих сталей не відповідають умовам міцності на розрив. Специфіка виготовлення вказаних маховиків не забезпечує усунення дефектів, що значно зменшують міцність маховика в цілому. Чим більш міцніший литий чи кований маховик, тим небезпечніший його розрив і виникає більша необхідність для забезпечення відповідної міцності маховика.

Маховик в формі обода зі спицями (рис. 1, б) ефективніший за описаний вище в 1,5 рази. Як показали розрахунки [6-7], за рахунок збільшення діаметра і відцентрових сил вдається покращити використання маховика за енергією. Подальші дослідження показали, що ефективніше таке конструктивне виконання маховика, при якому його маса розташовується як найближче до центра обертання (рис. 1, в).

Такі маховики накопичують в два рази більше енергії ніж обід зі спицями і в три рази більше ніж диск з отвором при однаковій масі маховиків.

В якості матеріалу в маховиках може також використовуватись сталений дрiт. Під час обертання вала з оправою і дротом в ній останній буде як звичайний маховик накопичувати кінетичну енергію [6]. При цьому частинки дроту, рухаючись за інерцією, намагатимуться все сильніше розтягувати маховик до повного розриву. Найбільше навантаження в такому випадку приходиться на середину дроту. При збільшенні швидкості обертання дрiт почне рватися, але рватись частинками, які не здатні пробити захисний кожух, тобто розрив маховика відбуватиметься безпечно.

Так як міцність дроту більша міцності монолітного куска металу в 3-5 разів, то маховик з дроту накопичить в стільки ж разів більше енергії, ніж звичайний дисковий маховик такої ж маси. Завдяки появі “надлишкового” запасу міцності виникає можливість його зменшення в 2 рази. Тому маховик з дроту накопичує в 10 разів більше кінетичної енергії в порівнянні із звичайним маховиком [7].

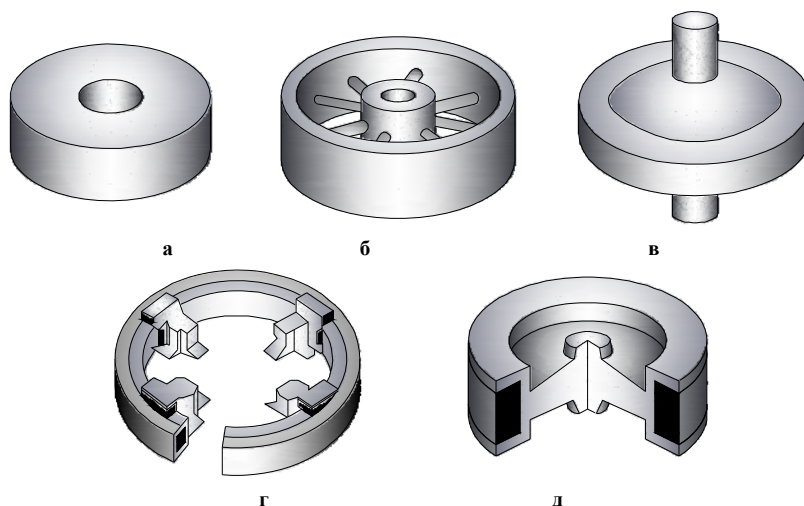


Рис. 1. Основні види конструктивного виконання маховиків: а – диск з отвором; б – обід зі спицями; в – диск рівної міцності; г – кільцевий маховик; д – супермаховик

Досить перспективні кільцеві маховики (рис. 1, г). Такий маховик являє собою кільце, навіте з високоміцного волокна і поміщене в вакуумну камеру в формі тора. Оскільки кільцевий маховик не має центра, то в ньому найбільш повно реалізуються властивості міцності волокон [7]. Кільцевий маховик утримується в камері в підвішеному стані за допомогою магнітних опор, які розташовані в декількох місцях по колу. Саме кільце служить ротором мотор-генератора, а ті місця, в яких стоять обмотки магнітів – статором. Це спрощує відбір енергії і зарядку маховика.

Кільцевий маховик за щільністю енергії в 2-3 рази ефективніший ніж звичайний дисковий сталений маховик і досягає 0,5 МДж на кілограм маси. Втрати на обертання в такого маховика в 50-100 разів менші ніж в дискового через відсутність втрат на тертя в підшипниках.

Однак такі маховики мають ряд недоліків: складність підвісної системи, складність налагодження енергопередачі, висока вартість виготовлення.

Існують маховики, корпус яких виконаний з надміцних сплавів з намотаним ободом з скловолокна, вугільних волокон, борних волокон та інших (рис. 1, д). Такі маховики в поєднанні з високою міцністю і розривною здатністю (границею міцності) володіють високою щільністю накопиченої енергії, що значно перевищує такі показники в звичайних маховиках. Одним з прикладів таких сучасних маховиків може бути система KERS (Kinetic Energy Recovery System), яка використовується в автомобільному спорті (Формула 1). Вона дозволяє за рахунок використання маховика під час кожного гальмування автомобіля накопичувати кінетичну енергію до 400 кДж і запасти її в акумулятори, при загальній потужності системи не більше 60 кВт. Ця система дозволяє отримати додатково 80 кінських сил протягом 6,7 секунд на кожному колі [8-9]. Однак через недоліки в роботі і високу вартість не отримала широкого розповсюдження в автоспорті.

Важливим фактором, який впливає на доцільність використання маховика в приводі є його маса. Чим менша маса маховика, тим він ефективніший і тим менше перевантаження сприймає електродвигун. Також, за рахунок зменшення перевантаження двигуна підвищується його надійність і довговічність роботи, через зменшення перегріву обмоток [4].

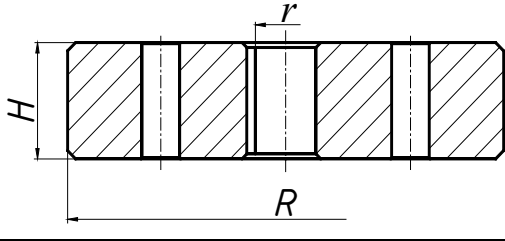
Враховуючи складність виготовлення більшості розглянутих маховиків для досліджень використано дископодібну конструкцію маховика з отвором. Хоч таке конструктивне виконання маховика найменш ефективне по кількості енергії, що запасується, однак воно найпростіше у виготовленні і має найменшу вартість.

Для проведення досліджень оптимізації пари електродвигун-маховик використано електрогідравлічний прес консольного типу ПВГ-8-2-0, який призначений для вирубання деталей взуття із штучних і натуральних матеріалів.

В основу експериментальних досліджень покладено завдання визначення впливу маховика на динаміку роботи електрогідравлічного пресового обладнання, а також на його енергоспоживання. Для цього проаналізовано можливість встановлення різнотипних маховиків в досліджуваному обладнанні і визначено їх конструктивні особливості.

На основі проведеного аналізу виготовлено 5 маховиків з різними конструктивними параметрами (табл. 1).

Таблиця 1

Конструктивні параметри маховиків			
			
№ маховика	R , м	r , м	H , м
Маховик № 1	0,14	0,025	0,04
Маховик № 2	0,14	0,025	0,06
Маховик № 3	0,14	0,025	0,08
Маховик № 4	0,15	0,025	0,08
Маховик № 5	0,16	0,025	0,08

За відомими залежностями [10-11] розраховано основні робочі характеристики маховиків:

- момент інерції маховика J :

$$J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (R^2 - r^2), \quad (1)$$

m – маса маховика;

R – зовнішній діаметр маховика;

r – внутрішній діаметр маховика;

- накопичена кінетична енергія маховика E_k :

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot J \cdot \left(\frac{\pi \cdot n}{30} \right)^2, \quad (2)$$

n – частота обертання вала електродвигуна.

- корисна кінетична енергія маховика $E_{кор}$ [12]:

$$E_{кор} = E_k \cdot 0,2. \quad (3)$$

Основні робочі характеристики виготовлених маховиків наведено в табл. 2.

Для проведення досліджень використано гострий різак середнього периметру $L=0,6$ м із двостороннім симетричним загостренням з кутом загострення, який становить $\alpha=25^\circ$, а також вирубувальну плиту з полівінілхлориду (ПВХ).

В якості матеріалу використано наступні види шкір: м'яка шкіра верху (натуральна) товщиною $\Delta=1$ мм; штучна шкіра верху товщиною $\Delta=1,2$ мм; картон взуттєвий товщиною $\Delta=1,5$ мм.

Таблиця 2

Основні робочі характеристики маховиків			
№ маховика	Момент інерції J , кг·м ²	Накопичена кінетична енергія E_k , кДж	Максимальна корисна енергія $E_{кор}$, кДж
1	0,180	3,68	0,74
2	0,260	5,44	1,1
3	0,351	7,18	1,44
4	0,446	9,65	1,93
5	0,621	12,55	2,51

Для гарантованого вирубання технологічний контакт налаштовувався на величину входження в вирубувальну плиту на величину 0,5 мм. Підключалось вимірювальне обладнання [2] і фіксувались дійсні значення досліджуваних величин. При цьому проводилась відеофіксація величини переміщення ударника.

Вимірювальне обладнання [2] працює за принципом аналогово-цифрового перетворення струмового сигналу в відповідні числові значення вимірювальних характеристик. При цьому шукані значення струму і

напруги, яку споживає пресове обладнання з мережі через вимірювальний блок, аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) і блок гальванічної розв'язки передавались на комп'ютер.

Експериментальні дослідження проводились за методиками, описаними в [2]. Отримані дані фіксувались на комп'ютері і далі опрацьовувались у відповідних програмних середовищах.

На основі проведених досліджень побудовано графічні залежності зміни потужності N , яку споживає електрогідравлічне пресове обладнання від моментів інерції маховиків J для різних матеріалів (рис. 2).

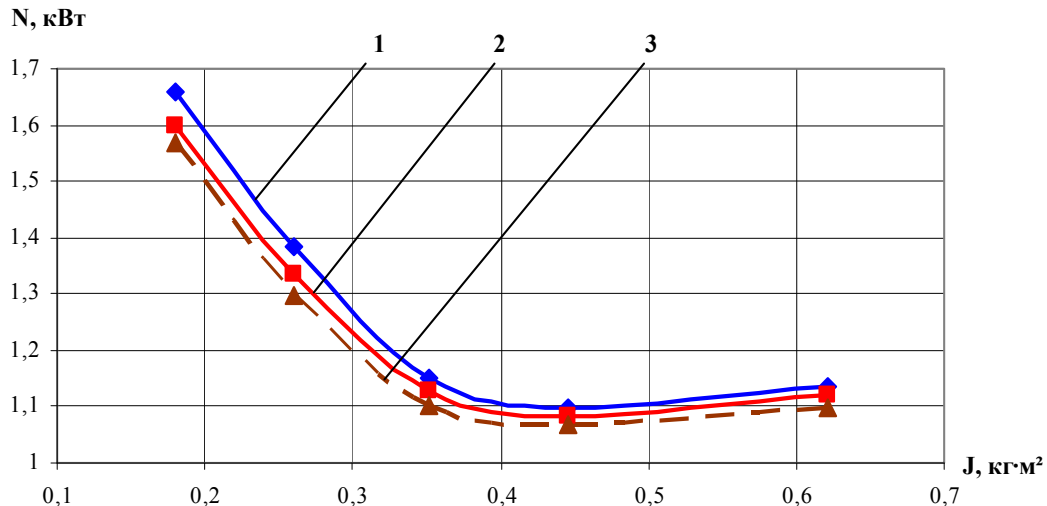


Рис. 2. Залежність спожитої потужності від моменту інерції маховика для різних матеріалів:
1 – натуральна шкіра верху; 2 – штучна шкіра верху; 3 – картон взуттєвий

Аналіз отриманих графічних залежностей показав, що для використання в пресовому обладнанні найбільш оптимальним є маховик № 4 з моментом інерції $J=0,446$ кг·м². За умови встановлення цього маховика спостерігається найменше споживання потужності, яка становить $N=1,05-1,1$ кВт. При цьому коливання тиску масла в системі знаходяться в межах допустимих норм. Маховик № 3, який встановлений на серійних пресах ПВГ-8-2-0 не відповідає умовам енергоефективності.

Найменш ефективними є маховики № 1 і № 2 з моментами інерції $J=0,180$ кг·м² і $J=0,260$ кг·м² відповідно. За умови їх використання потужність, яка споживається з мережі становить $N=1,56-1,67$ кВт і $N=1,03-1,4$ кВт відповідно. Це пояснюється тим, що коли ресурсу накопиченої енергії маховика недостатнього – відбувається значний стрибок по потужності в моменти найбільших динамічних етапів роботи преса. Це призводить до перевантаження пресового обладнання і погіршення якості виконання операції.

За результатами отриманих графічних залежностей встановлено, що існує можливість вдосконалення досліджуваного пресового обладнання без кардинальних змін в конструкції з точки зору підвищення енергоефективності і надійності роботи, а саме – за рахунок встановлення оптимальних співвідношень пари електродвигун-маховик з врахуванням перевантаження пресового обладнання по тиску та дотримання технології.

Цей комплекс заходів дозволив зменшити споживання енергії преса з мережі на 15 % порівняно з існуючими пресами ПВГ-8-2-0 без погіршення якості виконання операції вирубування з одночасним підвищенням надійності і довговічності роботи електродвигуна.

Висновки: на основі проведених теоретичних і аналітичних досліджень запропоновано спосіб підвищення ефективності роботи вирубувальних пресів легкої промисловості. Експериментальні дослідження дозволили визначити оптимальні параметри пари електродвигун– маховик і підвищити надійність роботи електродвигуна і преса в цілому.

Література

1. Якимчук Д.М. Перспективи вдосконалення електрогідравлічних пресів в легкій промисловості / Д.М. Якимчук, А.К. Кармаліта, Д.В. Прибега // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 2. – С. 105– 107.
2. Karmalita A.K. Investigation of energetic parameters of electro-hydraulic press equipment / A.K. Karmalita, D.M. Yakymchuk // Вісник Чернігівського Державного технологічного університету. – Чернігів : ЧДТУ, 2010. – № 42. – С. 265– 269.
3. Харизоменов И.В. Электрооборудование кузнечно-штамповочных машин : [учебник для вузов] / Харизоменов И.В. – М. : Высшая школа, 1970. – 185 с.
4. Живов Л.И. Кузнечно-штамповочное оборудование / Живов Л.И., Овчинников А.Г., Складчиков Е.Н. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 560 с.

5. Бочаров Ю.А. Кузнечно-штамповочное оборудование : [учебник для студ. высш. учеб. Заведений] / Бочаров Ю.А. – М. : Издательский центр “Академия”, 2008. – 480 с.
6. Гулиа Н. В. Маховичные двигатели. – М. : Машиностроение, 1976. – 276 с.
7. Гулиа Н.В. Накопители энергии. – М. : Наука, 1980. – 312 с.
8. <http://formula1ru.livejournal.com/937.html>
9. http://www.formula1.com/inside_f1/understanding_the_sport/8763.html
10. Справочник по физике / [под ред. Б.М. Яворского. и А.А. Детлафа]. – М. : Наука, 1964. – 847 с.
11. Павловський М.А. Теоретична механіка : [підручник] / Павловський М.А. – К. : Техніка, 2002. – 512 с.
12. Справочник по электрическим машинам : в 2 т. Т. 2 / [под общ. ред. Копылова И.П., Клокова Б.К.]. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 688 с.

Надійшла 9.1.2011 р.

УДК: 629.3.014

О.В. БОРОВИК, О.Ю. ПОДОЛЯН

Національна академія Державної прикордонної служби України, м. Хмельницький

МОДЕЛЬ ПАЛИВНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ ЗРАЗКІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ВІДДІЛІВ ПРИКОРДОННОЇ СЛУЖБИ ТА МОБІЛЬНИХ ПІДРОЗДІЛІВ ОРГАНІВ ОХОРОНИ ДЕРЖАВНОГО КОРДОНУ

У статті розглядається питання розробки моделі витрат палива транспортними засобами в умовах функціонування, які характерні для регіонів дислокації кожного з відділів Державної прикордонної служби України, та обґрунтування на її основі вимог до окремих параметрів конструкції транспортних засобів підрозділів охорони кордону.

The article deals with the problem of designing the model of fuel consumption by functioning vehicles which are typical for the regions of stationing of department of the State Border Guard Service of Ukraine. Besides the authors have substantiated the principal requirements to the model in accordance with certain construction parameters of vehicles of border units.

Ключові слова: умови функціонування, ефективність, паливна економічність, параметри конструкції транспортних засобів, цільова функція витрат коштів, укомплектування.

Вступ. Забезпечення ефективної реалізації сучасної моделі охорони кордону потребує інтенсивного використання транспортних засобів (ТрЗ) в оперативно-службовій діяльності (ОСД) відділів прикордонної служби (ВПС) та мобільних підрозділів (МобП) органів охорони державного кордону (ООДК), оскільки останнє дозволяє підвищити мобільність сил і засобів прикордонного підрозділу та оперативність маневру при змінах обстановки [1]. Якісні властивості транспортних засобів ВПС і МобП впливають на показники ефективності ОСД прикордонних підрозділів [2]. Отже, технічні вимоги до ТрЗ підрозділів охорони кордону (ПОК) мають визначитися специфікою їх функціонування в умовах виконання завдань, які покладено на ці підрозділи.

Вирішення завдання удосконалення автотехнічного забезпечення діяльності ПОК передбачає комплектування парків даних підрозділів ефективними зразками ТрЗ. Логічно, що для цього необхідно провести оцінку ефективності окремих зразків ТрЗ з множини представлених виробниками на сучасному ринку і вибрати доцільні варіанти. У роботі [3] було обґрунтовано, що одним з критеріїв ефективності ТрЗ ПОК є їх здатність виконати весь обсяг завдань, які пов'язані з забезпеченням ОСД, при мінімумі витрат коштів. При цьому в ролі показників ефективності ТрЗ можуть бути прийняті характеристики, які визначені методом експертних оцінок і наведені в роботі [4]. Детальному аналізу окремих з них (прохідності, швидкості руху, запасу ходу) присвячена робота [5].

Разом з тим, з урахуванням вказаного критерію ефективності ТрЗ окремої уваги потребує питання паливної економічності транспортних засобів ВПС і МобП. Останнє досліджувалось багатьма вченими. Зокрема, особливості функціонування ТрЗ в умовах діяльності прикордонних підрозділів описані в роботах [2, 6-7], загальні принципи розрахунку показників витрат пального автомобілем знайшли відображення в [8-11]. Однак характер впливу параметрів конструкції на паливну економічність ТрЗ з урахуванням специфічних умов їх функціонування в ПОК у вказаних працях залишився поза увагою дослідників.

Саме тому, завдання обґрунтування вимог до показників, які впливають на паливну економічність зазначених ТрЗ, є актуальним.

Мета статті. Проведений аналіз вказує на необхідність розробки моделі витрат пального транспортним засобом, який функціонує в умовах, характерних для ВПС та МобП.

Результати дослідження. Представимо процес функціонування ТрЗ у ПОК у вигляді схеми відображеної на рис. 1, в якій: блок «У» характеризує умови функціонування ТрЗ і відповідні вимоги (обмеження) до якостей ТрЗ, які ними накладаються; блок «В» – якісні властивості ТрЗ, що обумовлені його конструкцією; блок «С» – витрати коштів відомства на забезпечення виконання даним ТрЗ покладених на

нього завдань з заданим рівнем ймовірності.



Рис. 1 Схема функціонування транспортних засобів підрозділів охорони кордону

Для визначення підходу для досягнення мети дослідження проаналізуємо кожен з блоків.

До вимог блоку «У» необхідно віднести:

а) вимоги щодо транспортної потужності зразка, необхідної для подолання опору його руху в процесі виконання завдань;

б) вимоги щодо технічної готовності зразка, необхідної для забезпечення виконання завдань;

в) обмеження щодо обсягу пального, яке може бути виділене органами логістики для забезпечення виконання завдань.

Якісні властивості зразка ТрЗ впливають на його здатність виконати покладене на нього завдання щодо забезпечення ОСД підрозділу, а також на величину витрат коштів відомства на забезпечення функціонування даного зразка.

Зазначені витрати коштів пов'язані з необхідністю придбання ТрЗ, підтримання його технічної готовності, забезпечення зразка ТрЗ всіма необхідними витратними матеріалами, паливом в обсягах, достатніх для виконання покладених на нього завдань, та виведення зразка з експлуатації з подальшою утилізацією (або реалізацією у народне господарство).

Аналіз матеріалів [12-14] дозволяє зробити висновок, що очікувані витрати коштів органами логістики на забезпечення використання ТрЗ у процесі охорони кордону розподіляться наступним чином: на придбання ТрЗ – до 10 %; на проведення робіт з підтримання ТрЗ у нормативно визначеному стані готовності до використання за призначенням – до 30 %; на придбання запасних частин і витратних матеріалів – до 5 %; на забезпечення ТрЗ паливом для здійснення його транспортної роботи – до 50 %; на виведення ТрЗ з експлуатації і його утилізацію – близько 5 % від загальної суми витрат за його життєвий цикл. З цього випливає, що найбільш значущим частковим вартісним показником ефективності ТрЗ ПОК є показник витрат коштів на забезпечення ТрЗ паливом (при умові гарантованого виконання ТрЗ визначених йому обсягів транспортної роботи).

Таким чином, для попереднього вибору з множини усіх марок ТрЗ тих, які потребуватимуть мінімальних витрат на забезпечення їх паливом в процесі виконання транспортної роботи ПОК пропонується розв'язувати наступну оптимізаційну задачу:

$$\begin{aligned} C_{Pi} &\rightarrow \min, \\ \frac{N_i}{N_{Oi \max}} &\geq 1, \end{aligned} \quad (1)$$

де C_{Pi} – показник витрат на забезпечення i -го ТрЗ підрозділу паливом для здійснення транспортної роботи, грн/100 км; N_i – транспортна потужність окремого i -го зразка ТрЗ, кВт; $N_{Oi \max}$ – максимальна потужність опору руху i -го зразка ТрЗ, кВт.

Обсяг витрат коштів на забезпечення ТрЗ паливом відповідно до [8] можна представити у вигляді:

$$C_{Pi} = q_i \cdot \frac{N_{Oicер}}{v_i} \cdot c_{Pi}, \quad (2)$$

де q_i – питомі витрати пального i -м ТрЗ при виконанні одиниці транспортної роботи, л/кВт·год; $N_{Oicер}$ – середнє значення потужності опору руху i -го зразка ТрЗ при русі на маршрутах, які проходять по ділянці відповідальності підрозділу, кВт; v_i – швидкість руху, яка є доцільною для i -го ТрЗ, при русі по ділянці відповідальності в процесі ОСД підрозділу, км/год; c_{Pi} – ціна сорту пального, яким заправляють i -й ТрЗ, грн/л.

З урахуванням цього задача (1) набуває вигляду:

$$\begin{aligned} C_{Pi} = q_i \cdot \frac{N_{Oicер}}{v_i} \cdot c_{Pi} &\rightarrow \min, \\ \frac{N_i}{N_{Oi \max}} &\geq 1, \end{aligned} \quad (3)$$

Для розрахунку питомих витрат пального на виконання одиниці транспортної роботи ТрЗ з двигунами внутрішнього згорання (ДВЗ), як правило, застосовують формулу [9]:

$$q = q_N \cdot k_\omega \cdot k_u, \quad (4)$$

де q_N – питомі витрати пального двигуном при роботі у режимі зовнішньої швидкісної характеристики з кутовою швидкістю колінчастого валу, яка відповідає максимальній його потужності, г/кВт·год;

k_ω – коефіцієнт пристосованості за кутовою швидкістю колінчастого валу двигуна; k_u – коефіцієнт використання потужності двигуна.

Але цей вираз має загальний характер і не відображає особливостей функціонування ТрЗ в ПОК. Тому для визначення паливної економічності ТрЗ, які застосовуються в умовах ВПС та МобП, формула (4) потребує детальнішого аналізу та відображення в ній параметрів умов експлуатації і конструкції ТрЗ.

Фізична суть процесу використання пального для виконання транспортної роботи полягає у перетворенні ДВЗ хімічної енергії запасеної в пальному у механічну роботу з переміщення певного вантажу з заданою швидкістю на місцевості, яка чинить опір руху ТрЗ. Величина витрат пального прямопропорційна опору руху ТрЗ і обернено пропорційна коефіцієнту корисної дії ТрЗ.

У подальшому розглядатимемо лише ТрЗ з бензиновими та дизельними двигунами. Питомі витрати пального такими двигунами при роботі в режимі зовнішньої швидкісної характеристики і максимальній потужності можна оцінити з табл. 1.

Таблиця 1

Питомі витрати пального двигуном при роботі у режимі зовнішньої швидкісної характеристики і максимальній потужності

Тип двигуна	Значення показника питомих витрат пального q_N , г/кВт·год
Бензиновий двохтактний (мотоциклетний)	600
Бензиновий чотиритактний (автомобільний)	250
Дизельний чотиритактний (автомобільний)	210

Згідно [10] значення коефіцієнтів k_ω та k_u для усіх типів ДВЗ рекомендовано визначати за емпіричними формулами:

$$k_\omega = 1,26 - 0,85 \cdot \frac{\omega_e}{\omega_N} + 0,59 \cdot \left(\frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^2, \quad (5)$$

$$k_u = b_1 - b_2 \cdot U + b_3 \cdot U^2, \quad (6)$$

де ω_e – поточне значення кутової швидкості обертання колінчастого валу двигуна, с^{-1} ; ω_N – кутова швидкість обертання колінчастого валу двигуна при його роботі в режимі максимальної потужності, с^{-1} ; b_1, b_2, b_3 – емпіричні коефіцієнти (див. табл. 2); U – ступінь використання потужності двигуна.

Таблиця 2

Значення емпіричних коефіцієнтів

Тип двигуна транспортного засобу	Значення коефіцієнтів					
	b_1	b_2	b_3	f_1	f_2	f_3
Бензиновий	2,74	4,65	2,91	0,7	1,6	1,3
Дизельний	1,65	2,3	1,65	0,6	1,4	1

Виразимо величини ω_e , U через показники якісних властивостей ТрЗ, параметри їх конструкції та параметри умов функціонування ТрЗ (параметр опору руху ТрЗ на маршрутах в межах ділянки відповідальності підрозділу).

З урахуванням того, що швидкість руху ТрЗ залежить від кутової швидкості обертання колінчастого валу двигуна, радіусу коліс ТрЗ і передавального числа трансмісії [10], її можна представити так:

$$v = \frac{\omega_e \cdot r}{u}, \quad (7)$$

де r – динамічний радіус колеса (для практичних розрахунків допускається використовувати близьке до нього значення статичного радіусу колеса [9]), м; u – загальне передавальне число трансмісії.

Тоді співвідношення $\frac{\omega_e}{\omega_N}$ матиме вигляд:

$$\frac{\omega_e}{\omega_N} = \frac{v \cdot u}{r \cdot \omega_N}. \quad (8)$$

Ступінь використання потужності двигуна є співвідношенням потужності опору руху ТрЗ та потужності, яка підведена до ведучих коліс ТрЗ [11]. Зважаючи на те, що частина ефективної потужності двигуна втрачається в агрегатах трансмісії ТрЗ, а транспортні засоби ВПС та МобП можуть експлуатуватись

в умовах, які сприяють зниженню ефективної потужності ДВЗ, то величину U доцільно представити у вигляді:

$$U = \frac{N_{Oicер}}{N_{ei0} \cdot \eta_{mp} \cdot c}, \quad (9)$$

де N_{ei0} – ефективна потужність двигуна i -го зразка ТрЗ, який працює в «ідеальних» умовах (на нульовій висоті відносно рівня моря при температурі повітря 15°C , кВт; η_{mp} – коефіцієнт корисної дії трансмісії (для ТрЗ підвищеної прохідності $\eta_{mp} \in [0,8;0,9]$, для неповнопривідних ТрЗ $\eta_{mp} \in [0,85;0,95]$); c – коефіцієнт втрат потужності двигуна ТрЗ в несприятливих умовах.

Для розрахунку середніх і максимальних значень потужності опору руху ТрЗ пропонується використати залежність, отриману з диференціального рівняння руху ТрЗ [9]:

$$N_{Oicер} = \Psi_{сер} \cdot G_{II} \cdot v_{сер} + k_n \cdot k_{zn} \cdot H \cdot B \cdot v_{сер}^3 + a_{сер} \cdot \frac{G_{II}}{g} \cdot v_{сер}, \quad (10)$$

$$N_{Oimax} = \Psi_{max} \cdot G_{II} \cdot v_{max} + k_n \cdot k_{zn} \cdot H \cdot B \cdot v_{max}^3 + a_{max} \cdot \frac{G_{II}}{g} \cdot v_{max}, \quad (11)$$

де $\Psi_{сер}, \Psi_{max}$ – середнє та максимальне значення коефіцієнту опору дороги; G_{II} – повна вага ТрЗ, Н; $v_{сер}, v_{max}$ – значення середньої (доцільної) і максимальної (допустимої) швидкості руху ТрЗ, м/с; k_n – коефіцієнт аеродинамічного опору руху ТрЗ; k_{zn} – коефіцієнт заповнення площі; H – габаритна висота ТрЗ, м; B – габаритна ширина ТрЗ, м; $a_{сер}, a_{max}$ – середнє та максимальне (як правило на першій або другій передачі) значення прискорення розгону, яке здатний розвинути зразок ТрЗ, м/с²; g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

При цьому використати наступні допущення:

Середнє значення коефіцієнта опору дороги доцільно визначати так:

$$\Psi_{сер} = y_1 \cdot \Psi_{cn}, \quad (12)$$

де Ψ_{cn} – сподіване значення коефіцієнту опору дороги при русі ТрЗ на підйом в досліджуваному регіоні; y_1 – емпіричний коефіцієнт (для транспортних засобів з ДВЗ $y_1 \in [0,55;0,6]$, для ТрЗ з гібридними силовими установками, які здатні акумулювати енергію гальмування $y_1 \approx 0,5$).

Середнє прискорення розгону для ТрЗ з усіма типами силових установок рівне:

$$a_{сер} = y_2 \cdot \delta_{cn} \cdot (y_3 \cdot a_{max}), \quad (13)$$

де δ_{cn} – сподіване значення коефіцієнта врахування обертових мас ТрЗ (для всіх типів ТрЗ $\delta_{cn} \in [1,05;1,1]$); y_2 – емпіричний коефіцієнт, $y_2 \in [0,3;0,35]$; y_3 – емпіричний коефіцієнт, $y_3 \in [0,45;0,5]$.

Середня швидкість руху максимально близька до значення безпечної (доцільної) швидкості руху ТрЗ.

Зменшенням значень коефіцієнта зчеплення ведучих коліс ТрЗ при швидкостях руху, які характерні для ТрЗ ПОК, можна знехтувати, через їх малу величину.

Зазначені допущення базуються на результатах аналізу та співставлення статистичних даних щодо характеру транспортного потоку поданих у [13-14, 16] і тактичних вимог щодо показників руху ТрЗ окремих ПОК [15].

Визначення показників $\Psi_{сер}, \Psi_{max}, G_{II}, v_{сер}, v_{max}, k_n, k_{zn}, H, B, a_{сер}, a_{max}$ для кожного типу ТрЗ конкретних ПОК доцільно здійснювати за допомогою часткових методик та алгоритмів комплексної методики обґрунтування параметрів транспортного процесу підрозділів охорони кордону [15].

З [10] відомо, що значення ефективної потужності ДВЗ залежить від кутової швидкості обертання їх колінчастого валу:

$$N_{ei0} = N_{imax} \cdot \left[f_1 \cdot \frac{\omega_e}{\omega_N} + f_2 \cdot \left(\frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^2 + f_3 \cdot \left(\frac{\omega_e}{\omega_N} \right)^3 \right], \quad (14)$$

де N_{imax} – максимальна потужність двигуна i -го зразка ТрЗ (потужність, яку зазначено у технічній характеристиці даного зразка ТрЗ), кВт; f_1, f_2, f_3 – емпіричні коефіцієнти (див. табл. 2).

Для визначення коефіцієнта втрат потужності двигуна ТрЗ при змінах температури зовнішнього

середовища та висоти місцевості, на якій функціонує двигун, можна скористатися даними, що наведені на рис. 2 [8, 16-17]:

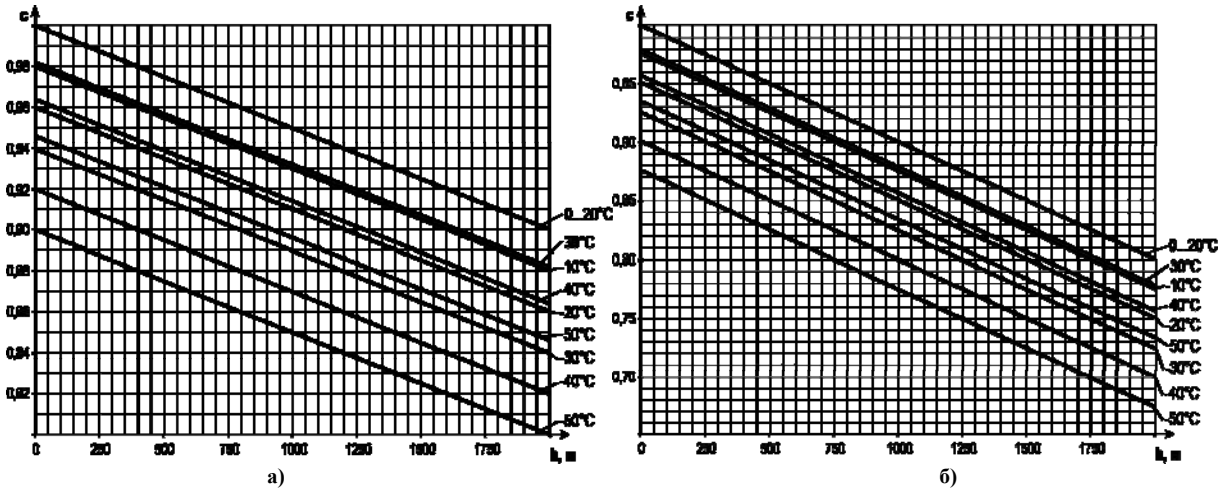


Рис. 2. Номограми для визначення коефіцієнту втрат потужності двигунів внутрішнього згорання ТрЗ, які працюють на висоті h над рівнем моря при певному значенні температури навколишнього повітря: а) бензинового; б) дизельного

Проведений аналіз дозволяє представити модель паливної економічності i -го зразка ТрЗ ПОК у наступному вигляді:

$$C_{Pi} = q_{Ni} \cdot \frac{1}{0,036 \cdot \rho_i} \left[1,26 - 0,85 \cdot \frac{v_i \cdot u_i}{r_i \cdot \omega_{Ni}} + 0,59 \cdot \left(\frac{v_i \cdot u_i}{r_i \cdot \omega_{Ni}} \right)^2 \right] \times$$

$$\times \left[b_1 - b_2 \cdot \frac{N_{Oicep}}{N_{ei0} \cdot \eta_{mp} \cdot c} + b_3 \cdot \left(\frac{N_{Oicep}}{N_{ei0} \cdot \eta_{mp} \cdot c} \right)^2 \right] \cdot \frac{N_{Oicep}}{v_i} \cdot c_{Pi} \rightarrow \min \quad (15)$$

де ρ_i – питома вага пального, кг/м^3 .

Цільова функція (15) отриманої моделі являє собою функцію витрат на закупівлю пального для забезпечення виконання транспортної роботи окремим ТрЗ ПОК залежно від окремих параметрів конструкції і показників якісних властивостей ТрЗ.

У результаті аналізу конструкцій сучасних ТрЗ було встановлено діапазони раціональних значень окремих показників якісних властивостей ТрЗ та параметрів їх окремих елементів, зокрема: передавальних чисел агрегатів трансмісії, радіусів коліс, кутів швидкостей обертання колінчастого валу двигуна, коефіцієнтів вантажопідйомності, потужності двигуна тощо. Урахування цього дозволяє формувати системи обмежень для моделей витрат коштів на забезпечення паливом кожного з основних типів транспортних засобів ВПС та МобП. Приклад однієї з систем обмежень обґрунтованої моделі (для легкових ТрЗ підвищеної прохідності, вантажопідйомністю до 7500 Н з бензиновим двигуном) подано у наступному вигляді:

$$\begin{aligned}
 & N_{i \max} \cdot \eta_{mp} \cdot \left[0,7 \cdot \frac{v_{i \text{доу}} \cdot u_i}{r_i \cdot \omega_{Ni}} + 1,6 \cdot \left(\frac{v_{i \text{доу}} \cdot u_i}{r_i \cdot \omega_{Ni}} \right)^2 + 1,3 \cdot \left(\frac{v_{i \text{доу}} \cdot u_i}{r_i \cdot \omega_{Ni}} \right)^3 \right] \cdot c \\
 & \frac{\Psi_{\text{сеп}} \cdot \left(\frac{7,5}{k_{Bi}} + 7,5 \right) \cdot v_{i \text{сеп}} + 0,03 \cdot 0,7 \cdot (1,41 + r_i) \cdot \left(0,00002 \cdot \frac{7,5}{k_{Bi}} + 1,47 \right) \cdot v_{i \text{сеп}}^3 + a_{\text{сеп}} \cdot \frac{\left(\frac{7,5}{k_{Bi}} + 7,5 \right)}{g} \cdot v_{i \text{сеп}}}{N_{i \max} \cdot \eta_{mp} \cdot \left[0,7 \cdot \frac{v'_{i \max} \cdot u'_i}{r_i \cdot \omega_{Ni}} + 1,6 \cdot \left(\frac{v'_{i \max} \cdot u'_i}{r_i \cdot \omega_{Ni}} \right)^2 + 1,3 \cdot \left(\frac{v'_{i \max} \cdot u'_i}{r_i \cdot \omega_{Ni}} \right)^3 \right] \cdot c} \geq 1; \\
 & \frac{\Psi_{\text{max}} \cdot \left(\frac{7,5}{k_{Bi}} + 7,5 \right) \cdot v'_{i \max} + 0,03 \cdot 0,7 \cdot (1,41 + r_i) \cdot \left(0,00002 \cdot \frac{7,5}{k_{Bi}} + 1,47 \right) \cdot v'_{i \max}^3 + \delta_{\text{max}} \cdot a_{\text{max}} \cdot \frac{\left(\frac{7,5}{k_{Bi}} + 7,5 \right)}{g} \cdot v'_{i \max}}{0 \leq \frac{v_{i \text{доу}} \cdot u_i}{r_i \cdot \omega_{Ni}} \leq 1; \quad (16) \\
 & 0 \leq \frac{v'_{i \max} \cdot u'_i}{r_i \cdot \omega_{Ni}} \leq 1; \\
 & 30 \leq N_{i \max} \leq 90; \\
 & 12,5 \leq v_{i \text{доу}} \leq 16,7; \\
 & 3 \leq u_i \leq 12; \\
 & 0,36 \leq r_i \leq 0,4; \\
 & 420 \leq \omega_{Ni} \leq 550; \\
 & 0,35 \leq k_{Bi} \leq 0,4; \\
 & 2,5 \leq u'_i \leq 4,5; \\
 & 3 \leq v'_{i \max} \leq 3,5.
 \end{aligned}$$

Відшукування мінімуму цільової функції (15) аналітичними методами пов'язане зі значними обчислювальними труднощами. Це пояснюється обмеженими можливостями аналітичних методів теорії оптимізації. Тому розв'язування такої задачі пропонується здійснювати чисельними методами на основі використання сучасного математичного програмного забезпечення, зокрема MathCad, Maple чи Matlab.

Слід зауважити, що незважаючи на те, що проведені міркування стосувалися ДВЗ, вони можуть бути застосовані до інших типів двигунів і силових установок ТрЗ, наприклад, працюючих на горючих газах, електродвигунів, гібридних силових установок.

Висновок. Таким чином, результати проведеного дослідження дозволяють аналізувати параметри конструкції кожного з типів ТрЗ конкретних ПОК з урахуванням умов паливної економічності виконання завдань ОСД, та обґрунтовувати технічні вимоги до зразків транспортних засобів ВПС і МобП з метою забезпечення ефективного комплектування їх парків. Останнє являє собою напрями подальших досліджень.

Література

1. Суботін В.О. Сучасна модель охорони державного кордону підрозділами Державної прикордонної служби та завдання щодо її впровадження в практику / В.О. Суботін / Тези доповіді.
2. Лантвойт О.Б. Методики оценки эффективности текущего ремонта и рационального обновления парка автомобилей многоцелевого назначения Государственной службы Украины: дис., канд. техн. наук. 20.02.14 / О.Б. Лантвойт. – Хмельницький, 2004. – 193 с.
3. Подолян О.Ю. Сучасні вимоги до автотехнічного забезпечення оперативно-службової діяльності підрозділів охорони державного кордону / О.Ю. Подолян // Збірник наукових праць № 50. Частина II / Гол. ред. Олексієнко Б. М. – Хмельницький: Вид-во Нац. ак. Держ. прик. сл. Укр. ім. Б. Хмельницького, 2010. – С. 59–62.
4. 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 (Хмельницький, 20 листопада 2009 року): Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конф [серія: Військово-технічні науки] / НАДПСУ. – Хмельницький: Вид-во НАДПСУ, 2009. – С. 94–96.
5. Подолян О.Ю. Обґрунтування технічних вимог до окремих показників якісних властивостей транспортних засобів підрозділів охорони державного кордону з урахуванням специфічних умов їх функціонування / О.Ю. Подолян // Збірник наукових праць № 54. Частина II / Під. ред. Олексієнко Б. М. – Хмельницький: Вид-во Нац. ак. Держ. прик. сл. Укр. ім. Б. Хмельницького, 2010. – С. 63–71.
6. Коломійчук С.В. Разработка методики выборки автомобилей многоцелевого назначения для

обеспечения оперативно-служебной деятельности ПВУ с учетом их ремонтпригодности: дис. канд. техн. наук. 20.02.14 / С.В. Коломійчук. – Хмельницький: АПВУ, 1998. – 236 с.

7. Остапешевський С.А. Методика вибору грузових і спеціалізованих автомобілів для комплектування подразделений матеріального забезпечення Пограничних військ України: дис., канд. техн. наук. 20.02.14 / С.А. Остапешевський. – Хмельницький, АПВУ, 2002. – 196 с.

8. Гашук П. М. Ідентифікація й нормування потенціалу автомобіля: [монографія] / П.М. Гашук, М.В. Дубно, О.Ф. Нефьодов. – Львів: Тріада ПЛЮС, 2007. – 240 с. – 52 іл., 24 табл.

9. Солтус А. П. Теорія експлуатаційних властивостей автомобіля: [навчальний посібник] / А.П. Солтус. – К.: Арістей, 2006. – 176 с.

10. Сирота В. І. Основи конструкції автомобілів: навчальний посібник / В.І. Сирота – Арістей, 2005. – 280 с.

11. Артамонов М. Д. Основи теорії і конструкції автомобіля: [учебник для техникумов] / М. Д. Артамонов, В. А. Иларионов, М. М Морин / [изд. 2-е, перераб.]. – М.: "Машиностроение", 1974. – 288 с.

12. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Технологія: [підручник для студ. вищих навч. закл.] / О.А. Лудченко. – К.: Вища школа, 2007. – 527 с.

13. Форнальчик Є. Ю. Технічна експлуатація та надійність автомобілів: [навчальний посібник] / Форнальчик Є.Ю., Оліскевич М.С., Пельо Р.А. – Львів: Афіша, 2004. – 492 с.

14. Кузнецов Е. С. Техническая эксплуатация автомобилей / Е. С. Кузнецов – М.: Транспорт, 1991. – 412 с.

15. Обґрунтування критеріїв відповідності експлуатаційних властивостей транспортних засобів умовам їх застосування у підрозділах охорони кордону: звіт про НДР № 010-0001А. – Хмельницький: ДПСУ, 2011. – 227 с.

16. Справочная энциклопедия дорожника. Том II. Ремонт и содержание автомобильных дорог / [В.К. Апестин, В.И. Баловнев, В.Д. Белов и др.]; Под редакцией А. П. Васильева. – Москва 2004. – Режим доступу: <http://www.gostrf.com/Basesdoc/51/51537/index.htm>.

17. Дизельные генераторы: [электронный ресурс]. – Режим доступу: <http://www.energodom.ru>.

Надійшла 20.1.2011 р.

УДК 628.88

В.В. ДЖЕДЖУЛА, Н.М. СЛОБОДЯН
Вінницький національний технічний університет

ЕНЕРГОАУДИТ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Розглянуто основні енергетичні потоки в промислових підприємствах. Запропоновано алгоритм проведення енергетичного аудита та заходи зменшення енерговитрат промислових підприємств у системах опалення, вентиляції та кондиціювання повітря.

The basic power streams in the industrial enterprises are considered. It is offered algorithm of carrying out of power audit that actions for decrease in power consumption of the industrial enterprises in systems of heating, ventilation and air conditioning.

Ключові слова: енергоаудит, промислові підприємства, вентиляція

Вступ. Аналіз проблеми.

Зростання вартості енергоносіїв та зменшення їх запасів на Землі спонукають до переосмислення відношення до енергоспоживання та впровадження заходів з енергозбереження в житловому секторі, на виробництві та у інших сферах людського життя. Україна задовольняє свої потреби у паливі лише на 43 %, що ставить економіку країни в залежність від вартості імпортованих енергоносіїв. Для зменшення нерационального споживання енергоресурсів владою було прийнято ряд законів та державних програм [1–5]. Першочерговою задачею правильного вибору енергозберігаючих заходів є енергетичне дослідження підприємства та вироблення рекомендацій щодо мінімізації енергоспоживання.

Метою даної статті є дослідження енергетичних потоків на промислових підприємствах, розробка алгоритму проведення енергетичного аудита та визначення заходів зменшення енерговитрат промислових підприємств в системах опалення, вентиляції та кондиціювання повітря.

Результати дослідження

Споживання енергії в житловому секторі і на виробництві є різним. Для житлових будинків характер розподілу наведено на рис. 1. На опалення і вентиляцію витрачається 72 % всіх енергоресурсів, на гаряче водопостачання – 12 %, на приготування їжі – 9 %, електроприлади і освітлення споживають – 7 %. Ці дані є усередненими

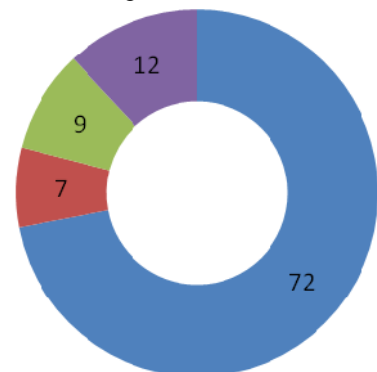


Рис. 1. Розподіл енергоспоживання житловими будинками

і дозволяють в цілому визначити напрями шляхів енергозбереження. Розподіл енергетичних потоків промислових підприємств є складнішим і потребує детального дослідження. Напрями споживання такі: опалення і вентиляція, кондиціонування, технологія, гаряче водопостачання, освітлення.

Склад робіт при дослідженні можна поділити на 4 етапи:

- збір і аналіз вихідних даних на основі проектної документації (дослідження закладених у проекті енергозберігаючих заходів, ознайомлення з експлікацією приміщень і обладнання, визначення встановлених потужностей енергоспоживання та можливих шляхів їх втрат);

- інструментальне обстеження підприємства з метою виявлення фактичного стану енергоспоживання (вимірювання фактичного термічного опору стін, визначення споживання енергії теплотехнічним, вентиляційним та технологічним обладнанням шляхом замірів витрат теплоносіїв та повітря, температурних градієнтів на теплообмінниках, тисків конденсації і випаровування в холодильному обладнанні, температури зовнішньої поверхні ізоляції обладнання та інше);

- розробка заходів щодо зменшення споживання енергії;

- передача технічного звіту з техніко-економічним обґрунтуванням запропонованих заходів.

Енергоаудит проводять:

- для систем електропостачання і електроспоживання;

- для систем теплохолодоспоживання і теплохолодопостачання;

- комплексний.

Мінімальне інструментальне забезпечення для проведення енергетичного дослідження промислового підприємства в галузі теплохолодоспоживання і теплохолодопостачання повинно складатися для:

1) електричного блоку досліджень: вольтметр, амперметр, фазометр;

2) теплотехнічного блоку досліджень: вимірювальна установка з температурними сенсорами, тепловізор, гігрометр, сенсори тиску холодоагенту;

3) аеродинамічного блоку досліджень: диференційний манометр з трубкою Піто, анемометр.

Звіт енергетичного дослідження повинен мати у собі деталізовані енергетичні потоки по окремих споживачах та у певні періоди роботи підприємства, недоліки існуючих енергетичних схем та шляхи їх усунення, техніко-економічне обґрунтування запропонованих заходів. Паралельно складається енергетичний паспорт будинку, обчислюється питомі втрати теплової енергії, що не повинні перевищувати нормованих показників, визначається клас енергетичної ефективності будинку. Європейські норми поділяють всі будівлі на 7 класів енергоефективності у відповідності з питомими показниками енергоспоживання $\text{kWh} \cdot \text{год} / (\text{рік} \cdot \text{м}^2)$: високоенергоємний клас «F» – понад 250; енергоємний клас «E» – 150...250; середньоенергоємний клас «D» – 100...150; середньоенергоощадний клас «C» – 80...100; енергоощадний клас «B» – 45...80; низькоенергетичний клас «A» – 15...45; пасивний будинок – клас «A+» до 15.

Як приклад розглянемо дослідження найбільш енергоємних систем вентиляції та кондиціонування, що поділяється на три етапи: дослідження центрального кондиціонера, дослідження повітроводів, дослідження характеру розподілу повітря в приміщенні. На рис. 2 наведено характерні точки виконання замірів для центрального кондиціонера: потік припливного повітря 1 в кількості L_1 , $\text{м}^3/\text{с}$ надходить у агрегат, а потік повітря 2 в кількості L_2 , $\text{м}^3/\text{с}$, витікає з нього. Визначення фактичних витрат повітря здійснюється аналітично на основі вимірів статичного і повного тиску диференційним манометром у повітропроводах на відстані не менше шести гідравлічних діаметрів від агрегату. Обчислення за відомими формулами дозволяє визначити витрату повітря, динамічний тиск і потужність, що витрачається на транспортування і розподіл повітря. Також в точках 1 і 2 вимірюється температура припливного і витяжного повітря і його вологість. За результатами даних вимірювань визначається ентальпія повітря.

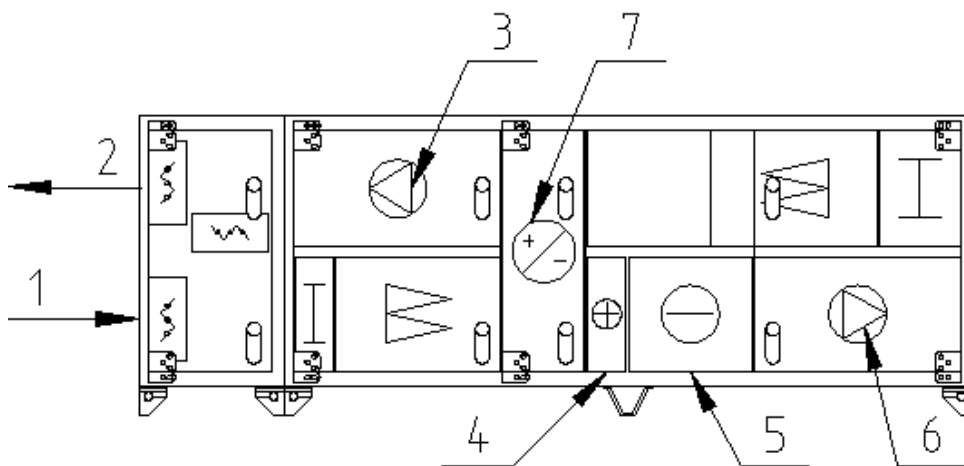


Рис. 2. Схема енергетичного дослідження центрального кондиціонера

У точках 3 і 6 здійснюється фактичне вимірювання потужності, що споживається двигуном вентиляторів припливу і витяжки. Точка 4 – визначається фактична витрата тепла на калорифері шляхом

заміру температурного градієнту і витрати теплоносія. Точка 5 – вимірюється температура переохолодження і перегріву холодоагенту, тиск конденсації та випаровування, температура повітря до і після поверхневого охолоджувача. Ефективність роторного рекуператора 7 визначається у співвідношенні витрат і ентальпій повітря до і після нього. Також при дослідженні визначається перепад тиску на фільтрах, значне забруднення яких може призвести до зростання споживання електроенергії.

До основних заходів з енергозбереження промислових підприємств в галузі теплохолодоспоживання і теплохолодопостачання можна віднести:

- утеплення стін, підлоги та горища;
- заміна вікон на більш енергоефективні;
- встановлення повітряних завіс на воротах і дверях;
- використання сучасного котельного обладнання (конденсаційних котлів, при можливості – піролізних на відходах виробництва);
- використання теплових насосів на опалення (джерелом може бути ґрунт, поверхневі проточні водойми, повітря, скидні води каналізації, теплові відходи виробництва);
- використання сучасних інформаційних комплексів для комплексного моніторингу і регулювання енергоспоживання підприємством;
- одночасне виробництво холоду і тепла в сучасних теплових насосах;
- використання як джерела холоду абсорбційних чілерів, що працюють на скидному теплі виробництва;
- оптимізація схем повітророзподілення в приміщеннях;
- використання геліоколекторів для виробництва гарячої води на водопостачання;
- зменшення інсоляційного навантаження за рахунок встановлення світловідбиваючих козирків, нанесення спеціальних плівок на вікна;
- використання рекуперації тепла викидного повітря, що дозволить зменшити потреби у теплі на нагрів вентиляційного повітря у 2 рази;
- автоматизація процесів виробництва, транспортування та використання теплової і електричної енергії;
- впровадження сучасної регулюючої арматури та схем обв'язки обладнання;
- використання паливом біогазу при наявних органічних відходах виробництва.

Висновки

1. Розглянуто основні енергетичні потоки в промислових підприємствах. Запропоновано алгоритм проведення енергетичного аудиту та інструментальне забезпечення для його реалізації.
2. Наведено приклад дослідження найбільш енергоємних систем вентиляції та кондиціювання підприємств.
3. Запропоновано заходи зменшення енерговитрат промислових підприємств в системах опалення, вентиляції та кондиціювання повітря.

Література

1. Закон України "Про енергозбереження" : Офіц. текст зі змінами станом на 09.02.2006 [Електронний ресурс] – Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=74%2F94-%E2%F0>.
2. Закон України "Про альтернативні джерела енергії" : офіц. текст станом на 20.02.2003 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=555-15>.
3. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : СНиП 2.04.05 -91 У*. – К. : КиевЗНИИЭП, 1996 – 89 с.
4. Комплексна державна програма енергозбереження України : Офіц. текст станом на 15.11.2009 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://naer.gov.ua/?p=451>.
5. Теплова ізоляція будівель : ДБН В.2.6-31 : 2006. – К. : Мінбуд України, 2006 – 40 с.
6. Гершкович В.Ф. Яким повинен бути енергетичний паспорт будинку / В.Ф. Гершкович // Ринок інсталяцій. – № 1. – 2008. – 25-29 с.
7. Ратушняк Г.С. Інтенсифікація біоконверсії коливальним перемішуванням субстрату. Монографія / Г.С. Ратушняк, В.В. Джеджула – Вінниця : Універсум-Вінниця, 2008. – 117 с. – ISBN 978-966-641-272-3.

Надійшла 19.1.2011 р.

ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ ОБ'ЄКТІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ВИДУ ДЕКОМПОЗИЦІЙНИМИ МЕТОДАМИ

Розглядається задача оптимізації розміщення об'єктів, які можна розкласти на прямокутники. Запропоновано схему вибору декомпозиційного методу розв'язання залежно від параметрів задачі.

The task of optimization of placing of objects which can be decomposed on rectangles is examined. The pattern of choice of decoupling method of decision depending on the parameters of task is offered.

Ключові слова: оптимізація розміщення, декомпозиція, генетичний алгоритм, метод гілок та меж, метод можливих напрямків, метод G-проекції.

Вступ

Задачі оптимізації розміщення геометричних об'єктів виникають в різних галузях діяльності людини. Наприклад, при конструюванні різноманітних пристроїв виникає проблема оптимізації розміщення його елементів з метою мінімізації взаємних паразитних впливів, мінімізації довжини з'єднувальних каналів, мінімізації відхилення центра мас системи від заданої точки, забезпеченні рівномірного теплового режиму конструкції та ін., конструюванні гнучких виробничих систем – проблема розміщення обладнання з метою мінімізації часу його обслуговування промисловими роботами, при розрахунку параметрів будівель – проблема пошуку можливого найбільш несприятливого розміщення навантажень, при якому в елементах будівлі виникнуть максимальні внутрішні сили, при організації вантажоперевезень – проблема щільного розміщення вантажів за умови належності центру мас системи заданій області та ін. Наведені практичні задачі зводяться до розв'язання задач геометричного проектування [1].

Основні проблеми, що виникають при розв'язанні задач даного класу, обумовлені великою вимірністю, нелінійністю функції цілі або функцій, що входять у систему обмежень, та неопуклістю множини припустимих розв'язків. Більшість розроблених алгоритмів призначено для розв'язання вузького класу задач та не припускають зміни функції цілі чи інших параметрів.

Постановка проблеми

Розглядається задача оптимізації розміщення об'єктів, які можна розбити на взаємоорієнтовані прямокутники на області із зонами заборони. На розміщення накладено умови взаємного не перетину об'єктів та їх невиходу за межі області розміщення. Необхідно розмістити об'єкти так, щоб заданий критерій якості досягав свого мінімуму.

Критерій якості описується довільною диференційованою функцією, або функцією максимуму диференційованих функцій, значення якої залежить від параметрів розміщення. Область розміщення описується системою нерівностей, яка містить диференційовані функції та може містити зони заборони у вигляді прямокутників.

Аналіз джерел дослідження

Для розв'язання задач оптимізації розміщення геометричних об'єктів використовуються різноманітні підходи із застосуванням евристичних методів, апарату лінійної, нелінійної та дискретної оптимізації. Більшість підходів розроблено для розв'язання задач щільного розміщення геометричних об'єктів, наприклад [1-3]. Дане дослідження є продовженням робіт, присвячених розробці декомпозиційних методів, які дозволяють розв'язувати задачі оптимізації розміщення з різними критеріями якості. В роботі [4] описано механізм декомпозиції множини припустимих розв'язків задачі розміщення прямокутників та спосіб побудови підзадач нелінійної оптимізації.

При застосуванні запропонованого підходу існують дві основні проблеми: вибір методу умовної оптимізації для розв'язання побудованих підзадач та спосіб вибору підзадач. Для розв'язання підзадач в дослідженні [4] використано метод умовного градієнту, в [5] розроблено метод G-проекції. В роботах [8, 9] застосовано метод можливих напрямків.

Проблема вибору підзадач, побудованих у результаті декомпозиції, існує через їх величезну кількість та неможливість використання методу повного перебору через обмеження у часі. Для вибору підзадач у дослідженні [4] використано метод випадкового пошуку, в [5] – метод спрямованого перебору у комбінації з методом випадкового пошуку, в [6] – метод гілок та меж, в [7] – генетичний алгоритм, в [8] – комбінований метод спрямованого переходу та випадкового пошуку.

Кожен з перерахованих методів має свої переваги, недоліки та межі застосування.

Мета даного дослідження

Розробити схему вибору декомпозиційного методу [4-7] для розв'язання задачі геометричного проектування залежно від її параметрів.

Виклад основної частини

Задача оптимізації розміщення має вигляд

$$\chi(Z) \rightarrow \min, \quad Z \in G, \quad (1)$$

де $\chi(Z)$ – неперервно-диференційована функція або функція максимуму неперервно-диференційованих функцій;

$Z(Z^1, Z^2, \dots, Z^m)$ – параметр розміщення об'єктів [8];

$Z^i(\xi_1^i, \xi_2^i)$ – координати полюса об'єкта $i = \overline{1, m}$;

m – кількість об'єктів, що розміщуються;

G – множина припустимих розв'язків задачі.

Множина G визначається умовами належності області об'єктів, що розміщуються, а також умовами їх не перетину між собою та фіксованими об'єктами. Спосіб побудови системи обмежень задачі (1) для випадку, коли об'єкти можна розкласти на орієнтовані прямокутники, наведено в [8]. Множина припустимих розв'язків задачі (1) – неопукла, багатозв'язна, залежно від розмірів об'єктів – може бути незв'язною, з великою кількістю компонент зв'язності. В результаті декомпозиції даної множини на опуклі підмножини [4]

$$G = \bigcup_{j=1}^r G_j, \quad r = 4 \frac{m(m-1)}{2}, \quad (2)$$

отримаємо сукупність під задач

$$\chi(Z) \rightarrow \min, \quad Z \in G_j. \quad (3)$$

Розв'язок задачі (1) можна знайти, розв'язавши сукупність підзадач (3). Через велику кількість отриманих підзадач, розв'язати їх усі за прийнятний час неможливо. Таким чином, необхідно застосовувати спеціальні методи для їх вибору. На рис. 1 наведено загальну схему методу розв'язання задачі (1).

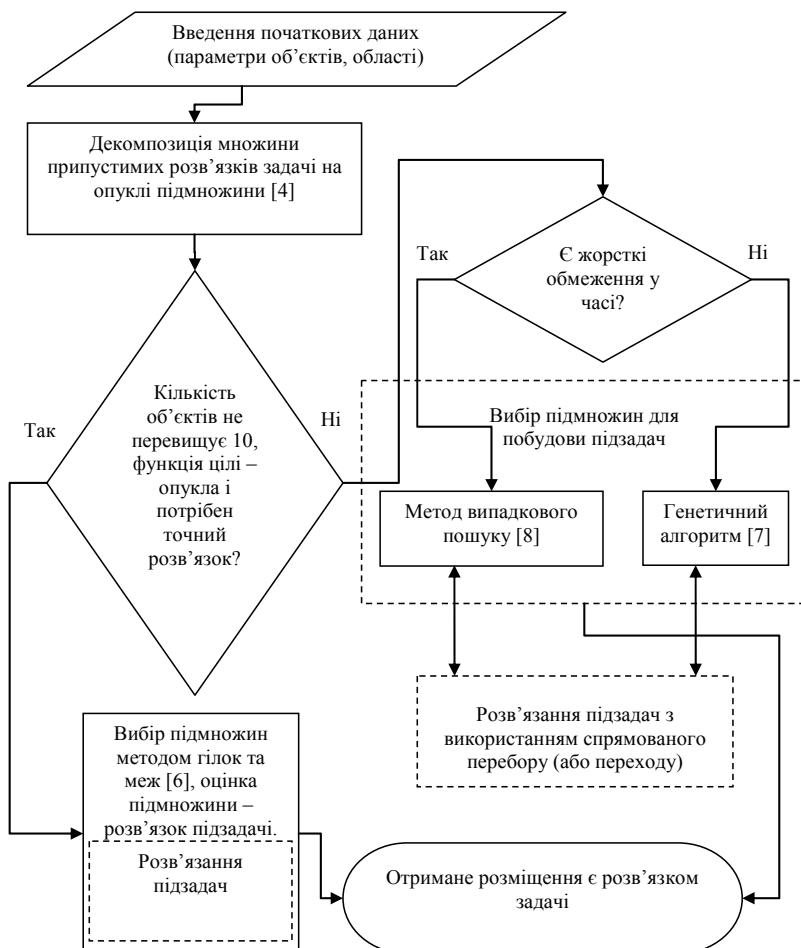


Рис. 1. Алгоритм розв'язання задачі. Загальна схема

В наведеному алгоритмі застосування методу гілок та меж [6] обмежено задачами розміщення не більше 10 об'єктів через велику часову складність даного метода. За результатами обчислювальних експериментів розв'язання задачі розміщення 5 об'єктів, в середньому, потребує біля 5 хв, а задачі 6 об'єктів – 30-40 хв.

Вибір методу для розв'язання підзадач також залежить від параметрів задачі. Схему вибору методу для розв'язання підзадач з (3) наведено на рис. 2. До даної схеми не було включено окремі випадки, для яких

існують ефективні класичні методи оптимізації (наприклад, коли підзадача є задачею лінійного програмування).

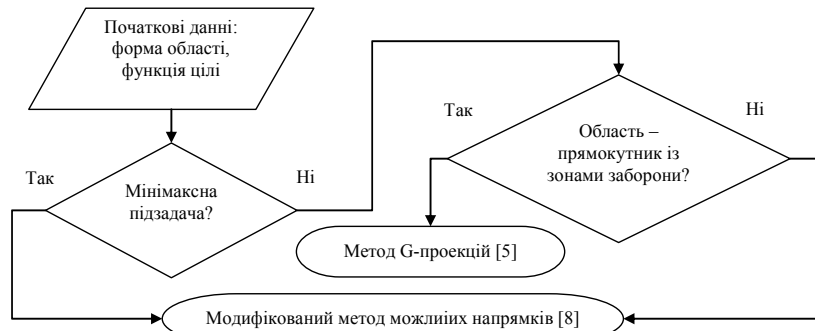


Рис. 2. Алгоритм вибору методу для розв'язання підзадач

Оцінки швидкості розв'язання підзадач методом можливих напрямків та G-проекцій, яку побудовано за результатами обчислювальних експериментів, наведено на рис. 3.

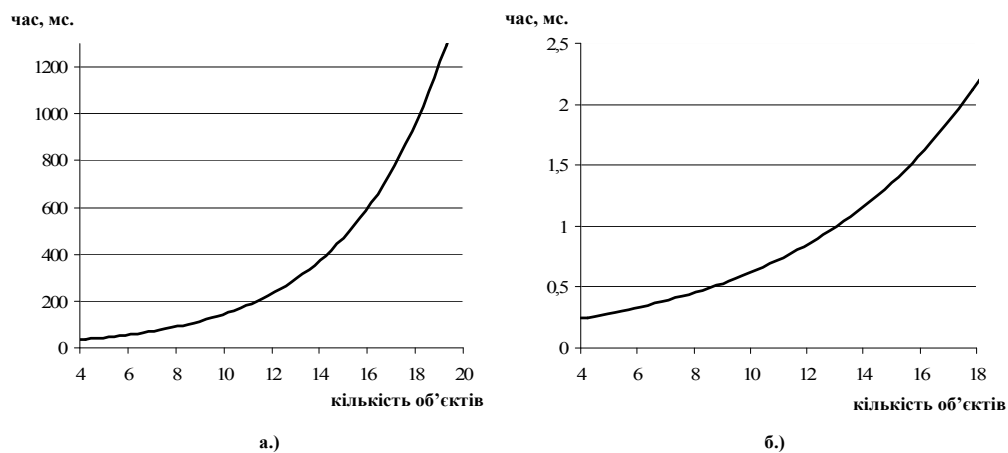


Рис. 3. Результати обчислювального експерименту з розв'язання тестових підзадач розміщення прямокутників у прямокутнику: а.) – метод можливих напрямків; б.) – метод G-проекції

Метод G-проекції [2] працює швидше за метод можливих напрямків, але може бути застосований для вузького класу задач.

Слід зазначити, що при використанні підходу, описаному у [4] розбиття множини припустимих розв'язків, існують підмножини, які перетинаються та групи підмножин, які знаходяться в різних компонентах зв'язності. Ця особливість враховується в методах вибору підзадач (рис. 1). Для вибору підмножин без урахування їх належності до компонент зв'язності використовуються метод випадкового пошуку та генетичний алгоритм. Для вибору підмножин в межах однієї компоненти зв'язності – метод спрямованого перебору [5] в комбінації з методом G-проекцій [5] та метод спрямованого переходу [8] в комбінації з методом можливих напрямків. Схеми даних методів наведено на рис. 4.

Висновки

В результаті даного дослідження проаналізовано декомпозиційні методи [4-8], які використовуються для розв'язання задач оптимізації розміщення з різноманітними критеріями якості та побудовано загальну схему вибору методу залежно від параметрів задачі.

Перспективами подальших досліджень є удосконалення методів розв'язання задач даного класу в частині вибору та розв'язанні підзадач.

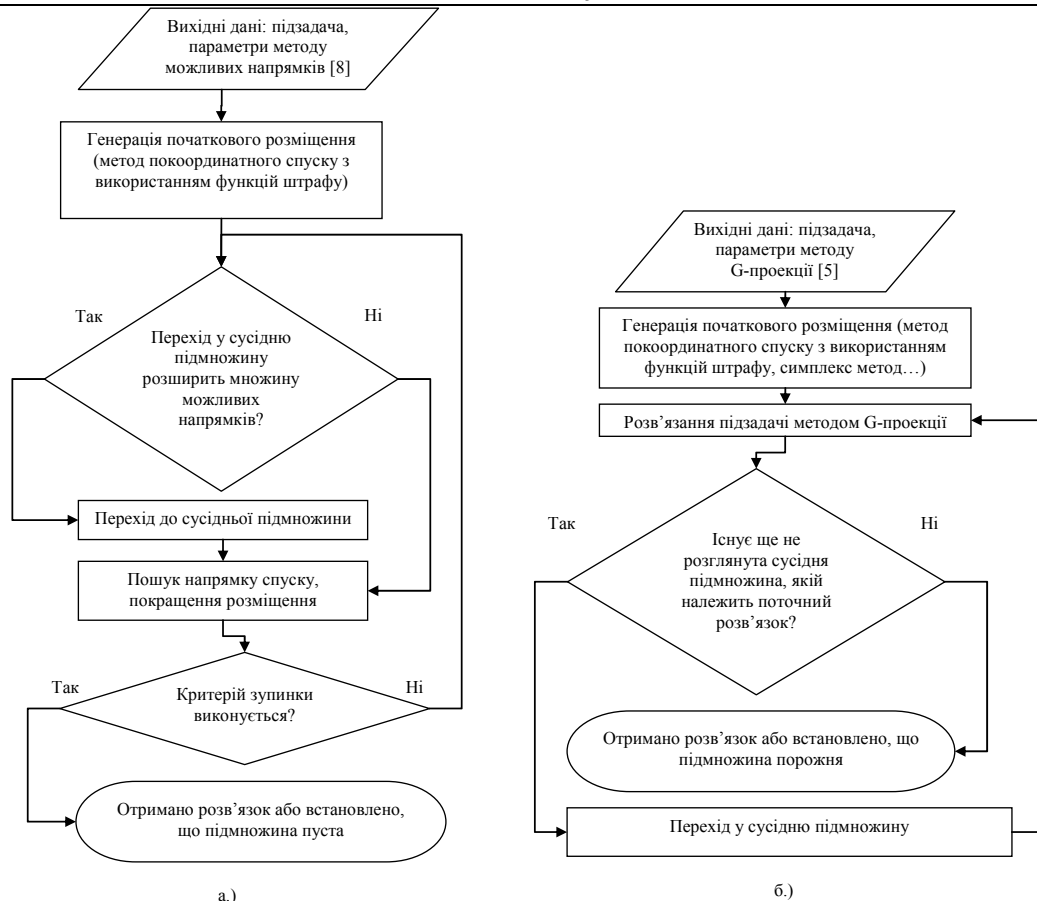


Рис. 4. Алгоритм розв'язання підзадач з використанням методів:
 а) – можливих напрямків та спрямованого переходу; б) – G-проекції та спрямованого перебору

Література

1. Стоян Ю. Г. Методы и алгоритмы размещения плоских геометрических объектов / Ю. Г. Стоян, Н. И. Гиль. – К. : Наук. думка, 1976. – 248 с.
2. Мухачева Э. А. Модели и методы расчета раскроя-упаковки геометрических объектов / Мухачева Э. А., Верхотуров М. А., Мартынов В. В. – Уфа : УГАТУ, 1998. – 213 с.
3. Orthogonal packing of rectangular items within arbitrary convex region by nonlinear optimization / Birgin E. G., Martinez J. M., Nishihara F. H. and other // Computers & Operations Research. – 2006. – № 33. – P. 3535–3548.
4. Яремчук С. І. Модифікація методу умовного градієнту для розв'язання задач оптимального розміщення джерел фізичних полів / С. І. Яремчук, Д. О. Жовнивсякий, А. В. Співак // Вісник ЖІТІ : технічні науки. – 1999. – № 9. – С. 248–253.
5. Яремчук С. І. Алгоритм розв'язання задачі розміщення прямокутників в прямокутній області / С. І. Яремчук, Л. В. Рудюк // Вісник Київського університету імені Тараса Шевченка. – 2005. – № 2. – С. 339–343.
6. Яремчук С. І. Оптимізація розміщення прямокутних об'єктів на опуклій області методом гілок та меж / С. І. Яремчук, Ю. О. Шаповалов // Вісник ЖІТІ : технічні науки. – 2004. – Т. 2, № 4. – С. 161–167.
7. Яремчук С. І. Застосування генетичного алгоритму до задач розміщення / С. І. Яремчук, Ю. О. Шаповалов // Вісник ЖІТІ : технічні науки. – 2002. – № 2. – С. 130–133.
8. Яремчук С. И. Минимаксная задача оптимизации размещения объектов специального вида на многосвязной области. / С. И. Яремчук, Ю. А. Шаповалов // Кибернетика и системный анализ. – 2007. – № 3. – С. 128–137.
9. Яремчук С. І. Модифікація методу можливих напрямків для задачі оптимізації розміщення / С. І. Яремчук, Ю. О. Шаповалов // Вісник Хмельницького національного університету : технічні науки. – 2005. – Ч. 1, т. 2, № 5. – С. 146–151.

Надійшла 28.1.2011 р.

СКЛАД ДЛЯ ОТРИМАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНИХ ПОКРИТТІВ НА ОСНОВІ НІКЕЛЮ З ДОБАВКАМИ НАНОРОЗМІРНИХ НІТРИДІВ

Запропоновано склад та технологію отримання композиційних електролітичних покриттів на основі нікелю з добавками нанодисперсних порошків нітридів бору або нітридів титану і силіцію.

Composition and technology of composite electrolytic coatings production on the basis of nickel with additive nanodisperse powder of boron nitride, titanium nitride and silicium are proposed.

Ключові слова: покриття, композиційні, нанорозмірні нітриди, нікель, добавки.

З метою вдосконалення гальванічних покриттів на основі нікелю підвищенням їх експлуатаційних характеристик при збереженні основних переваг електролітичних нікелевих покриттів, а саме: магнітних властивостей, високої адгезії та розсіючої здатності електроліту нікелювання, можливості отримання покриттів на деталях складної конфігурації тощо, розроблено технологію отримання композиційних електролітичних покриттів (КЕП) на основі нікелю, що містять добавки нанопорошку нітриду бору та суміші нанопорошків на основі нітридів титану і силіцію.

Відомі склади КЕП на основі нікелю з добавкою мікропорошків на основі карбідів, боридів, оксидів, нітридів [1] Недоліком таких КЕП є технологічна складність підтримання рівномірного розподілу дисперсних частинок під час електролізу в об'ємі електроліту. Поверхневий шар КЕП з добавкою мікропорошків, розміром до 50 мкм, нерівномірний, внаслідок недостатнього зарощування грубої дисперсної фази, що потребує додаткової фінішної обробки покриттів (рис. 1, 2).



Рис. 1. КЕП на основі нікелю з добавкою карбіду вольфраму плакованого кобальтом

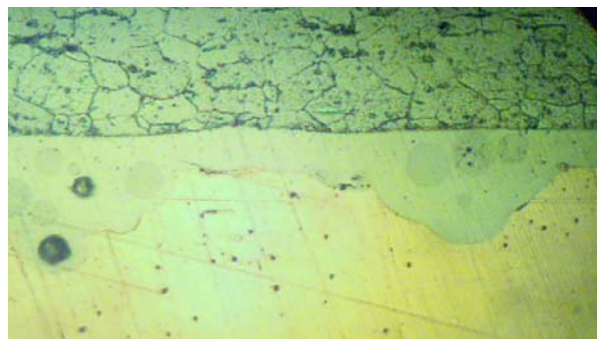


Рис. 2. КЕП на основі нікелю з добавкою карбіду вольфраму

Найбільш близьким до складу КЕП, що заявляється, є склад для отримання КЕП на основі групи заліза, який містить ультрадисперсний вуглецевий конденсат [2] Основним недоліком вже існуючих КЕП є забезпечення високої зносостійкості тільки при температурах до 300-400°C, що пояснюється невисокою термостійкістю включень вуглецевого конденсату, який виконує функцію мастила.

Авторами поставлена задача отримання зносостійких КЕП на основі нікелю за рахунок введення нанопорошку нітриду бору та суміші нанопорошків нітридів титану і нітриду силіцію.

Поставлена мета досягнута тим, що склад для отримання композиційних електролітичних покриттів на основі нікелю, отриманий з сульфатного електроліту нікелювання, відрізнявся тим, що вміщував нанодисперсний порошок нітридів бору, або нітридів титану і силіцію при наступному співвідношенні компонентів, г/л: сульфат нікелю – 140200 г/л, хлорид нікелю – 30– 40 г/л, сульфат натрію 4050 г/л, сульфат магнію – 50– 60 г/л, нанопорошок BN – 10 г/л або суміш нанопорошків TiN+Si₃N₄+Y₂O₃ 10 г/л.

Запропонований склад відрізнявся тим, що суміш нанопорошків TiN+Si₃N₄+Y₂O₃ має наступне співвідношення компонентів: нітрид титану – 40 % з розмірами частинок до 0,01 мкм;

нітрид титану 30 % з розмірами частинок до 1 мкм;

нітрид силіцію 25 % з розмірами частинок до 1 мкм;

оксиду ітрію 5 % з розмірами частинок до 1 мкм.

КЕП на основі нікелю з добавкою нанопорошків отримано з сульфатних електролітів нікелювання вказаних складів при наступних режимах електролізу: катодна густина струму 0,1– 0,2 кА/м², температура електроліту 2030° С. При цьому вихід за струмом 98 %.

Розроблені КЕП з добавками нанопорошків, на відміну від аналогів, отримані з електролітів, в яких рівномірно розподілені включення нітридів (рис. 3, 4). Поверхневий шар КЕП з добавками нанопорошків рівномірний та однорідний, що не потребує фінішної обробки.

Таблиця 1

Назва параметра	Одиниці вимірювання	КЕП на основі нікелю з добавкою мікропорошків на основі нітриду силіцію Si_3N_4 [1]	КЕП на основі нікелю з добавкою мікропорошків на основі нітриду бору BN [1]	КЕП на основі нікелю з добавкою вуглецевого конденсату [2]	Електролітичний нікель матовий	КЕП на основі нікелю з добавкою нанопорошку BN [3]	КЕП на основі нікелю з добавкою суміші нанопорошків нітриду титану та силіцію [3]
Склад електроліту	г/л	Сульфат нікелю 300 Хлорид нікелю 60 Борна кислота 30 Мікропорошок 10	Сульфат нікелю 300 Хлорид нікелю 60 Борна кислота 30 Мікропорошок 10	Хлорид нікелю 300 Борна кислота 30 Бор аморфний 10–30 Вуглецевий конденсат 60	Сульфат нікелю 140–200 Хлорид нікелю 140–200 Хлорид нікелю 30–40 Борна кислота 25–30 Сульфат натрію 40–50 Сульфат магнію 50–60	Сульфат нікелю 140–200 Хлорид нікелю 30–40 Борна кислота 25–30 Сульфат натрію 40–50 Сульфат магнію 50–60, суміш нанопорошків 10	Сульфат нікелю 140–200 Хлорид нікелю 30–40 Борна кислота 25–30 Сульфат натрію 40–50 Сульфат магнію 50–60, суміш нанопорошків 10
Режими електролізу:							
Катодна густина струму	кА/м ²	0,5	0,5	5–10	0,1–0,2	0,1–0,2	0,1–0,2
Термін осадження	год	–	–	3	–	–	–
Температура електролізу	°С	40–60	40–60	40–60	20–30	20–30	20–30
Вихід за струмом	%	–	–	–	98	98	98
Властивості:							
Мікротвердість	МПа	5510	4530	–	3200–3500	4550–5550	5550–6500
Лінійний знос (P=0,6 МПа, масло И-20)	Мкм/км	–	–	10–18	70–80	9–10	8–12

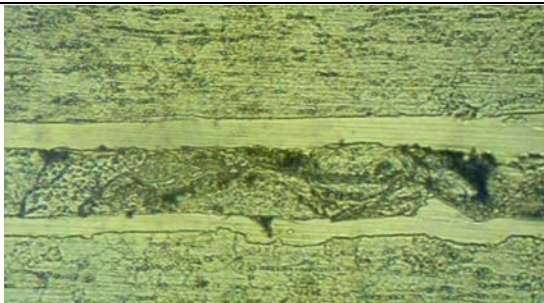
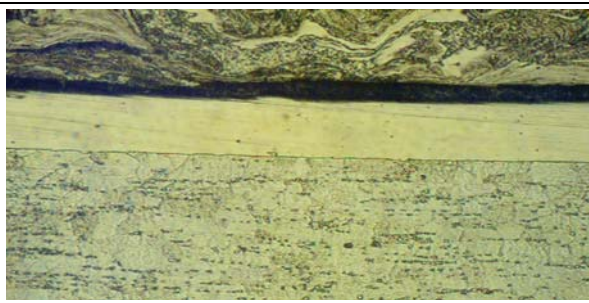
Рис. 3. КЕП на основі нікелю з добавкою суміші нанопорошків $TiN+Si_3N_4+Y_2O_3$ 

Рис. 4. КЕП на основі нікелю з добавкою нанопорошку BN

Введення в металеву матрицю КЕП вказаних складів вигідно відрізняють їх від відомих, так як наявність нанорозмірних нітридних включень не тільки підвищує мікротвердість КЕП (для КЕП з добавкою нанопорошку BN до Н 4550– 5550 МПа, для КЕП з добавкою суміші нанопорошків $TiN+Si_3N_4+Y_2O_3$ до Н 5550– 6500 МПа), а й забезпечує високу зносостійкість покриттів як в умовах змащування, так і при терті без мастила при температурах до $800^{\circ}C$ (лінійний знос при навантаженні $P=0,6$ МПа в умовах змащування, для КЕП з добавкою нанопорошку BN, становить 9– 10 мкм/км, для КЕП з добавкою суміші нанопорошків $TiN+Si_3N_4+Y_2O_3$ 712 мкм/км). На відміну від відомих, розроблені склади КЕП забезпечують високу зносостійкість покриттів без подальшої термічної обробки, при цьому застосовано більш стабільний сульфатний електроліт, порівняно з хлоридним (табл. 1).

КЕП на основі нікелю з добавкою нанорозмірного нітриду бору зберігають самозмащувальні властивості, якими характеризуються КЕП з добавками мікропорошкового нітриду бору. Проведені дослідження свідчать про те, що при збільшенні шляху тертя для зразків з КЕП, в які входить нанопорошок нітриду бору, лінійний знос практично не збільшується, табл. 2. КЕП на основі нікелю з добавкою суміші нанопорошків нітриду титану та нітриду силіцію на стадії припрацювання мають менший лінійний знос, ніж КЕП з добавкою нітриду бору, але очевидним є відсутність самозмащення та більш інтенсивний знос при збільшенні шляху тертя (табл. 2).

Таблиця 2

Назва покриття	Лінійний знос ($P=0,6$ МПа, масло И– 20, залежно від шляху тертя), мкм/км			
	0,05 км	0,1 км	0,15 км	0,2 км
КЕП з добавкою BN	9	10	10	10
КЕП з добавкою $TiN+Si_3N_4+Y_2O_3$	7	9	11	12

Таким чином, розроблено склад для отримання композиційних електролітичних покриттів на основі нікелю, отриманий з сульфатного електроліту нікелювання, який відрізняється тим, що склад вміщує нанодисперсний порошок нітридів бору, або нітридів титану і силіцію при наступному співвідношенні компонентів, г/л: сульфат нікелю – 140200 г/л, хлорид нікелю – 3040 г/л, сульфат натрію 4050 г/л, сульфат магнію – 5060 г/л, нанопорошок BN – 10 г/л або суміш нанопорошків $TiN+Si_3N_4+Y_2O_3$ 10 г/л. Отримані покриття характеризуються вищими експлуатаційними характеристиками, ніж відомі аналоги.

Література

1. Сайфуллин Р.С. Композиционные покрытия и материалы / Сайфуллин Р.С. – М.: Химия, 1977. – 272 с.
2. Пат. UA 12832 C25D 15/00. Склад для отримання композиційних електролітичних покриттів на основі металів групи заліза / Гуслиєнко Ю.О., Лучко А.В., Саввакін Г.І., Бурда М.Й.; заявник і патентовласник Інститут проблем матеріалознавства І.М. Францевича АН України, UA. – № 94321989, 30.06.93; заявл. 05.06.90; опубл. 28.02.97, Бюл. № 1.
3. Пат. UA 29705 U МПК (2006) C25D 15/00. Склад для отримання композиційних електролітичних покриттів на основі нікелю з добавками нанорозмірних нітридів / Покришко Г.А., Дробот О.С., Підгайчук С.Я., Яворська Н.М., Сатринська Л.Л.; заявник і патентовласник Хмельницький національний університет, UA. – № u200710329; заявл. 17.09.2007; опубл. 25.01.2008.

Надійшла 15.1.2011 р.

В.І. ОСИПЕНКО, О.О. СИТНИК
 Черкаський державний технологічний університет
 О.І. НЕКОЗ
 Національний університет харчових технологій, м.Київ
 Н.В. ФІЛІМОНОВА
 Черкаський державний технологічний університет

ОБҐРУНТУВАННЯ ШЛЯХІВ ТЕХНІЧНОГО І ТЕХНОЛОГІЧНОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ ЕКСТРУДЕРІВ

Розроблено критерій оцінки екструдерів харчової та переробної промисловості. Визначено, що найбільш перспективним з точки зору подальшого вдосконалення є одношнековий екструдер. На основі аналізу принципу дії та конструктивних особливостей одношнекових екструдерів запропоновано систему комплексного вдосконалення їх конструкції. Запропоновані зміни дозволяють покращити технологічні, експлуатаційні та конструктивні показники цих машин. Результати роботи можуть бути використані для підвищення технічного рівня вітчизняних та закордонних моделей екструдерів.

The criterion of estimation of extruders of food retail and processing industry is developed. Certainly, that most perspective from the point of view subsequent perfection is a single-screw extruder. On the basis of analysis of principle of action and structural features of single-screw extruders the system of complex perfection of their construction is offered. The offered changes allow to improve the technological, operating and structural indexes of these machines. Job performances can be used for the increase of technical level of domestic models of extruders.

Ключові слова: екструдер, вдосконалення, покращення показників, одношнековий,

Постановка проблеми

Добре відомо, що екструдер, внаслідок комплексної інтенсивної дії на сировину, що обробляється, поєднує функції декількох технологічних установок, забезпечуючи високу ефективність та рентабельність процесу. Але на сучасному етапі розвитку, більшість дослідників відрізняють ряд недоліків, характерних для даного виду технологічного устаткування. Найбільш вагомими, безумовно, є висока енергоємність процесу, низька довговічність та відносно висока вартість окремих елементів конструкції. Навіть часткове розв'язання вказаних проблемних задач дозволить підвищити технічний рівень екструдерів і, зважаючи на їх широке використання, заощадити значні матеріальні ресурси.

На сьогоднішній день відомо декілька типів конструкцій екструдерів, які істотно відрізняються принципом дії та технологічними властивостями. Зрозуміло, що доцільно вдосконалювати той тип конструкції, який забезпечує найбільшу ефективність процесу екструдювання. Але обґрунтоване порівняння відомих конструкцій ускладнене через те, що на даний час відсутні адекватні критерії оцінки та недостатньо систематизовано відомості про властивості конструкцій.

Аналіз джерел

Аналіз техніки й технології екструдювання вітчизняних і закордонних виробників дозволив систематизувати найважливіші типи цих машин [1] і класифікувати їх за різними технічними та технологічними ознаками.

За типом основного робочого органу екструдери класифікуються так: валкові, шестерінчасті, гвинтові, шнекові, дискові, поршневі, комбіновані. Найбільшого поширення набули саме шнекові екструдери, які можуть бути одно-, дво- та багатощнековими.

Двошнекові екструдери класифікуються за конструктивним виконанням: стаціонарні, із обертовим корпусом, із обертовим шнеком, із горизонтальним шнеком, із вертикальним шнеком, із зворотно-поступальним рухом шнеку. За частотою обертання шнеку виділяють нормальні та швидкохідні екструдери. За довжиною шнеку відрізняють коротко-ствольні ($L/d \approx < 5 \div 1$), середньо-ствольні ($L/d \approx 10 \div 5$) та довгоствольні ($L/d \approx 30 \div 10$). За робочим тиском у передматричній зоні: низького тиску (до 2 МПа), середнього тиску (до 5 МПа) та високого тиску (до 25 МПа). За термодинамічними властивостями розрізняють автогенні, ізотермічні та політропні екструдери.

Найбільшого розповсюдження у виробництві кормів та харчової продукції набули одношнекові екструдери. Види конструкцій їх окремих деталей також відрізняються істотною різноманітністю: корпус шнекового механізму може бути циліндричним або конічним; внутрішня нарізка корпусу – прямолінійною або спіральною, такою, що співпадає із напрямком спіралі шнеку або зворотною; шнек – одно- або багатозаходним, із витками непереривними та такими, що мають проточки, може бути наявний компресійний затвор, крок спіралі шнеку – постійний або змінний; форма міжвиткових каналів шнеку – прямокутна, несиметрична, напівеліптична, із постійною або із перемінною площею перерізу; матриця – круглою або прямокутною, із одним або із декількома формуючими каналами, із меріодинальною нарізкою на внутрішній поверхні.

У відомих джерелах не наведено ґрунтовного порівняльного аналізу вказаних видів конструкцій, відсутній вибір найбільш перспективної з них та не вказано можливих подальших шляхів розвитку екструзійного обладнання. Відсутність перспективних напрямків вдосконалення екструдерів у відомих роботах можна пояснити відсутністю детального визначення проблемних задач конструкторського та

наукового спрямування, вирішення яких дозволить підвищити технічний рівень екструдерів.

Основна частина

Метою даної статті є: розробка комплексного критерію оцінки ефективності конструкцій екструдерів, визначення перспективних напрямків їх вдосконалення. Комплексний критерій оцінки конструкцій екструдера зручно представити у вигляді, який дозволить оперувати не кількісними, а якісними показниками, що, на відміну від методики [2], сприятиме виявленню найбільш раціональної концептуальної схеми екструдера, придатної до подальшого вдосконалення. Доцільно відобразити в критерії оцінки складові, що відображатимуть технологічні, експлуатаційні та конструктивні якості екструдерів. Враховуючи різний вплив, що здійснюють вказані складові на отримуваний від експлуатації екструдера економічний ефект, доцільно відобразити різну питому вагу даних компонентів у загальному значенні критерію оцінки.

Враховуючи наведене, пропонуємо в якості комплексного критерію оцінки наступний вираз:

$$K_{КОЦ} = 1,0K_T + 0,75K_E + 0,25K_K,$$

де K_T – коефіцієнт, що враховує технологічні показники;
 K_E – коефіцієнт, що враховує експлуатаційні показники;
 K_K – коефіцієнт, що враховує конструктивні показники.

В свою чергу вказані коефіцієнти розраховуються наступним чином. Коефіцієнт, що враховує технологічні показники:

$$K_T = 0,25(K_m + K_{подр} + K_t + K_{пер}),$$

де K_m – показник величини тиску обробки сировини, що може розвиватись екструдером ($K_m=1$ при значенні тиску, що дорівнює мінімально необхідному для проведення робочого процесу, $K_m=0,5$ при недостатньому значенні, $K_m=1,5$ при значенні тиску, що суттєво перевищує мінімально необхідне для проведення робочого процесу); $K_{подр}$ – показник ефективності та якості подрібнення сировини ($K_{подр}=1$ при задовільному значенні ефективності подрібнення, $K_{подр}=0,5$ при недостатній якості та зависокій енергоємності подрібнення сировини, $K_{подр}=1,5$ при високій якості та низькій енергоємності подрібнення); K_t – показник величини температури нагріву сировини, що може розвиватись екструдером без додаткових нагрівальних пристосувань ($K_t=1$ при задовільному значенні температури, $K_t=0,5$ при недостатній інтенсивності нагріву, $K_t=1,5$ при значенні температури, що суттєво перевищує мінімально необхідне для проведення робочого процесу); $K_{пер}$ – показник ефективності та якості перемішування сировини ($K_{пер}=1$ при задовільному значенні ефективності перемішування, $K_{пер}=0,5$ при недостатній ефективності перемішування сировини, $K_{пер}=1,5$ при малій тривалості та високій якості перемішування).

Коефіцієнт, що враховує експлуатаційні показники: $K_E = 0,5(K_{зн} + K_{оч})$, де $K_{зн}$ – показник величини зношування робочих органів екструдера ($K_{зн}=1$ при задовільному значенні величини зношування, $K_{зн}=0,5$ при високій інтенсивності зношування та великій кількості швидкозношуваних деталей, $K_{зн}=1,5$ при низькій інтенсивності зношування та малій кількості швидкозношуваних деталей); $K_{оч}$ – показник зручності та тривалості очищення робочої зони екструдера ($K_{оч}=1$ при задовільних зручності та тривалості очищення, $K_{оч}=0,5$ при високій тривалості та низькій зручності очищення, $K_{оч}=1,5$ при низькій тривалості та високій зручності очищення).

Коефіцієнт, що враховує конструктивні показники: $K_K = 0,5(K_{нагр} + K_{звол})$, де $K_{нагр}$ – показник простоти конструкції додаткових нагрівальних пристроїв ($K_{нагр}=1$ при задовільній простоті конструкції, $K_{нагр}=0,5$ при низькій конструктивній простоті, $K_{нагр}=1,5$ високій конструктивній простоті встановлення додаткових нагрівальних пристроїв); $K_{звол}$ – показник конструктивної простоти встановлення додаткових зволожувальних пристроїв та ефективності зволоження сировини ($K_{звол}=1$ при задовільних конструктивній простоті та ефективності зволоження, $K_{звол}=0,5$ при низькій конструктивній простоті та низькій ефективності зволоження, $K_{звол}=1,5$ при високих простоті конструкції встановлення додаткових зволожувальних пристроїв та ефективності зволоження сировини).

Кінцевий вигляд виразу по визначенню критерію оцінки:

$$K_{КОЦ} = 0,25(K_m + K_{подр} + K_t + K_{пер}) + 0,37(K_{зн} + K_{оч}) + 0,12(K_{нагр} + K_{звол})$$

Для апробації запропонованого комплексного критерію оцінки ефективності конструкцій екструдерів $K_{КОЦ}$ були виконані розрахунки для відомих базових типів наочності порівняльного аналізу відомих видів конструкцій екструдерів, результати представлені в таблиці 1.

Як видно з таблиці 1, найбільш високі значення критерію оцінки отримали одно- та двошнекові конструкції екструдерів, причому найбільше значення $K_{КОЦ}$ отримано для одношнекового екструдера. Це пояснюється, серед іншого, суттєво недостатньою ефективністю перемішування сировини та суттєвим зростанням складності конструкції двошнекового екструдера.

Таким чином, видом конструкції екструдера, найбільш перспективної для подальшого вдосконалення (або найбільш технічно досконалої на даний час), є саме одношнековий екструдер, який є найбільш поширеним у практичному використанні. З огляду на це було проведено системний аналіз конструкції одношнекового екструдера з метою визначення можливих напрямків її вдосконалення.

Значення критерію оцінки для різних видів конструкції екструдера

Вид конструкції екструдера	Значення компонент критерію оцінки								Загальне значення $K_{КОЦ}$
	K_m	$K_{подр}$	K_t	$K_{пер}$	$K_{зн}$	$K_{оч}$	$K_{нагр}$	$K_{звол}$	
Валковий	0,5	0,5	0,5	0,5	1,5	1,5	0,5	0,5	1,730
Шестеренний	0,5	0,5	0,5	0,5	1,5	1,0	0,5	0,5	1,545
Одношнековий	1	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	1,5	1,5	1,915
Двошнековий	1,5	0,5	1,0	0,5	0,5	1,5	1,0	1,0	1,855
Дисковий	0,5	0,5	0,5	0,5	1,5	1,5	0,5	0,5	1,730
Поршневий	1,0	0,5	0,5	0,5	1,5	1,5	0,5	0,5	1,855*

* – дане високе отримане значення $K_{КОЦ}$ обумовлене неможливістю відобразити вкрай низьку ефективність перемішування та нагріву сировини для поршневих екструдерів при прийнятих значеннях складових компонент.

** – значення компонентів наведено за даними конструкторського відділу ЗАТ «Черкасиелеватормаш».

Одним з найбільш ефективних методів пошуку резервів розвитку технічних об'єктів є, як відомо, функціонально-вартісний аналіз. Він передбачає порівняння функціональної значущості деталі або елемента та вартістю її виготовлення, тобто стає можливим виявити не виправдано високі витрати на виготовлення елементів технічної системи. Також стає можливим виявлення випадків дублювання одних і тих самих функцій декількома різними елементами, випадки недостатньої ефективності виконання функцій або надлишкової ефективності. Все це в подальшому дозволяє проводити роботу зі «згортання» технічної системи, тобто – зменшення кількості її складових елементів без погіршення або із покращенням якості роботи.

Для аналізу було обрано конструкцію робочої камери екструдерів моделей Е-150 та Е-250 марки BRONTO, які випускаються ЗАТ «Черкасиелеватормаш» [3]. Дані моделі були обрані з огляду на їх широке розповсюдження на вітчизняному ринку, ринках країн СНД та Латинської Америки. Схему робочої камери екструдера представлено на рис. 1,а.

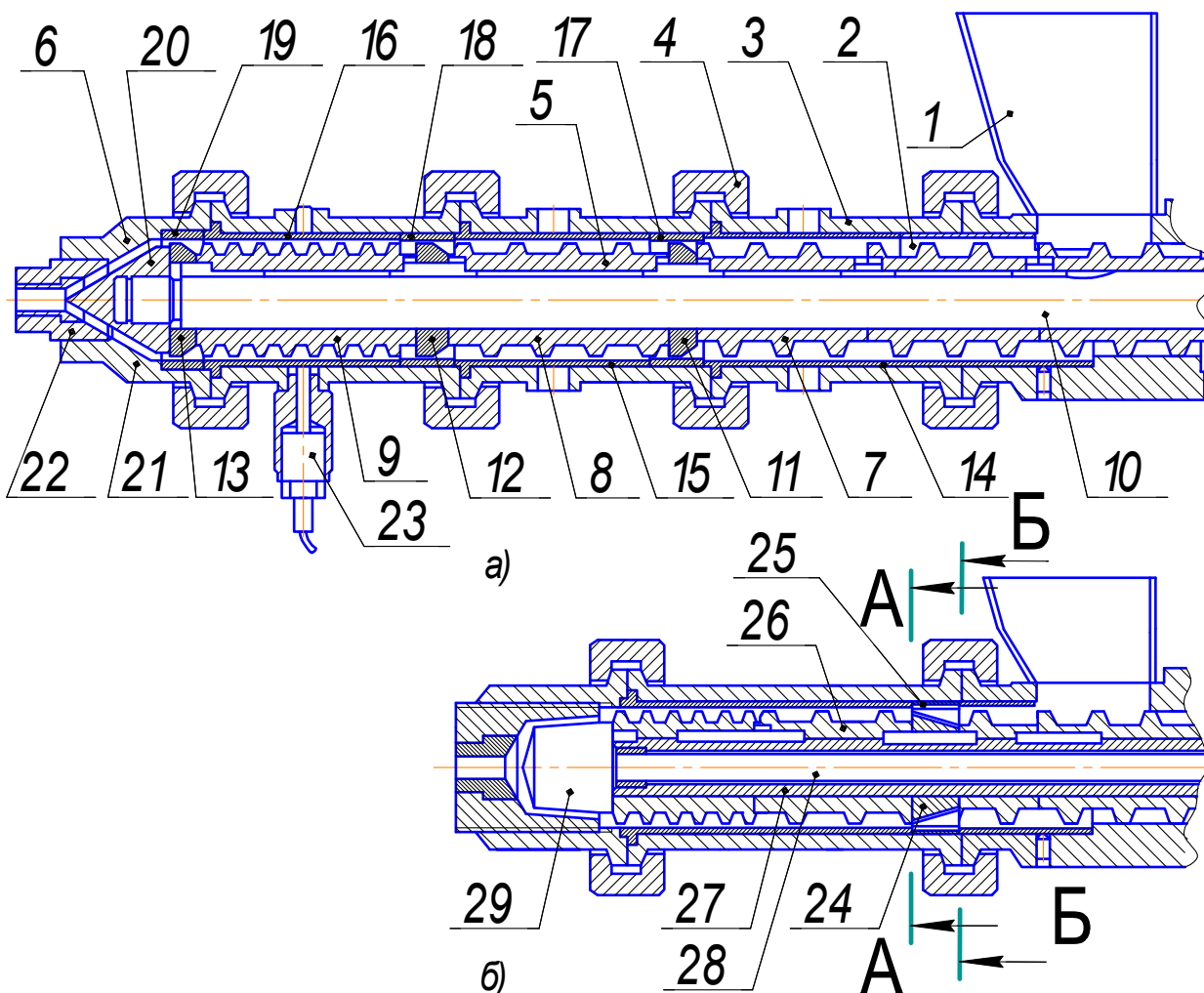


Рис. 1. Схема робочої камери екструдера BRONTO:

а) за серійною конструкцією; б) за комплексно-модернізованою конструкцією: 1 – завантажувальне вікно; 2 – робочий циліндр; 3 – корпус; 4 – хомут; 5 – шнек; 6 – філь'єра; 7, 8, 9 – гвинти; 10 – вал; 11, 12, 13 – шайби; 14, 15, 16 – гільзи; 17, 18, 19 – кільця; 20 – наконечник; 21 – матриця; 22 – отвір; 23 – термодатчик; 24 – ножовий ротор; 25 – ножовий статор; 26 – гвинт із наскрізними пазами; 27 – вал; 28 – швидкохідний вал; 29 – наконечник із малою конусністю

Аналіз проводився згідно [4]. В контексті поставленої в даній роботі мети ранжування функцій проводилось без урахування та визначення нейтральних і допоміжних функцій, як вищого так і нижчого порядків. Також не враховувалась та не обчислювались у кількісному вимірюванні: функціональна значимість, трудомісткість виготовлення та матеріаломісткість деталей, ступені неспокійності при виготовленні та експлуатації, умовна сумарна оцінка. Неврахування даних показників обумовлене самою метою роботи – визначити шляхи вдосконалення екструдерів, тоді як оперування кількісними показниками передбачає аналіз конкретних конструктивних рішень (наявність та вид кріпильних та фіксуючих поверхонь, вид зміцнювальної обробки, вибір марки матеріалу та інше), які можна рахувати другорядними.

В таблиці 2 представлено ранжування функцій елементів робочої камери екструдера. Для кожного виду функції вказується рівень її виконання щодо ефективності робочого процесу: А – адекватний (може підлягати коригуванню); Н – недостатній (підлягає обов'язковому коригуванню); З – занадто високий (надлишковий, який також може підлягати коригуванню в окремих випадках). Користуючись даними таблиці 2 можна визначити особливості роботи елементів робочої камери.

Таблиця 2

Ранжування функцій елементів робочої камери екструдера

Деталь та її елементи		Види функцій та їх сутність, (рівень виконання функції)		
		1. Основна	2. Додаткова	3. Шкідлива
1		2	3	4
Гвинт № 7	бік витка	1.1 Подавати сировину, (А)	2.1 Нагрівати сировину, (Н)	3.1 Зношування, (З)
	торець витка	1.2 Шлюзування, (А)	2.2 Нагрівати сировину, (Н)	3.2 Зношування, (З)
Шайба № 11	фаска	1.3 Подрібнювати сировину, (А)	2.3 Нагрівати сировину, (Н)	3.3 Зношування, (З) 3.4 Опір, (З)
	твірна	1.4 Нагрівати сировину, (А)	2.4 Подрібнювати сировину, (Н)	3.5 Зношування, (З) 3.6 Опір, (З)
Кільце № 17		1.5 Транспортувати сировину, (А)	2.5 Подрібнювати сировину, (Н) 2.6 Нагрівати сировину, (Н)	3.7 Зношування, (З)
Гільза № 14		1.6 Транспортувати сировину, (А)	2.7 Нагрівати сировину, (Н)	3.8 Зношування, (З)
Гвинт № 8	бік витка	1.7 Подавати сировину, (А)	2.8 Перемішувати сировину, (Н) 2.9 Нагрівати сировину, (Н)	3.9 Зношування, (З)
	торець витка	1.8 Шлюзування, (А)	2.10 Нагрівати сировину, (Н)	3.10 Зношування, (З)
Шайба № 12	фаска	1.9 Подрібнювати сировину, (А)	2.11 Нагрівати сировину, (Н)	3.11 Зношування, (З) 3.12 Опір, (А)
	твірна	1.10 Нагрівати сировину, (А)	2.12 Подрібнювати сировину, (Н)	3.13 Зношування, (З) 3.14 Опір, (А) 3.15 Відведення тепла, (З)
Кільце № 18		1.11 Транспортувати сировину, (А)	2.13 Подрібнювати сировину, (Н) 2.14 Нагрівати сировину, (Н)	3.16 Зношування, (З) 3.17 Відведення тепла, (З)
Гільза № 15		1.12 Транспортувати сировину, (А)	2.15 Нагрівати сировину, (Н)	3.18 Зношування, (З) 3.19 Відведення тепла, (З)
Гвинт № 9	бік витка	1.13 Подавати сировину, (А)	2.16 Нагрівати сировину, (Н)	3.20 Зношування, (З)
	торець витка	1.14 Шлюзування, (А)	2.17 Нагрівати сировину, (Н)	3.21 Зношування, (З) 3.22 Відведення тепла, (З)
Шайба № 13	фаска	1.15 Подрібнювати сировину, (Н)	2.18 Нагрівати сировину, (Н)	3.23 Зношування, (З) 3.24 Опір, (А)
	твірна	1.16 Нагрівати сировину, (Н)	2.19 Подрібнювати сировину, (Н)	3.25 Зношування, (З) 3.26 Опір, (А) 3.27 Відведення тепла, (З)
Кільце № 19		1.17 Транспортувати сировину, (А)	2.20 Подрібнювати сировину, (Н) 2.21 Нагрівати сировину, (Н)	3.28 Зношування, (З) 3.29 Відведення тепла, (З)
Гільза № 16		1.18 Транспортувати сировину, (А)	2.22 Нагрівати сировину, (Н)	3.30 Зношування, (З) 3.31 Відведення тепла, (З)

		1	2	3	4
Наконечник № 20	основа	1.19 Нагрівати сировину, (А)	2.23 Транспортувати сировину, (А)	3.32 Зношування (З) 3.33 Опір (З)	
	вершина	1.20 Нагрівати сировину, (Н)	2.24 Транспортувати сировину, (А)	3.34 Зношування, (З) 3.35 Опір, (З) 3.36 Відведення тепла, (З)	
Філь'єра № 6	матриця	1.21 Спресовувати сировину, (А)	2.25 Компенсувати зношування наконечника, (А)	3.37 Відведення тепла, (З)	
	отвір	1.22 Калібрувати сировину, (А)	2.26 Спресовувати сировину, (А)	3.38 Відведення тепла, (З)	

Так, загалом, гвинти виконують декілька функцій – транспортування, перемішування, нагрів, пресування. Але кожен із гвинтів має різне питоме співвідношення рівня виконання вказаних функцій: основне призначення гвинта 7 – подолання опору шайби 11; гвинт 8 перемішує сировину та долає опір шайби 12; а гвинт 9 – пресує сировину та нагріває її.

Заслугує уваги класифікація функцій шайб: шайба 11 в основному виконує попереднє подрібнення сировини; шайба 12 – кінцеве подрібнення та нагрівання; шайба 13 – тільки нагрівання.

Цікавим є аналіз роботи наконечника 20: ефективність нагріву сировини поверхнею наконечника різко знижується у напрямку від основи конуса до його вершини внаслідок суттєвого зниження значення лінійних швидкостей точок бокової поверхні через зменшення радіусів обертання. Ця ж причина обумовлює суттєво меншу ефективність нагріву сировини наконечником 20 у порівнянні із шайбою 13, не дивлячись на значно більшу металоємність наконечника 20.

Відмітною особливістю є мало-інтенсивний нагрів сировини під час її руху по всій довжині робочої камери. Тобто – через низьку ефективність нагріву необхідно задіювати значну кількість елементів конструкції – шайби 11,12,13, наконечник 20, гвинти. Це призводить і до втрати пари із зон нагріву, оскільки їх протяжність значна, а шлюзування сировиною на початкових ділянках – недостатнє. Додатково погіршує умови нагріву сировини функція, що властива деталям усієї робочої камери, – інтенсивне відведення тепла шляхом теплопровідності, причому на ділянці значної довжини.

Це ж саме стосується і перемішування сировини – задля належної ефективності процесу стає необхідним використовувати шнек 5 значної довжини. Ще одна особливість – необхідність долати значний опір між шайбами на усіх ділянках робочої камери. Це є головною причиною значної довжини гвинтів 7,8,9, як окремих деталей, а, як наслідок, – усього шнеку 5.

Загальним недоліком усіх елементів робочої камери є їх інтенсивне механічне зношування, що призводить до значних експлуатаційних витрат. Слід виділити зношування шайб № 2 та № 3: внаслідок того, що основна поверхня, призначена для нагріву сировини, – циліндрична при її зношуванні відбувається збільшення зазору, тобто – збільшується товщина шару сировини, погіршується її нагрів. З цієї причини довговічність шайб невисока, причому металоємність шайби, яка вичерпала свій ресурс використання, значно більша за об'єм металу, втрачений при зношуванні. Так, згідно [3], при зношуванні шайби на 0,5 мм на радіус проводиться заміна шайби, оскільки недопустимо погіршується нагрів сировини. Враховуючи, що при такому зношуванні утилізується близько 90 % початкового об'єму шайби, експлуатаційні витрати на виготовлення шайб слід вважати невиправдано високими.

Авторами в даній роботі за мету (за критерій досконалості конструкції екструдера) було взято максимальне зменшення довжини робочої камери, тобто – різке зменшення кількості та металоємності робочих органів екструдера (результат представлено на рис. 1,б) одночасно із забезпеченням високої якості обробки сировини.

Для того, щоб різко скоротити довжину шнеку 5 необхідно збільшити рівень виконання функцій його елементів (інтенсифікувати їх роботу). Так шайба 11, виконуючи попереднє подрібнення сировини не оптимальним способом, обумовлює необхідність гвинту 7 долати значний опір. Збільшивши рівень виконання функції 1.3 та передавши функції 1.4 та 2.4 шайбі 12 (як такій, що виконує остаточне подрібнення), можна досягти зменшення гідравлічного опору зазору шайби 11 і, як наслідок, зменшення довжини гвинта 7. З цією метою доцільно замінити пару «шайба 11 – кільце 17» ножовим подрібнювачем, який містить конічний ножовий ротор 24 та циліндричний ножовий статор 25, робочий зазор поміж різальними елементами яких зменшується у напрямку руху сировини (рис. 2,а). Завдяки використанню ножового подрібнювача можна досягти значного зменшення зусилля руйнування зерен сировини, оскільки напруження об'ємного стиснення замінюються на напруження зрізу. А завдяки передачі функцій 1.4 та 2.4 можливо досягти зменшення значного гідравлічного опору руху сировини в каналі, що створюється циліндричною поверхнею шайби 11 та кільцем 17.

Довжину гвинта 8 можна зменшити інтенсифікувавши функцію 2.8. Для підвищення ефективності перемішування сировини необхідно інтенсифікувати відносно зміщення її шарів. Сприятим цьому може виконання наскрізних пазів на витках гвинта (рис. 2,б). Крізь пази більш текуча фракція сировини буде прямувати у бік меншого гідравлічного опору, тобто у бік, протилежний до подачі. Це і призведе до більш інтенсивного відносного зміщення шарів сировини [5].

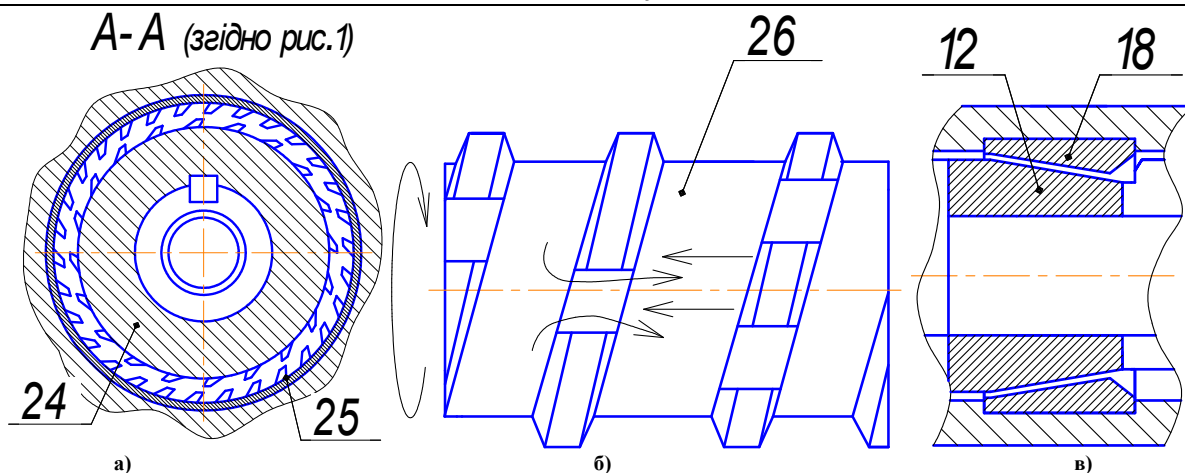


Рис. 2. Робочі органи екструдера модернізованої конструкції:
 а) вузол попереднього подрібнення із ножовим ротором 24 і ножовим статором 25; б) гвинт 26 із наскрізними пазами;
 в) вузол нагрівання із можливістю компенсації зношування шайби 12

Збільшити значення рівня виконання функції 3.13 можна забезпечивши можливість компенсації збільшення зазору між шайбою 12 і кільцем 18 внаслідок зношування. Цього можна досягти шляхом виконання усієї бокової поверхні шайби 12 та внутрішньої поверхні кільця 18 конічними, причому такими, щоб рух сировини під дією шнеку 5 відбувався від меншої основи конусу шайби 12 до його більшої основи (рис. 2,в). При такому конструктивному виконанні вказаних деталей можливе проведення наступних робіт при експлуатації: через визначену кількість робочих змін, при заданому значенні зношування бокових поверхонь шайби 12 та кільця 18, оператор при черговому розкладанні робочої камери знімає шайбу 12 після чого проводиться зішліфовування її меншого торцю на визначену величину. Внаслідок цього, після складання шнеку 5 та фіксації усіх його складових елементів гайкою (наконечником 20), відбувається зміщення положення шайби 12 відносно кільця 18 в напрямку зменшення робочого зазору між ними. Завдяки таким конструктивним змінам можливо досягти підвищення фактичної довговічності шайби 12 у декілька разів, що буде визначатись висотою зрізаного конусу.

Прискорити нагрів сировини можна забезпечивши інтенсивний механічний вплив (силами тертя) на сировину на короткій ділянці робочої камери, тобто – із використанням обмеженої кількості елементів робочої камери, але – при рівні виконанні їх функцій (3). З цієї метою функції 1.4, 1.10, 1.16, 2.18 доцільно передати наконечнику 20. В такому разі підвищення рівня виконання функцій 1.19, 1.20 повинно бути значним. Забезпечити його можна двома шляхами: підвищити лінійну швидкість точок поверхні наконечника та підвищити їх кутову швидкість. Перший напрямок забезпечується виконанням наконечника 20 у вигляді ступінчастого конусу 29 (рис. 1,б). В такому разі ефективність нагріву сировини поверхнею конуса збільшиться у 2–3 рази, що дасть змогу позбутися функцій 1.16, 2.18, та їх носія – шайби 13. Другий напрямок забезпечується збільшенням частоти обертання наконечника 20 по відношенню до шнеку 5. Цього можна досягти, застосувавши кінематичну схему, подібну до кінематичної схеми м'ясорізального вовчка К6-ФВП-160 та ін. В ній передбачено роздільний привод шнеку 5 та наконечника 29, завдяки встановленню гвинтів на пустотілий вал 27, а наконечника 20 – на швидкохідний вал 28. Додатково використовуються підшипникові опори 30 та ведений шків 31, який має діаметр, менший за діаметр веденого шківа 32, з'єднаного із пустотілим валом 27 (рис. 3). Внаслідок цього стає можливим збільшити частоту обертання наконечника 20 у 2 та більше разів по відношенню до шнеку 5, інтенсифікувавши нагрів сировини. Стає можливим позбутися функцій 1.10, 2.11.

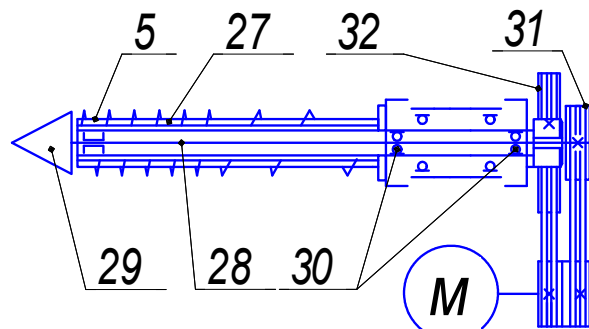


Рис. 3. Кінематична схеми екструдера із роздільним приводом шнеку 5 та швидкохідного валу 28

Для того, щоб позбутися шайби 12 залишається передати функцію 2.12 іншому елементу. Доцільно обрати для цього шайбу 11, як таку, що вже виконує функцію 1.3 (попереднє подрібнення). Але слід зазначити, що раціональним було б забезпечення виконання шайбою 11 функції 2.12 без надання їй додаткових конструктивних елементів та без збільшення опору подачі гвинтом 7. Цього можна досягти, використавши для попереднього та для кінцевого подрібнення принцип роботи конусної дробарки. Тобто замінивши використання шайби 11 або ножового подрібнювача на використання зрізаного конусу 36, ексцентрично розташованого по відношенню до шнеку 5 (рис. 4,а), або криволінійних скребків 37 (рис. 4,б). В такому разі можливе ефективне виконання попереднього та кінцевого подрібнення одним робочим органом простої конструкції, при чому – при створенні малого опору подачі сировини гвинтом 7.

Значне зниження ефективності нагріву сировини відбувається внаслідок наявності функцій 3.15,

3.17, 3.19, 3.22, 3.27, 3.29, 3.31, 3.36, 3.37, 3.38, що відображує відведення тепла по всій довжині робочої камери. Втрати тепла йдуть як на відведення у оточуюче середовище, так і на нагрів металоємних гільз, корпусів та гвинтів. Знизити рівень виконання вказаних функцій або забезпечити підвищення ефективності нагріву сировини можливо шляхом використання теплоізоляції грюючих поверхонь робочої камери. Але забезпечення теплоізоляції усіх поверхонь, що контактують із нагрітою сировиною, за серійною конструкцією ускладнене. Використання з даною метою елементів на зразок теплоізолюючих прокладок не вирішує проблему втрат тепла на нагрів гвинтів та гільз, а напилювання теплоізолюючого матеріалу на поверхні, що контактують із сировиною, економічно не вигідне через значну протяжність зони нагріву та через складну геометричну форму її поверхонь. Ефективне вирішення даної проблемної задачі можливе в контексті використання наконечника 20, який приводиться в рух за кінематичною схемою, що зображена на рис. 3.

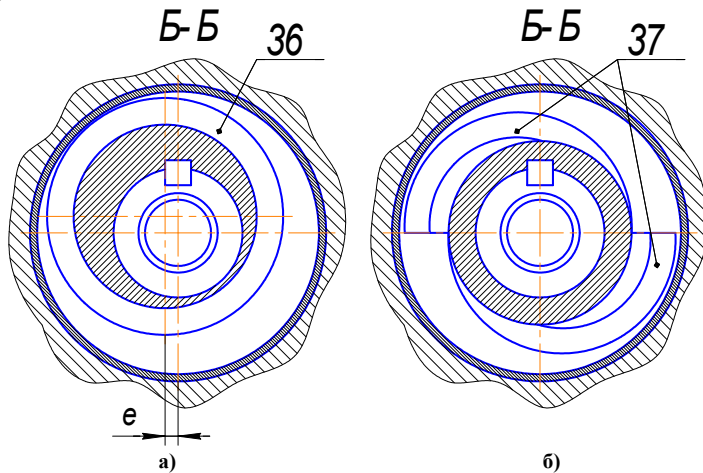


Рис. 4. Вузол екструдера для подрібнення сировини, що працює за принципом конусного млина: а) із ексцентрично розташованим конусом 36; б) із криволінійними скребками 37

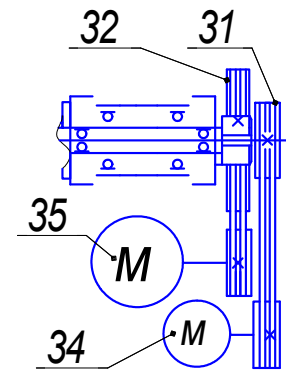


Рис. 5. Кінематична схема екструдера із індивідуальними приводами 34 і 35 шнеку 5 та швидкохідного валу 28

В такому разі, як вказувалось вище, поступовий нагрів на ділянці значної довжини замінюється на інтенсивний нагрів в локальній зоні. Таким чином, процес нагрівання сировини концентрується в робочому просторі між наконечником 20 та філь'єрою 6. В контексті розглядуваної задачі це дає змогу забезпечити теплоізоляцію нагрівальних поверхонь. З цією метою на зовнішню поверхню наконечника 20 та внутрішню поверхню філь'єри 6 доцільно нанести захисне металокерамічне покриття, наприклад – оксиду алюмінію Al_2O_3 , яке, як відомо, має коефіцієнт теплопровідності $20 \text{ Вт/ (м}^\circ\text{К)}$, тоді як сталь має коефіцієнт теплопровідності порядку $70 \text{ Вт/ (м}^\circ\text{К)}$. До того ж, таке захисне покриття володіє високою зносостійкістю, що в решті обумовлює значний економічний ефект від його використання. Концентрація зони нагріву сировини на ділянці пресування дозволяє уникнути втрат випаровуваної вологи, оскільки зона нагріву відокремлена від завантажувального вікна значним об'ємом підпресованої сировини.

Запропонована даній роботі кінематична схема (рис. 5) дозволяє надати екструдеру можливість автоматизованого переналагодження при переході на інший вид сировини. Це відбувається завдяки використанню окремих електродвигунів – двигуна 34, що приводить у рух шнек 5, та двигуна 35, що приводить у рух швидкохідний вал 28. За серійною конструкцією при переході на інший вид сировини задля підвищення температури слід замінити ведений шків на шків меншого діаметру та збільшити опір філь'єри шляхом заміни отвору 22 або зменшення зазору між філь'єрою 6 та наконечником 20. Але в такому разі одночасно із підвищенням температури нагріву знизиться продуктивність екструдера або занадто збільшиться енергоємність роботи. Причому переналагодження відбувається не механізовано, що викликає тривале простоювання машини. Також в такому разі неможливо адекватно реагувати на зміну температури середовища в приміщенні, де працює екструдер (при різних порах року), тоді як відомо [1], що залежно від виду сировини значення оптимальної температури робочого процесу коливається від 140° до 150° C . Застосування двох окремих електродвигунів 34 і 35 для приводу двох ведених шківів 32 і 31 (рис. 5) та частотного перетворювача в їх мережі живлення дозволяє вирішити обидві проблемні задачі: автоматизовано проводити переналагодження при переході на інший вид сировини та забезпечувати оптимальну температуру процесу незалежно від температури оточуючого середовища шляхом зміни частоти обертання наконечника 20 по відношенню до шнеку 5.

Запропоновані зміни в конструкції робочої камери екструдера дозволяють значно скоротити її довжину (рис. 1,б), обумовлюючи при цьому значний економічний ефект в капітальних та експлуатаційних витратах.

Суттєве зменшення довжини робочої камери значно знижує навантаження на підшипникові опори шпиндельного вузла внаслідок зменшення як ваги шнеку 5, так і відстані між центром його ваги та передньою підшипниковою опорою. Це дозволяє [6] суттєво скоротити відстань між підшипниковими опорами шпиндельних вузлів екструдерів. Цим знижується вартість шпиндельного вузла та зменшується габаритна площа екструдера.

Скорочення довжини шпindelного вузла для екструдерів Е-500 та Е-1000 дозволяє вирішити додаткову задачу – суттєво спростити конструкцію живильника: замінити живильний шнек і мотор-редуктор на віброток або зменшити удвічі довжину живильного шнеку та позбутися його передньої підшипникової опори.

Висновки

1. Запропоновано комплексний критерій оцінки ефективності конструкцій екструдерів. За розрахованими значеннями, найбільш ефективними є одно та двошнекові екструдери, причому значення критерію для одношнекового екструдера 1,92 вище за значення 1,85 для двошнекового екструдера. Таким чином, конструкцію одношнекового екструдера було обрано для подальшого аналізу та вдосконалення.

2. Проведено функціонально– вартісний аналіз робочої камери одношнекового екструдера. За отриманими результатами сформульовано проблемні задачі та запропоновані шляхи їх розв'язку.

3. Розроблені напрямки вдосконалення екструдерів дозволяють комплексно покращити цілу низку базових характеристик даних машин – технологічних, експлуатаційних, конструктивних, а саме:

- 1) значно зменшити кількість деталей робочої камери (гвинтів, гільз, корпусів та хомутів);
- 2) суттєво зменшити тривалість операції встановлення-зняття шнеку;
- 3) підвищити коефіцієнт використання матеріалу шайб;
- 4) підвищити довговічність наконечника;
- 5) підвищити економічну ефективність використання напилювання захисних покриттів на поверхні тертя;

6) усунути втрати пари із зони нагріву сировини;

7) забезпечити можливість механізованого переналагоджування інтенсивності нагріву для різних видів сировини;

8) забезпечити можливість ефективно проводити робочий процес незалежно від зміни температури у робочому приміщенні;

9) суттєво зменшити використовувану виробничу площу;

10) спростити конструкцію живильника.

Цим самим забезпечується суттєве зменшення капіталовкладень та експлуатаційних витрат при використанні екструдерів.

4. Запропоновані та обґрунтовані технічні рішення захищені поданими 5 заявками на видачу патентів України на винахід. Вони з успіхом можуть бути використані при модернізації екструдерів вітчизняних та закордонних моделей.

5. З аналізу отриманих результатів можливо зробити (на погляд авторів достатньо логічний та обґрунтований) висновок про те, що подальший розвиток та вдосконалення екструзійних технологій та обладнання, повинен спиратися на вирішення таких наукових задач:

1) теоретичні та експериментальні дослідження залежності параметрів та результатів процесу подрібнення від схеми та конструкції вузла подрібнення для різних видів та вологості сировини;

2) розробка математичних моделей та чисельне моделювання і оптимізація процесів перемішування сировини;

3) експериментальні дослідження чинників, що визначають інтенсивність зношування робочих органів та обґрунтований вибір найбільш ефективних методів підвищення їх довговічності;

4) теоретичні та експериментальні дослідження динаміки нагріву сировини в різних технологічних та технічних умовах екструзії.

Література

1. Ковбаса В.М. Наукове обґрунтування високотемпературної екструзії природних біополімерів та розроблення раціональних технологій харчо концентратів і хлібопродуктів підвищеної якості: автореф. дис. на здобуття наук. ступеню д-ра техн. наук: 05.18.01 / Ковбаса Володимир Миколайович. – Київ, УДУХТ, 1998. – 46 с.

2. Топольник В. Г. Количественная оценка качества оборудования общественного питания / В. Г. Топольник. – Донецк : Кассіопея, 1998. – 196 с.

3. Экструдер для зерна Е-1000 BRONTO: руководство по эксплуатации. – Черкасы : ЧеркасыЭлеваторМаш, 2010. – 31 с.

4. Основные положения методики проведения функционально-стоимостного анализа. Методические рекомендации / [В. М. Герасимов, В. С. Калиш, М. Г. Карпунин, А. М. Кузьмин, С. С. Литвин]. – М.: МП Информ-ФСА, 1991. – 22 с.

5. Максимов Д. А. Конструктивные особенности современных волчков / Д. А. Максимов, О. И. Якушев // М'ясна індустрія. – 2007. – № 11. – С. 42.

6. Соколов В. И. Основы расчета и конструирования деталей и узлов пищевого оборудования / Соколов В. И. – М. : Машиностроение, 1970. – 422 с.

Надійшла 15.1.2011 р.

ТЕОРИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ: НОВЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ НАРАБОТКИ НА МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ОТКАЗ. СООБЩЕНИЕ 1

В сообщении 1 описана сущность запатентованного в Украине метода прогнозирования и определения времени наработки средства измерений на метрологический отказ. В основу данного метода положена синтезированная вероятностно-физическая модель метрологических отказов средств измерений, описываемая гибкой многопараметровой функцией распределения Кондратова – Вейбулла.

In the message 1 the essence of the method of forecasting and definitions of time of an operating time of a measuring apparatus on metrological refusal is described, which are patented in Ukraine. The synthesised is likelihood-physical model of metrological refusals of the measuring devises is put in a basis of the given method. It described by flexible multiparameter Kondratov – Weibull function of distribution.

Ключевые слова: метрологическая надежность, прогнозирование, время наработки на отказ.

Введение

Впервые теория нелинейного регрессионного анализа случайных процессов, описываемых гибкими многопараметровыми функциями распределения (ФР) и применительно к задачам метрологической надежности (МН) средств измерений (СИ), нашла свое развитие и становление в работе [1].

В частности показано, что в теории МН корректно использовать понятия «приближение многопараметровых функций распределения» и «параметрическое приближение», поскольку они более четко отражают сущность предложенной совокупности приемов по прогнозированию и определению времени наработки на МО. В чистом виде аппроксимация по ряду точек ($n > 3$) не используется, а вид аппроксимирующей функции не меняется.

Сформулирована статистическая 3ξ -гипотеза проф. Кондратова, на основе которой разработан T -метод динамической нелинейной регрессии.

Установлен $\Delta\xi$ -критерий согласия, согласно которому в задачах прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ (МО) проверочной статистикой является равенство нулю разности теоретически и практически полученных средних значений погрешности в моменты времени проведения проверок, обеспечивающее проведение прогнозной кривой через три значения погрешностей, полученных в моменты времени t_{x0} , t_{xi} и t_{xi+1} .

Сформулирован вариационный принцип применительно к метрологической задаче прогнозирования и определения времени наработки средства измерений (СИ) на МО, благодаря которому устанавливаются истинные законы изучаемого явления – явления МО СИ.

В теорию МН введены такие понятия, как: «явление МО», «нелинейная регрессия» и «параметрическое приближение функций»; даны соответствующие определения.

Приведено несколько определений T -метода динамической регрессии. Отмечено, что для успешного решения задач МН каждое СИ должно содержать документ, представляющий собой индивидуальный графический портрет вероятностно-физической модели (ВФ-модели) МО СИ с использованием многопараметровых функций распределения (ФР) [2]. Такой документ представляется в объединенной системе шкал, – со шкалами «вероятность метрологического отказа P_{MO} » и «нормируемая погрешность ξ_x » и отдельных или совмещенных шкал, – «интервальная шкала времени t_x » и «шкала календарного времени».

Утверждается, что генерация полного набора альтернативных сценариев вида “что, если ...” может помочь метрологам определить эффективную стратегию создания и эксплуатации высоконадежных СИ.

В настоящей статье рассматривается сущность T -метода динамической нелинейной регрессии. Описана последовательность проведения операций прогнозирования и определения времени наработки СИ на МО. Установлены особенности выбора времени проведения первой проверки и т.д.

Объект исследований – процесс динамического прогнозирования и определения времени наработки СИ на МО.

Предмет исследований – процесс прогнозирования и определения времени наработки на МО T -методом динамической нелинейной регрессии.

Целью работы является ознакомление ученых и специалистов с сущностью нового метода прогнозирования и определения времени наработки СИ на МО – T -метода динамической нелинейной регрессии.

Результаты исследований

Прогнозирование и определение времени наработки на метрологический отказ по результатам первой проверки

В установленный момент времени t_{x1} , например, 12 год. 00 мин. 07.11.2012 года, – т.е. через 2,5

года от начала эксплуатации СИ, проводится первая запланированная поверка СИ (см. рис. 1, отметка t_{x1} на шкале времени).

С помощью поверяемого СИ многократно измеряется образцовая ФВ x_0 , а полученные значения статистически обрабатываются по уравнению величин:

$$\xi_{x1} = \overline{\xi_{xi}(t_{xi})} |_{\text{при } i=1} = \overline{\xi_{x1}(t_{x1})} = \frac{n^0}{n} \sum_{i=1}^{i=n} \xi_{x1i}(t_{xi}) = \frac{n^0}{x_0 n} \sum_{i=1}^{i=n} \Delta_{01i} = \overline{\Delta_{01}} / x_0, \quad (1)$$

где $\overline{\xi_{x1}(t_{x1})}$ – средняя по значению относительная погрешность результата многократных измерений; $\overline{\Delta_{01}}$ – средняя по значениям абсолютная погрешность результатов измерений при доверительной вероятности $P_{\xi 1}$; Δ_{01i} и $\xi_{x1i}(t_{x1})$ – i -я абсолютная и относительная погрешности измерения; $n^0 = 1$.

Отметим, что, при использовании в качестве нормируемой абсолютной погрешности Δ_{01i} , средняя по значению погрешность результата многократных измерений определяется согласно уравнению величин

$$\xi_{x1} = \frac{n^0}{n} \sum_{i=1}^{i=n} \Delta_{01i} = \overline{\Delta_{01}}.$$

Одновременно с полученным значением нормированной погрешности (1) определяются и запоминаются значения верхней и нижней границ полосы неопределенности при заданных значениях доверительной вероятности $P_{\xi 1}$ и коэффициента запаса k_{31} . Последний выбирается в пределах $1 \leq k_{31} \leq 1,42$ в зависимости от закона распределения случайной составляющей погрешности. Индекс «1» указывает на значение данного коэффициента при первой поверке.

Отметим, что от выбора значения k_{31} зависит выбор первого и других текущих интервалов времени проверок. Это необходимо учитывать при решении задач уменьшения или оптимизации количества проверок СИ при тех же затратах.

Верхняя ($\Delta \xi_{1B}$) и нижняя ($\Delta \xi_{1H}$) полуширина полосы неопределенности относительной погрешности ξ_{x1} на момент времени t_{x1} определяется согласно уравнениям величин

$$\Delta \xi_{1B} = k_{31} \xi_{\sigma B1} = k_{31} \sigma_{B1} [\Delta_{01}] / x_0 \quad (2)$$

и

$$\Delta \xi_{1H} = k_{31} \xi_{\sigma H1} = k_{31} \sigma_{H1} [\Delta_{01}] / x_0, \quad (3)$$

где $\xi_{\sigma B1} = \sigma_{B1} [\Delta_{01}] / x_0$ и $\xi_{\sigma H1} = \sigma_{H1} [\Delta_{01}] / x_0$ – верхнее и нижнее относительные среднеквадратические отклонения результатов измерений в момент времени t_{x1} ;

$$\sigma_{B1} [\Delta_{01}] = + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left((x_{0i} - \overline{x_{01}})_{>0} \right)^2}{n(n - n^0)}}, \quad (4)$$

где $\overline{x_{01}}$ – среднее значение результатов измерений нормированной по значению ФВ x_0 ,

– при положительном знаке отклонений $x_{0i} - \overline{x_{01}}$;

$$\sigma_{H1} [\Delta_{01}] = + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left((x_{0i} - \overline{x_{01}})_{<0} \right)^2}{n(n - n^0)}}; \quad (5)$$

– при отрицательном знаке отклонений $x_{0i} - \overline{x_{01}}$.

В (4) и (5) σ_{B1} и σ_{H1} – верхнее и нижнее среднеквадратические отклонения результатов измерений, полученных в момент времени t_{x1} . На это указывает нижний индекс «1».

Затем, при заданных прогнозных значениях времени наработки на МО $T_{HO} = 30$ лет и параметра формы $k_{\phi} = 6$ (см. рис. 1, пунктирная кривая 1), определяется возможное (теоретическое) значение погрешности в момент времени t_{x1} согласно уравнению измерений

$$\xi_{T1} = \xi_T(t_{x1}) = S_{\xi} \cdot \left(\frac{t_{x1}}{T_{HO}} \right)^{k_{\phi} - k_{\phi}^0} \cdot \exp \left(- \left(\frac{t_{x1}}{T_{HO}} \right)^{k_{\phi} - k_{\phi}^0} \right) + \xi_{x0}, \quad (6)$$

где $k_{\phi}^0 = 1$; $S_{\xi} = e \cdot (\xi_{нд} - \xi_{x0}) = e \cdot \xi_{нд} \cdot (1 - \xi_{x0} / \xi_{нд}) = e \cdot \xi_{нд} \cdot (1 - 1/k_{мз})$ – параметр масштаба (или параметр чувствительности); e – действительное число Эйлера ($e = 2,71828182\dots$); $\xi_{x0} = \overline{\xi_{x0}}(t_{x0})$ – смещение функции распределения, равное по значению средней, абсолютной, приведенной или относительной погрешности результата многократных измерений нормированной по значению ФВ x_0 в момент времени t_{x0} ; $\xi_{нд}$ – нормированная по значению доверительная граница нормируемой погрешности результата измерения; $k_{мз}$ – коэффициент метрологического запаса; t_{x1} – интервальное время проведения первой поверки, в годах; $k_{\phi}^0 = 1$.

Следует отметить, что при расчетах в (6) используется не календарное, а интервальное время $t_{x1} = 2,5$ года.

Следующей операцией является определение (и запоминание) знака и числового значения разницы $\Delta \xi_{xt1}$ практически (индекс «х») и теоретически (индекс «т») полученных погрешностей результатов измерений в момент времени t_{x1} по уравнению величин

$$\Delta \xi_{xt1} = \overline{\xi_{x1}}(t_{x1}) - \xi_{т1}(t_{x1}). \quad (7)$$

Во всех поверках, кроме первой, проводятся две, повторяемые одна за другой, операции по уточнению прогнозных значений параметров ФР с целью проведения кривой прогнозной ФР по новому пути: вначале осуществляется операция подбора значения параметра формы k_{ϕ} , а затем – параметра сдвига или времени $T_{но}$ наработки на МО. Эти операции повторяются до выполнения $\Delta \xi$ -критерия согласия проф. Кондратова [1], т.е. до момента времени достижения равенства нулю значения разности (7). При достижении данной цели подтверждается гипотеза о согласии (равенстве) практически и теоретически полученных значений погрешностей в моменты времени t_{xi} . Гипотеза о согласии отвергается, если значение разности практически и теоретически полученных значений погрешностей находятся за пределами области принятия решения, т.е. при $\xi_{xi} > |\pm \xi_{нд}|$ или при $\Delta \xi_{xt1} \neq 0$.

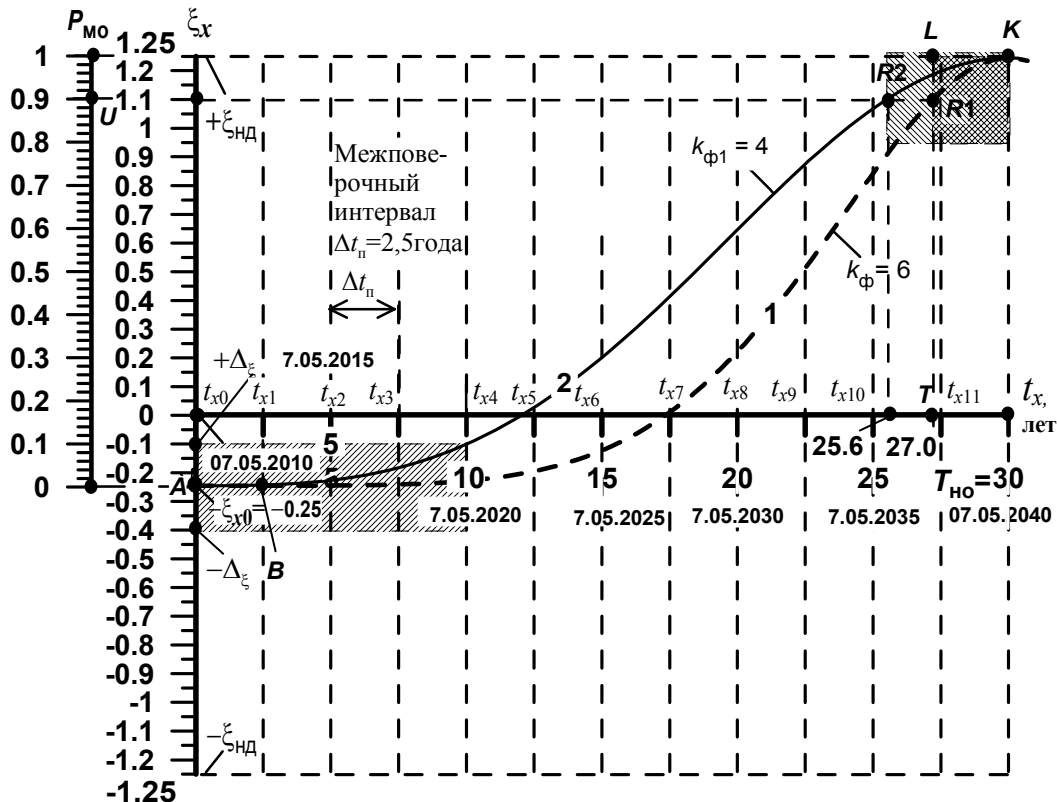


Рис. 1. Графический портрет ВФ-модели МО СИ, поясняющий суть метода определения времени наработки на МО (1-я поверка)

При первой поверке проводится только уточнение значения параметра формы k_{ϕ} , а значением параметра сдвига (или временем $T_{но}$ наработки на МО) обычно не варьируют. По результатам первой поверки получают такие значения параметра формы k_{ϕ} , при которых кривая ФР пройдет через точку B, соответствующую полученному значению погрешности (рис. 1, точка B на сплошной кривой).

Практически подбор параметров ФР осуществляет графоаналитическим методом, т.е. с использованием аналитических расчетов и графических построений. При первой поверке, путем подбора значений параметра формы ФР, изменяют значение $k_{\phi} = 6$ до, например, $k_{\phi 1} = 4$, при котором значение разницы $\Delta \xi_{x1}(7)$ погрешностей станет равным нулю. Это достигается при условии прохождения прогнозной кривой через точку В, соответствующую практически полученному значению погрешности в момент времени t_{x1} , т.е. при

$$\{\xi_{x1}\} = \{\xi_{T1}\} \tag{8}$$

или

$$\xi_{x1} = S_{\xi} \cdot \left(\frac{t_{x1}}{T_{\text{но1}}} \right)^{k_{\phi 1} - k_{\phi}^0} \exp \left[- \left(\frac{t_{x1}}{T_{\text{но1}}} \right)^{k_{\phi 1} - k_{\phi}^0} \right] + \xi_{x0}, \tag{9}$$

где $T_{\text{но1}} = T_{\text{но}} = 30$ лет.

Если за счет изменения параметра формы удалось обеспечить равенство (8) при прогнозном (первоначальном) значении времени наработки на МО ($T_{\text{но1}} = T_{\text{но}} = 30$ лет), то далее это время не уточняется. При полученных значениях параметров $k_{\phi 1} = 4$ и $T_{\text{но1}} = 30$ лет на графическом портрете ВФ-модели МО проводится (строится) прогнозная кривая ФР, с новыми значениями параметров. Она проходит через точку А, соответствующую погрешности $\xi_{x0}(t_{x0}) = -0,25$, рабочую точку В, соответствующую погрешности $\xi_{x1}(t_{x1}) = -0,24 \pm 0,15$, и заданную точку К, соответствующую моменту времени $T_{\text{но1}} = T_{\text{но}} = 30$ лет (см. рис. 1, непрерывная кривая 2). Как видно из рис. 1, точка К является точкой касания кривой 2 с прямой, характеризующей верхнее граничное значение нормируемой погрешности СИ, поскольку $T_{\text{но1}} = 30$ лет.

В то же время базовая кривая ФР с прогнозными значениями параметров не исключается, а используется для сравнения и наблюдения динамики прогнозов.

Описанная совокупность операций обеспечивает первое приближение ФР к базовой (теоретической). Новая прогнозная кривая, соответствующая состоянию МН СИ на момент времени первой поверки, дает возможность наглядно оценить тенденцию изменения и положения прогнозной кривой со временем при установленных значениях параметров ФР. В частности, например, по кривой 2, приведенной на графическом портрете, видно, что в результате изменения коэффициента формы наступление МО произойдет не после 27,0 лет использования (эксплуатации) СИ, а по истечении 25,6 года, т.е. с 9.12.2035 года (см. рис. 1, точку R2 на кривой 2, заштрихованную область неопределенности и календарное время).

Полученные данные и графики записываются на бумажном и электронном носителях, т.е. документируются с целью их использования при проведении второй поверки СИ. На момент времени окончания первой поверки графический портрет ВФ-модели МО СИ будет содержать уже две ФР, как показано на рис. 1.

Прогнозирование и определение времени наработки на метрологический отказ по результатам второй поверки

Вторая (текущая) поверка проводится 07.05.2015 года в 12 час. 00 мин. (рис. 2, отметка t_{x2} на шкале времени). Аналитически данный момент времени описывается уравнением числовых значений вида

$$\{t_{x2}\} = \{t_{xi}\} |_{\text{при } i=2} = (\{t_{x(i-1)}\} - \{t_{pi}\}) |_{\text{при } i=2} = \{t_{x1}\} + \{\Delta t_{\text{п}}\}. \tag{10}$$

Согласно (10), момент времени t_{x2} отличается от t_{x1} на интервал времени $\Delta t_{\text{п}}$. С учетом погрешностей $+\Delta t_{\text{п2в}}$, $-\Delta t_{\text{п2н}}$, верхнее и нижнее значения полуширины полосы неопределенности интервала времени поверки определяются согласно уравнениям числовых значений

$$\{\Delta t_{\text{п2в}}\} = \{\Delta t_{\text{п2}}\} + \{\Delta t_{\text{п2в}}\} \tag{11}$$

и

$$\{\Delta t_{\text{п2н}}\} = \{\Delta t_{\text{п2}}\} - \{\Delta t_{\text{п2н}}\}. \tag{12}$$

В установленный календарный момент времени t_{x2} вновь многократно измеряется образцовая ФВ x_0 . Полученные результаты статистически обрабатываются, т.е. вначале определяется и запоминается среднее значение и знак относительной погрешности

$$\xi_{x2} = \overline{\xi_{xi}(t_{xi})} |_{\text{при } i=2} = \overline{\xi_{x2}(t_{x2})} = \frac{n^0}{n} \sum_{i=1}^{i=n} \xi_{x2i}(t_{xi}) = \frac{n^0}{x_0 n} \sum_{i=1}^{i=n} \Delta_{o2i} = \overline{\Delta_{o2}} / x_0, \tag{13}$$

где $\overline{\Delta_{o2}}$ – средняя по значению абсолютная погрешность результатов многократных измерений с

доверительной вероятностью P_{ξ_2} ; $\bar{\xi}_{x_2}(t_{x_2})$ – средняя по значению относительная погрешность результата измерения; $\Delta_{o_{2i}}$ и $\xi_{x_{2i}}(t_{x_2})$ – i -е абсолютная и относительная погрешности измерений; $n^0 = 1$.

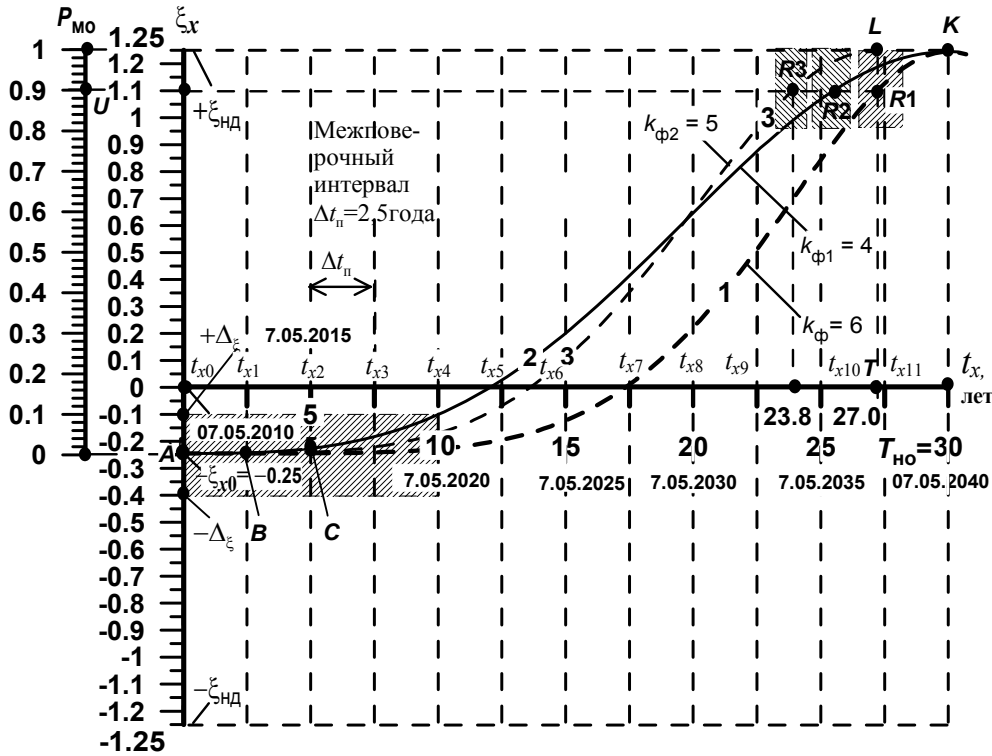


Рис. 2. Графический портрет ВФ-модели МО СИ, поясняющий суть метода определения времени наработки на МО (после первых двух проверок)

Одновременно в момент времени t_{x_2} определяются и запоминаются значения верхней и нижней полуширины полосы неопределенности результатов измерений при заданных значениях доверительной вероятности P_{ξ_2} и коэффициента запаса k_{32} . Последний выбирается, как и k_{31} , в пределах $1 \leq k_{32} \leq 1,42$.

Верхняя ($\Delta \xi_{2B}$) и нижняя ($\Delta \xi_{2H}$) полуширина полосы неопределенности погрешности ξ_{x_2} на момент времени t_{x_2} определяются согласно уравнениям величин

$$\Delta \xi_{2B} = k_{32} \sigma_{B2} [\Delta_{o2}] / x_0 = k_{32} \xi_{\sigma B2} \tag{14}$$

и

$$\Delta \xi_{2H} = k_{32} \sigma_{H2} [\Delta_{o2}] / x_0 = k_{32} \xi_{\sigma H2}, \tag{15}$$

где σ_{B2} и σ_{H2} – верхнее и нижнее среднеквадратические отклонения результатов измерений на календарный момент времени t_{x_2} ; $\xi_{\sigma B2} = \sigma_{B2} [\Delta_{o2}] / x_0$ и $\xi_{\sigma H2} = \sigma_{H2} [\Delta_{o2}] / x_0$ – верхнее и нижнее относительные среднеквадратические отклонения результатов измерений на тот же момент времени;

$$\sigma_{B2} [\Delta_{o2}] = + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left((x_{oi} - \bar{x}_{o2})_{>0} \right)^2}{n(n - n^0)}} = \sigma_{B2}(t_{x_2}) \tag{16}$$

– среднеквадратическое отклонение результатов измерений при положительном знаке отклонений $x_{oi} - x_{o2}$;

$$\sigma_{H2} [\Delta_{o2}] = + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left((x_{oi} - \bar{x}_{o2})_{<0} \right)^2}{n(n - n^0)}} = \sigma_{H2}(t_{x_2}); \tag{17}$$

– среднеквадратическое отклонение результатов измерений при отрицательном знаке отклонений $x_{oi} - x_{o2}$; \bar{x}_{o2} – среднее значение результата измерений образцовой ФВ x_0 .

Пояснения по учету знака переменной составляющей ФР Кондратова – Вейбулла

Погрешность ξ_{x_2} (13) может принимать разные случайные значения и знаки. При определении

времени наработки на МО возможны случаи, когда приращение погрешности, полученной в момент времени t_{x0} , и погрешностей, полученных в момент времени t_{x1} и t_{x2} , имеют разные знаки. Поэтому, начиная с момента времени t_{x2} проведения второй поверки, определяются и запоминаются значения и знаки приращений погрешностей

$$\Delta \xi_{x10} = \overline{\xi_{x1}(t_{x1})} - \overline{\xi_{x0}(t_{x0})}, \quad (18)$$

$$\Delta \xi_{x20} = \overline{\xi_{x2}(t_{x2})} - \overline{\xi_{x0}(t_{x0})} \quad (19)$$

и

$$\Delta \xi_{x21} = \overline{\xi_{x2}(t_{x2})} - \overline{\xi_{x1}(t_{x1})}, \quad (20)$$

полученных в моменты времени t_{x0} , t_{x1} и t_{x2} поверок, последовательно осуществляемых одна за другой.

Полученные значения анализируются с целью определения знака переменной составляющей ФР. Знак переменной составляющей ФР не изменяется при следующих знаках приращений (18), (19) и (20) и соответствующих им условиях:

$$+ \Delta \xi_{x10}, + \Delta \xi_{x20}, + \Delta \xi_{x21}, \text{ при условии, что } \Delta \xi_{x20} \geq \Delta \xi_{x10}; \quad (21)$$

$$+ \Delta \xi_{x10}, + \Delta \xi_{x20}, - \Delta \xi_{x21}, \text{ при условии, что } \Delta \xi_{x20} \leq \Delta \xi_{x10} \quad (22)$$

и

$$- \Delta \xi_{x10}, + \Delta \xi_{x20}, + \Delta \xi_{x21}, \text{ при условии, что } \Delta \xi_{x21} \geq | - \Delta \xi_{x10} |. \quad (23)$$

Причем в двух последних случаях учитываются только погрешности $\overline{\xi_{x0}(t_{x0})}$ и $\overline{\xi_{x2}(t_{x2})}$, а погрешность $\overline{\xi_{x1}(t_{x1})}$ считается условным промахом¹.

Знак переменной (зависимой от времени) составляющей ФР изменяется на противоположный в следующих случаях:

$$- \Delta \xi_{x10}, - \Delta \xi_{x20}, - \Delta \xi_{x21}, \text{ при условии, что } | - \Delta \xi_{x20} | \geq | - \Delta \xi_{x10} |; \quad (24)$$

$$- \Delta \xi_{x10}, - \Delta \xi_{x20}, + \Delta \xi_{x21}; \text{ при условии, что } | - \Delta \xi_{x20} | \leq | - \Delta \xi_{x10} | \quad (25)$$

и

$$+ \Delta \xi_{x10}, - \Delta \xi_{x20}, - \Delta \xi_{x21} \text{ при условии, что } (- \Delta \xi_{x10}) - | - \Delta \xi_{x20} | \leq 0. \quad (26)$$

При этом в двух последних случаях используются только погрешности $\overline{\xi_{x0}(t_{x0})}$ и $\overline{\xi_{x2}(t_{x2})}$, а погрешность $\overline{\xi_{x1}(t_{x1})}$ также считается условным промахом.

Допустим, что знаки приращений (18), (19) и (20) соответствуют условию (21). Тогда знак переменной составляющей ФР не изменяется, т.е. остается тот же, что и при предыдущей поверке.

После измерения среднего значения и определения знака погрешности $\xi_{x2} = \overline{\xi_{xi}(t_{xi})} |_{\text{при } i=2}$ в момент времени t_{x2} , определяется и запоминается прогнозное значение погрешности ξ_{T2} по прогнозной ФР с параметрами, полученными при проведении предыдущей поверки, согласно уравнению измерений

$$\xi_{T2} = S_{\xi} \cdot \left(\frac{t_{x2}}{T_{\text{но1}}} \right)^{k_{\phi1} - k_{\phi1}^0} \exp \left(- \left(\frac{t_{x2}}{T_{\text{но1}}} \right)^{k_{\phi1} - k_{\phi1}^0} \right) + \xi_{x0}, \quad (27)$$

где $T_{\text{но1}}$ – время наработки на МО в годах; $k_{\phi1}$ – параметр формы, значение которого установлено при проведении предыдущей поверки; $k_{\phi1}^0 = 1$.

Теоретически полученное значение погрешности $\xi_{T2}(t_{x2})$ сравнивается с практически полученным в момент времени t_{x2} средним значением погрешности $\overline{\xi_{x2}(t_{x2})}$ (13) (с учетом знака), т.е. определяются их разности

$$\Delta \xi_{xT2} = \overline{\xi_{x2}(t_{x2})} - \xi_{T2}(t_{x2}). \quad (28)$$

С учетом знаков значений разностей $\Delta \xi_{xT1}$ (7) и $\Delta \xi_{xT2}$ (28), значения параметра формы $k_{\phi1}$ и времени $T_{\text{но1}}$ наработки на МО поочередно изменяются до достижения наиболее вероятных числовых значений параметров $k'_{\phi1}$ и $T'_{\text{но1}}$. Критерием достоверности полученных результатов является $\Delta \xi$ -критерий согласия проф. Кондратова, согласно которому необходимо обеспечить равенство нулю значения разности (28).

Необходимо отметить, что значения разностей $\Delta \xi_{xT1}$ (10) и $\Delta \xi_{xT2}$ (28) устанавливаются равными

¹ о понятии «условный промах» будет сказано ниже

нулю в пределах теоретически заданных значений погрешностей $\pm\Delta_{\xi_{xT1}}$ и $\pm\Delta_{\xi_{xT2}}$, т.е. $\{\Delta_{\xi_{xT1}}\} \cong 0 \pm \{\Delta_{\xi_{xT1}}\}$ и $\{\Delta_{\xi_{xT2}}\} \cong 0 \pm \{\Delta_{\xi_{xT2}}\}$.

Вначале достигается равенство нулю второй разности $\Delta_{\xi_{xT2}}$ (28) ($\{\Delta_{\xi_{xT2}}\} = 0$) путем изменения, например, значения параметра $T'_{но1}$ (рис. 2, кривая 3 с новым значением параметра сдвига). Затем проверяется выполнение условия равенства нулю первой разности $\Delta_{\xi_{xT1}}$ (7) ($\{\Delta_{\xi_{xT1}}\} = 0$?). При ее невыполнении, т.е. при $\{\Delta_{\xi_{xT1}}\} \neq 0$ и при установленном значении времени наработки на МО $T'_{но1}$, изменяется значение параметра формы $k'_{\phi1}$ до наиболее вероятного (действительного) значения, например, до $k_{\phi2} = 5$, при котором значение первой разности (7) станет равным нулю. Эти две операции повторяют в разной последовательности до выполнения Δ_{ξ} -критерия согласия, т.е. до обеспечения равенства нулю как разности (7), так и разности (28). В результате обеспечивается прохождение кривой ФР через три точки, соответствующие значениям погрешностям измерений в моменты времени t_{x0} , t_{x1} и t_{x2} , с новыми значениями параметров k_{ϕ} и $T_{но}$.

Наиболее вероятное (действительное) значение времени $T_{но2}$ ($\{T_{но2}\} = \{T_{но1}\} \pm \{\Delta T_{но2}\}$) наработки на МО (на момент времени t_{x2} ($\{t_{x2}\} = \{t_{x1}\} + \{\Delta t_{п2}\}$)) определяется по полученному в неявном виде уравнению измерений

$$\begin{aligned} & \left(\frac{t_{x1} + \Delta t_{п2}}{T_{но1} \pm \Delta T_{но2}} \right)^{(k_{\phi1} - k_{\phi1}^0 \pm \Delta k_{\phi2})} - (k_{\phi1} - k_{\phi1}^0 \pm \Delta k_{\phi2}) \cdot \ln \left(\frac{t_{x1} + \Delta t_{п2}}{T_{но1} \pm \Delta T_{но2}} \right) = \\ & = \left(\frac{t_{x1}}{T_{но1}} \right)^{(k_{\phi1} - k_{\phi1}^0)} - (k_{\phi1} - k_{\phi1}^0) \ln \left(\frac{t_{x1}}{T_{но1}} \right) - \ln \frac{\xi_{x2} - \xi_{x0}}{\xi_{x1} - \xi_{x0}} \end{aligned} \quad (29)$$

или

$$\left(\frac{t_{x2}}{T_{но2}} \right)^{(k_{\phi2} - k_{\phi2}^0)} - (k_{\phi2} - k_{\phi2}^0) \cdot \ln \left(\frac{t_{x2}}{T_{но2}} \right) = \left(\frac{t_{x1}}{T_{но1}} \right)^{(k_{\phi1} - k_{\phi1}^0)} - (k_{\phi1} - k_{\phi1}^0) \ln \left(\frac{t_{x1}}{T_{но1}} \right) - \ln \frac{\xi_{x2} - \xi_{x0}}{\xi_{x1} - \xi_{x0}}. \quad (30)$$

где $T_{но2}$ – окончательно установленное время МО СИ при второй поверке; $k_{\phi1}^0 = 1$; $k_{\phi2}^0 = 1$; $\Delta t_{п2}$ – интервал времени от начала первой до начала второй поверки; $\pm \Delta k_{\phi2}$ – изменения (приращения) параметра формы относительно его значения, полученного в момент времени t_{x1} ; $\pm \Delta T_{но2}$ – приращение времени наработки на МО относительно $T_{но1}$.

Полученное по результатам двух последних поверок прогнозное значение времени наработки на МО, равное, например, $T_{но2} = 26,7$ лет, запоминается. По установленным значениям параметров $T_{но2}$ и $k_{\phi2}$ ФР на графическом портрете ВФ-модели МО окончательно проводится (строится) прогнозная кривая 3, проходящая через точки А, точку В, соответствующую погрешности $\xi_{x1}(t_{x1}) = -0,22$ и точку С, соответствующую погрешности $\xi_{x2}(t_{x2}) = -0,23 \pm 0,15$ (см. рис. 2, кривая 3 при $k_{\phi2} = 5$ и $T_{но2} = 26,7$ лет). Из полученной кривой видно, что на момент времени второй поверки наступление МО СИ произойдет не после 25,5 лет использования (эксплуатации) СИ, а после 23,8 лет, – вместо прогнозных 30 лет (см. рис. 2, область неопределенности с точкой R3 на кривой 3).

Полученные при второй поверке данные также документируются, с целью их использования при проведении третьей поверки СИ. Паспорт на СИ будет содержать уже объединенные графические портреты ВФ-модели МО СИ, полученные при первой и второй поверках.

При определении времени наработки на МО всегда необходимо помнить и учитывать, что ФР является метрологической функцией. Поэтому значение времени наработки на МО должно определяться с указанием значений верхней и нижней допустимых границ полосы неопределенности относительно установленного прогнозного значения.

Определение значений верхней и нижней допустимых границ полосы неопределенности времени наработки на МО

При проведении второй поверки значение верхней допустимой границы $T_{но2В}$ полосы неопределенности, т.е.

$$\{T_{но2В}\} = \{T_{но2}\} + \{\Delta T_{но2В}\}. \quad (31)$$

определяется с учетом знака значений абсолютных погрешностей $\Delta T_{но2В}$, $\Delta k_{\phi2В}$ и $\Delta t_{п2В}$ определения

времени наработки на МО, параметра формы и верхней границы полосы неопределенности $\Delta\xi_{дво}$ погрешности ξ_{x0} , соответственно,

Верхняя допустимая граница $T_{но2в}$ полосы неопределенности определяется по полученному в неявном виде уравнению измерений

$$\left(\frac{t_{x2} + \Delta t_{п2в}}{T_{но2в}}\right)^{(k_{\phi2} - k_{\phi1}^0 + \Delta k_{\phi2в})} - (k_{\phi2} - k_{\phi1}^0 + \Delta k_{\phi2в}) \cdot \ln\left(\frac{t_{x2} + \Delta t_{п2в}}{T_{но2в}}\right) =$$

$$= \left(\frac{t_{x1}}{T_{но1}}\right)^{k_{\phi1} - k_{\phi1}^0} - (k_{\phi1} - k_{\phi1}^0) \ln\left(\frac{t_{x1}}{T_{но1}}\right) - \ln\frac{\overline{\xi_{x2}}(t'_{x2}) - (\overline{\xi_{x0}}(t_{x0}) + \Delta\xi_{дво0})}{\overline{\xi_{x1}}(t_{x1}) - \overline{\xi_{x0}}(t_{x0})}, \quad (32)$$

где $T_{но2в} = T_{но2} + \Delta T_{но2в} = T_{но1} \pm \Delta T_{но2} + \Delta T_{но2в}$ – верхняя допустимая граница полосы неопределенности; $\overline{\xi_{x2}}(t'_{x2})$ – погрешность результата многократных измерений образцовой ФВ x_0 в момент времени t'_{x2} ($\{t'_{x2}\} = \{t_{x1}\} + (\{\Delta t_{п2}\} + \{\Delta t_{п2в}\}) = \{t_{x2}\} + \{\Delta t_{п2в}\}$).

Затем определяется значение

$$\{T_{но2н}\} = \{T_{ндг}(t_{x2})\} = \{T_{но2}\} - \{\Delta T_{но2н}\} \quad (33)$$

нижней допустимой границы $T_{но2н}$ полосы неопределенности также с учетом знака значений абсолютных погрешностей $\Delta T_{но2н}$, $\Delta k_{\phi2н}$ и $\Delta t_{п2н}$ определения времени наработки на МО, параметра формы, момента времени t_{x2} проведения второй проверки и погрешности определения значения нижней границы $\Delta\xi_{дво0}$ полосы неопределенности погрешности ξ_{x0} , соответственно.

Аналогично нижняя допустимая граница определяется согласно уравнению измерений

$$\left(\frac{t_{x2} - \Delta t_{п2н}}{T_{но2н}}\right)^{(k_{\phi2} - k_{\phi1}^0 - \Delta k_{\phi2н})} - (k_{\phi2} - k_{\phi1}^0 - \Delta k_{\phi2н}) \cdot \ln\left(\frac{t_{x2} - \Delta t_{п2н}}{T_{но2н}}\right) =$$

$$= \left(\frac{t_{x1}}{T_{но1}}\right)^{k_{\phi1} - k_{\phi1}^0} - (k_{\phi1} - k_{\phi1}^0) \ln\left(\frac{t_{x1}}{T_{но1}}\right) - \ln\frac{\overline{\xi_{x2}}(t''_{x2}) - (\overline{\xi_{x0}}(t_{x0}) - \Delta\xi_{дво0})}{\overline{\xi_{x1}}(t_{x1}) - \overline{\xi_{x0}}(t_{x0})}, \quad (34)$$

где $T_{но2н} = T_{но2} - \Delta T_{но2н} = T_{но1} \pm \Delta T_{но2} - \Delta T_{но2н}$ – нижняя допустимая граница полосы неопределенности; $\overline{\xi_{x2}}(t''_{x2})$ – относительная погрешность результата многократных измерений образцовой ФВ x_0 в момент времени t''_{x2} ($\{t''_{x2}\} = \{t_{x1}\} + (\{\Delta t_{п2}\} - \{\Delta t_{п2н}\})$).

Необходимо отметить, что при определении верхней и нижней границ полосы неопределенности можно учитывать и соответствующие (верхние и нижние) значения границ полос, полученные при первой проверке, т.е. значения $\{T_{но1в}\}$ и $\{T_{но1н}\}$, вместо $T_{но1}$ в (32) и (34). Весь смысл состоит в разных затратах времени на решение уравнений величин (32) и (34), заданных в неявном виде. Это обусловлено разными затратами времени на подбор значений приращений $\pm\Delta T_{но2}$ при определении значений $T_{но1в}$ и $T_{но1н}$.

Определение ширины полосы неопределенности значений времени наработки на МО

Ширина полосы неопределенности значений времени наработки на МО и приращения $\Delta T_{но2в}$ и $\Delta T_{но2н}$ до верхней и нижней доверительных границ определяются известным методом. Так, например, значение полосы неопределенности значений времени наработки на МО может быть определено по уравнению числовых значений

$$\{\Delta T_{но2}\} = \{T_{нов}(t_{x2})\} - \{T_{нон}(t_{x2})\}. \quad (35)$$

Приращения времени наработки на МО до верхней и нижней допустимых границ полосы неопределенности определяется, соответственно, по уравнениям числовых значений:

$$\{\Delta T_{но2в}\} = \{T_{нов}(t_{x2})\} - \{T_{но2}(t_{x2})\} \quad (36)$$

и

$$-\{\Delta T_{но2н}\} = \{T_{но2}(t_{x2})\} - \{T_{нон}(t_{x2})\}. \quad (37)$$

Полученные значения $T_{но2в}$, $T_{но2н}$, $\Delta T_{но2в}$ и $\Delta T_{но2н}$ запоминаются.

Такова сущность процессов прогнозирования и определения времени наработки на МО при первой и второй проверках СИ. Аналогичные процессы при остальных проверках будут описаны в сообщении 4.

Таким образом, T -метод динамической регрессии действительно обеспечивает прогнозирование и определение времени наработки СИ на МО путем параметрического приближения прогнозных кривых ФР от виртуального будущего к реальному настоящему. При этом определяется как параметр сдвига, так и параметр формы ФР с учетом погрешностей результатов измерений образцовой ФВ в t_{xi} -е моменты времени.

Выводы

Описана сущность процессов прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ по результатам первой и второй поверках средства измерений.

Впервые описана последовательность проведения операций измерений нормированной по значению (образцовой) физической величины x_0 поверяемым средством измерений, сравнения практически и теоретически полученных данных, их обработки и использования для определения параметров прогнозной функции распределения по соответствующим уравнениям измерений и ее построения кривых данной функции с целью отображения динамики «метрологического» старения средства измерений от поверки к поверке.

Отмечается необходимость определения времени проведения первой поверки, а также преимуществе непериодических поверок средств измерений с целью экономии затрат на их проведение.

Приведены условия учета и изменения знака переменной составляющей функция распределения Кондратова – Вейбулла.

Показана необходимость определения при каждой поверке значений верхней и нижней допустимых границ и само значение полосы неопределенности прогнозного времени наработки средства измерений на метрологический отказ.

Обращается особое внимание поверителей на необходимость учета того факта, что вероятностная мера метрологического отказа является метрологическим числом и имеет свою полосу неопределенности, зависящую от полосы неопределенности погрешности измерения образцовой ФВ x_0 в моменты времени проведения каждой поверки. В этой связи погрешность определения времени наработки на метрологический отказ, может составлять от сотен часов до нескольких лет.

Литература

1. Кондратов В.Т. Теория метрологической надежности: применение нелинейного регрессионного анализа для прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ / В.Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки, 2010. – № 4 – С. 43-55.

2. Кондратов В.Т. Метроника, вероятностно-физические модели метрологических отказов средств измерений и их графические портреты / В.Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2010. – № 1. – С. 43-55.

Надійшла 27.1.2011 р.

УДК 621.891

В.Г. ПИСАРЕНКО

КНВО "ФОРТ" МВС України, м. Вінниця

В.М. ІВАЩЕНКО, В.Г. БОРОДІН

ТОВ НВП "SINTA", м. Харків

НАНОТЕХНОЛОГІЇ ЗНОСОСТІЙКОГО ПОКРИТТЯ

Встановлено, що наноалмази, введені в електроліт при протіканні гальванічного процесу, осаджуються з хромом на струмопровідні поверхні утворюють композит, що володіє високими протизношувальними і триботехнічними характеристиками. Показано, що наноалмазне хромове покриття перевищує спосіб твердого хромування, що дозволяє істотно поліпшити технічні характеристики покриттів, а також значно розширити сфери застосування наноалмазного хромування.

It is set, that nanodiamonds entered in an electrolyte at the flowline of galvanic process, cover with a chrome on a surface and form composite material, which is has high antiwear characteristics. It is shown, that nanodiamond chromic coverage exceeds the method of hard chrome-plating, and allows to improve technical descriptions of coverages, and also it is considerably to extend purviews nanodiamond chrome-plating.

Ключові слова: наноалмази, покриття, гальванічне співосадження, зносостійкість, корозійна стійкість.

Вступ

Відомо, що введення твердих дисперсних частинок (оксидів, нітриду, бориду, карбідів, класичних алмазів) в електрохімічні покриття підвищують їх мікротвердість і зносостійкість. Причиною цього є зменшення розміру кристалів осаджуваного металу і наявність в покритті великої кількості надтвердих частинок. Мікрочастинки, осаджувані з металом, грають роль центрів кристалізації, тому, чим менші

розміри частинок, тим краща дисперсія кристалічної структури покриття. Мікротвердість (і пов'язана з нею зносостійкість) металу росте пропорційно $d^{-1/2}$, де d – розмір кристала.

У ряді випадків, кількість осаджуваних частинок є пасивними наповнювачами і їх вміст доходить до 40% від ваги осаджуваного металу. Будучи, як правило, надтвердими матеріалами, вони надають йому досить високої мікротвердості і зносостійкості. Але через свій великий вміст в покритті і діелектричні властивості вони сильно впливають на електрофізичні характеристики покриття, а також часто додають покриттю підвищеної крихкості. До недоліків такого покриття можна віднести можливий підвищений знос контртіла пари тертя, оскільки більшість наповнювачів – кристали, ріжучі кромки яких виступають з осідаючого разом з ними металу.

Завдання дослідників полягало в пошуку нових наповнювачів, здатних при вмісті їх в невеликих кількостях в покриттях істотно збільшити зносостійкість, мікротвердість, адгезію і корозійну стійкість при збереженні їх електрофізичних властивостей.

Це завдання ускладнювалось тим, що електроліти хромування є сильно окислювальними середовищами. Наноалмазні частинки, отримані детонаційним способом, в подібних випадках, є найбільш перспективним матеріалом, завдяки таким властивостям алмазу, як надтвердість, низький коефіцієнт тертя, висока теплопровідність і хімічна інертність. Крім того, наноалмаз має надто малі розміри (3– 10 нм), форму, близьку до сферичної, отже, немає виступаючих ріжучих кромок, а також володіє дуже великою питомою поверхнею (до 450 м²/г) і високою поверхневою енергією.

Частинки наноалмазів мають досить складну структуру: ядро з класичного кубічного алмазу і вуглецеву оболонку навколо ядра. Ця оболонка, що складається з sp^2 гібридизованих атомів вуглецю, неоднорідна за ступенем впорядкованості структурних фрагментів. Поверхневий шар, що включає атоми вуглецю, насичений широким спектром різноманітних функціональних груп. При цьому компоненти наноалмазів є не домішками, а органічними складовими продукту, що в значній мірі визначають комплекс його специфічних властивостей.

Надто малі розміри наноалмазів призводять до того, що роль міжфазних взаємодій надзвичайно зростає. Наявність на поверхні високо полярних і реакціоноздатних груп, зосереджених в малому об'ємі, визначає високу активність дії частинок на навколишнє середовище. Наноалмази, на відміну від звичайних дрібнодисперсних порошків наповнювачів є не наповнювачем, а структуротворним матеріалом. Завдяки гідродинамічним, електростатичним і молекулярним силам зважені частинки наноалмазів під час осадження взаємодіють з поверхнею нарощуваного покриття.

Беручи до уваги вищесказане, отримуємо, що наноалмази завдяки своїм унікальним властивостям можуть змінювати фізико-механічні властивості матеріалів, в структурі яких вони знаходяться. Проведені дослідження підтвердили, що введення водної суспензії наноалмазів в електроліт на основі шестивалентного хрому дозволяє одержати покриття з низьким коефіцієнтом тертя, високою теплопровідністю і зносостійкістю. Розглянемо деякі приклади з наноалмазного покриття:

Технології отримання наноалмазних покриттів

Сутність нанотехнології хромоалмазного покриття. На сьогоднішній день актуальним завданням у всьому світі є створення зміцнюючих покриттів, які змогли б поєднати в собі наступні властивості: висока зносостійкість в умовах абразивного зношування в вузлах тертя, порівняно висока корозійна стійкість, технологічність і порівняно невисока вартість. Для вирішення таких різних технічних завдань широкого поширення набуло тверде хромування. Однак, технологія хромоалмазного хромування дозволяє в значній мірі поліпшити фізико-технічні показники такого покриття. Вони в порівнянні з твердим хромуванням збільшились в 2– 5 разів, а коефіцієнт тертя зменшився на 15– 25 %. Завдяки своїй безпористій структурі наноалмазне покриття має також більш високу корозійну стійкість. Таким чином, володіючи поліпшеними властивостями, зміцнюючі покриття при собівартості вищій на 10– 15 %, ніж тверде хромування, може в два і більше рази підвищити ресурс роботи деталей та вузлів, що працюють в умовах абразивного та корозійного зносу.

Отримання композиційних покриттів методом співосадження дрібнодисперсних часток з металом (наприклад хромом) гальванічним способом відомо давно. Однак, оскільки електроліти хромування є сильно окисними середовищами, вибір матеріалу для співосадження з хромом досить вузький. Наноалмазні частинки, отримані детонаційним способом, у подібних випадках є найбільш перспективним матеріалом завдяки таким властивостям алмазу, як надтвердість, низький коефіцієнт тертя, висока теплопровідність і хімічна інертність. Ці властивості алмазу є одними з визначальних, але ще недостатніми у виробі, як модифікаторі покриттів. Таким чином, дві основні характеристики наноалмазів детонаційного синтезу, а саме: малий розмір (3– 10 нм), що визначає їхню питому поверхню (до 450 м² на один грам порошку) і дуже високу поверхневу активність, обумовлену функціональними групами на її поверхні, визначають властивості наноалмазу модифікувати різні матеріали в яких вони розподілені, змінюючи фізико-хімічні та механічні властивості самих матеріалів.

Доведено, що наноалмази, які знаходяться в електроліті хромування при протіканні гальванічного процесу, осаджуючись з хромом на струмопровідні поверхні утворюють композит (хромалмаз), що володіє

високими протизношувальними і триботехнічними характеристиками. Саме це і покладено в основу технології одержання композитних наноалмазних хромових покриттів. Наноалмазне хромове покриття перевищує відомий і широкоживаний в різноманітних виробничих циклах спосіб твердого хромування, що дозволяє істотно поліпшити технічні характеристики покриттів, а також значно розширити сфери застосування наноалмазного хромування.

Наноалмазне хромове покриття характеризується підвищеною твердістю, зносостійкістю, корозійною стійкістю, низьким коефіцієнтом тертя і забезпечує підвищення терміну служби інструменту і деталей вузлів тертя у 2– 15 разів. Висока корозійна стійкість наноалмазного покриття хромування дозволяє виключити у ряді виробництв використання нержавіючих сталей.

Технологія наноалмазного хромування легко адаптується до традиційної лінії хромування без значних фінансових витрат на організацію виробничого процесу.

Призначення хромоалмазного покриття. Композиційне хромове покриття призначене для підвищення ресурсу роботи:

- 1) дерево- і металообробного інструменту (фрез, свердл, мітчиків, зенкерів, протяжок, ножів, ножовкових полотен тощо);
- 2) деталей вузлів тертя (підшипників, штоків гідроциліндрів, поршневих кілець, плунжерів, валів ДВЗ і т.п.);
- 3) деталей обладнання, що працює в умовах інтенсивного зносу і в корозійних середовищах (гільз і шнеків екструдерів; ножів, решіток і шнеків м'ясорубок; штоків насосів та інші);
- 4) прес-форм, матриць, пуансонів;
- 5) медичного інструментарію та інших виробів;
- 6) деталей зброї та іншої точної техніки.

Основні техніко-економічні показники технології композиційного хромування представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Основні техніко-економічні характеристики технології композиційного хромування

Мікротвердість покриття, HV , кг/мм	1000– 1400
Рекомендована товщина покриття на робочу поверхню деталі, мкм	5– 20
Підвищення терміну служби деталей з покриттям (підвищення зносостійкості деталей вузлів тертя і стійкості інструменту)	в 2– 15 разів
Підвищення адгезії до основи, %	на 30– 40
Завантаження каталізатора, г/л	10
1 кг каталізатора забезпечує сумарну площу покриття (при товщині покриття 5 мкм)	2,5– 3,0 тис. м ²

Основні переваги композиційного хромування наступні:

- 1) композиційне хромове покриття характеризується підвищеною твердістю, зносостійкістю, корозійною стійкістю, низьким коефіцієнтом тертя і забезпечує підвищення терміну служби інструменту і деталей вузлів тертя у 2– 15 разів;
- 2) можливість використання відносно недорогих і недефіцитних металів; висока корозійна стійкість хромоалмазного покриття дозволяє виключити у ряді виробництв використання нержавіючих сталей;
- 3) підвищення струмопровідності;
- 4) можливість реалізації технології на стандартному устаткуванні.

Наноалмази в гальванічних покриттях на основі дорогоцінних металів

Композиційні електрохімічні покриття на основі золота і срібла з використанням наноалмазів призначені для нанесення на коштовні ювелірні, сувенірні, нагородні та інші вироби, а також на контактні деталі в електро-, радіо-, електронній промисловості.

Покриття надають виробам привабливого зовнішнього вигляду, зберігають якнайтонші подробиці рельєфу і малюнка, довготривалий захист від будь-яких корозійних дій і механічного стирання. Можливе отримання блискучих, напівблискучих і матових покриттів з різними відтінками кольору металу.

Покриття має однорідну дрібнокристалічну структуру, не містять алергенів, в контактних виробках володіють стабільними електрофізичними властивостями.

Технічні характеристики покриттів на основі дорогоцінних металів:

- 1) підвищення зносостійкості покриттів в три і більше разів;
- 2) зниження пористості покриттів;
- 3) підвищення корозійної стійкості покриттів;
- 4) підвищення мікрожорсткості покриттів до 180– 200 кг/мм².

Економічні показники технології композиційних золотоалмазних покриттів:

- 1) вартість каталізатора – 18 у.о. за 1г;
- 2) витрата діамантового каталізатора складає 1 % від ваги золота в покритті;
- 3) зниження більш ніж у два рази собівартості покриття за рахунок зниження товщини покриття;
- 4) підвищення продуктивності гальванічної лінії, більш ніж в 2 рази без технічного переобладнання виробництва.

Наноалмази в гальванічних покриттях на основі алюмінію і його сплавів

Анодно-оксидні покриття з наноалмазами додають виробам більшої твердості і зносостійкості, вищих електро- і теплоізоляційних властивостей, привабливий зовнішній вигляд, високу корозійну стійкість. Технологічний процес анодування з наноалмазами здійснюється на стандартному устаткуванні в різних електролітах.

Області застосування анодно-оксидних покриттів з наноалмазами алюмінію і його сплавів:

- 1) електротехнічна промисловість;
- 2) радіоелектронна промисловість;
- 3) електронна промисловість;
- 4) машинобудівна промисловість.

Переваги аноднооксидного покриття з наноалмазами, а саме підвищення якості і конкурентної спроможності, що проявляються в наступному:

- висока мікротвердість;
- підвищена міцність на зношування;
- висока наповнюваність і низька пористість;
- підвищена адгезія;
- знижений коефіцієнт тертя;
- високі електро- і теплоізоляційні властивості;
- збільшення терміну служби виробів.

Підвищення продуктивності гальванічних ліній на 20– 50 % за рахунок підвищеної швидкості утворення плівки і зменшення товщини покриттів.

Висновки

Встановлено, що наноалмази завдяки своїм унікальним властивостям можуть змінювати фізико-механічні властивості матеріалів, в структурі яких вони знаходяться. Проведені дослідження підтвердили, що введення водної суспензії наноалмазів в електроліт на основі шестивалентного хрому дозволяє одержати покриття з низьким коефіцієнтом тертя, високою теплопровідністю і зносостійкістю.

Література

1. Хабибулин И. Г. Коррозионная стойкость металлов с дисперсно-упрочненными покрытиями / И. Г. Хабибулин, Р. А. Усманов. – М. : Машиностроение, 1991. – 113 с.
2. О механизме включения твердых частиц в электрический осадок / Полукаров Ю. М., Лямина Л. И., Гриника В. В. и др. // Электрохимия. – 1978. – Т. 14, №11. – С. 1635–1641.
3. Сайфуллин Р. С. Неорганические композиционные материалы / Сайфуллин Р. С. – М. : Химия, 1983. – 303 с.
4. Губаревич Т. М. Сверхтвердые материалы / Губаревич Т. М., Кулагина Ю. В., Полева Л. И. – 1993. – № 2 (34). – 263 с.

Надійшла 22.1.2011 р.

ОБЧИСЛЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПЛОЩ ПОПЕРЕЧНИХ ПЕРЕРІЗІВ У КОНСТРУКЦІЇ З ТРЬОМА ОПОРАМИ ЗА УМОВ ЧАСТКОВОЇ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ СТИСКАЮЧИХ ЗУСИЛЬ НА ЕЛЕМЕНТИ З ПОЗДОВЖНЬОЮ СТІЙКІСТЮ

Систематизовано дані про оптимальні стратегії проектувальника у моделі дії нормованого одиничного навантаження на конструкцію з трьома опорами за умов часткової невизначеності стискаючих зусиль. Побудовано програмний засіб для визначення оптимальних площ поперечних перерізів опор такої конструкції.

There have been systematized data on projector optimal strategies in the model of the normed unit load action on three supports construction within partial uncertainties of compression forces. A program tool has been developed for determining the optimal squares of cross-sections in supports of such construction.

Ключові слова: часткова невизначеність, конструкція з опорами, нормоване (одиничне) навантаження, стискаюче зусилля, ігрове антагоністичне моделювання, антагоністична гра, оптимальна стратегія (проектувальника).

Про актуальність проблеми у загальному виді

Задачі та труднощі, котрі виникають у будівельній механіці і машинобудуванні, є завжди актуальними, потребують швидкого вирішення, а також часто вимагають безкомпромісних рішень, що пов'язано з безпекою. Проектування будівельних або машинних конструкцій-опор є саме тією задачею, де недопустимі розв'язки у формі імовірнісних розподілів чи відповідних математичних (геометричних) середніх. Прийнятним є лише представлення рішень до такою задачі з гарантованим (максимінним) результатом, де оптимізація витрат проектування відбувається на фоні забезпечення цілковитої надійності. Такий результат отримується часто за допомогою ігрового антагоністичного моделювання, де першого гравця персоніфікують випадкові обставини (природні або ті, які важко врахувати у моделі). Й отримання чистих оптимальних стратегій для другого гравця (проектувальника) є актуальною проблемою при вирішенні описаних задач проектування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій за предметом дослідження та окреслення питання щодо усунення часткових невизначеностей у задачах будівельної механіки і машинобудування

Задача оптимального використання і розподілу будівельних ресурсів у конструкції-опорі, що складається з декількох елементів однакової геометричної форми, на які діє відоме навантаження, є відомою за джерелами [1 – 4]. Ефект стискаючого зусилля або навантаження, що діє на опори, можна моделювати за допомогою антагоністичної гри наступним чином. По-перше, вважається, що загальне навантаження, котре діятиме на конструкцію-опору, є відомим, і воно нормується до одиничного [2 – 4]. По-друге, частка від граничного навантаження на i -й елемент будівельної конструкції з площею поперечного перерізу y_i , на який діє стискаюче зусилля x_i , знаходиться як

$$T_i(x_i, y_i) = \beta \frac{x_i}{y_i^2}, \quad (1)$$

де β є коефіцієнтом, куди включено механічні властивості матеріалу i -ї колони [1, с. 144]. Усі можливі нормовані навантаження, які можуть стискувати i -ту опору, знаходяться у межах сегмента

$$[a_i; b_i] \subset (0; 1) \subset [0; 1]. \quad (2)$$

Ненульова міра сегмента $[a_i; b_i]$ й означає часткову невизначеність того стискаюче зусилля x_i , котре діятиме на i -ту опору. У роботі [2] представлено модель задачі про розрахунок поздовжньої стійкості двох опор будівельної конструкції при дії на них нормованого стискаючого зусилля у формі строго опуклої антагоністичної гри з функцією виграшу на підмножині одиничного квадрата, де для кожного випадку співвідношення кінців сегмента чистих стратегій другого гравця, у ролі якого виступає проектувальник, знайдено його чисту оптимальну стратегію. У роботі [3] у формі антагоністичної гри на підмножині одиничного гіперкуба в \mathbb{R}^4 представлено модель визначення оптимальних витрат будівельних ресурсів при проектуванні опорної конструкції з трьома колонами. Там же обгрунтовано строго опуклість представленої гри і визначено оптимальну стратегію проектувальника за усіх можливих варіантів співвідношень із мінімальним та максимальним навантаженням на кожну з двох колон. Твердження про ситуації рівноваги у чистих стратегіях та деякі особливі випадки розглянуті у [4]. Утім, існує потреба у побудові програмного засобу для швидкого визначення результатів усунення часткової невизначеності типу (2) для i -го елемента конструкції-опори. Це пов'язано насамперед з тим, що кінці сегмента $[a_i; b_i]$ теж неможливо зафіксувати

однозначно.

Формулювання мети і постановка завдань статті

Програмування результатів усунення часткових невизначеностей в конструкції з двома опорами є недоцільним, оскільки відповідні обчислення є практично “калькуляторними”. Тому будуватимемо програмний засіб для визначення оптимальних площ поперечних перерізів у конструкції з трьома опорами. Для цього спочатку систематизуємо дані про оптимальні стратегії проектувальника у моделі дії нормованого одиничного навантаження на триколонну будівельну конструкцію, після чого розроблятимемо обчислювальний MATLAB-засіб.

Попередні відомості про оптимальні стратегії проектувальника у моделі дії нормованого одиничного навантаження на триколонну будівельну конструкцію

Нехай має місце (2) $\forall i = \overline{1, 3}$. Тоді достатньо мати дані про невизначеності у стискаючих зусиллях на дві з трьох опор –

$$x_1 \in [a_1; b_1] \text{ та } x_2 \in [a_2; b_2], \quad (3)$$

звідки

$$x_3 = 1 - (x_1 + x_2). \quad (4)$$

Сумарна площа поперечних перерізів трьох опор теж нормована й

$$y_1 \in [a_1; b_1], \quad y_2 \in [a_2; b_2], \quad y_3 = 1 - (y_1 + y_2). \quad (5)$$

Мають місце умови

$$0 < a_1 < b_1 < 1, \quad 0 < a_2 < b_2 < 1, \quad b_1 + b_2 < 1 \quad (6)$$

завдяки тому, що міра

$$\mu_{\mathbb{R}}([a_i; b_i]) > 0 \quad \forall i = \overline{1, 3}. \quad (7)$$

Ядром побудованої в [3] антагоністичної гри є гіперповерхня

$$\begin{aligned} T(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) &= T(x_1, x_2; y_1, y_2) = \max \{T_1(x_1, y_1), T_2(x_2, y_2), T_3(x_3, y_3)\} = \\ &= \max \left\{ \beta \frac{x_1}{y_1^2}, \beta \frac{x_2}{y_2^2}, \beta \frac{1-x_1-x_2}{(1-y_1-y_2)^2} \right\} = \beta \max \left\{ \frac{x_1}{y_1^2}, \frac{x_2}{y_2^2}, \frac{1-x_1-x_2}{(1-y_1-y_2)^2} \right\}, \end{aligned} \quad (8)$$

котра задається на паралелепіпеді

$$\mathbf{X} \times \mathbf{Y} = \{[a_1; b_1] \times [a_2; b_2]\} \times \{[a_1; b_1] \times [a_2; b_2]\} = \prod_{s=1}^2 [a_s; b_s] \times [a_s; b_s] \subset \prod_{k=1}^4 (0; 1) \subset \prod_{k=1}^4 [0; 1] \subset \mathbb{R}^4 \quad (9)$$

з умовами (3) – (6). Перед проектувальником стоїть задача вибрати площу поперечного перерізу кожної з трьох опор так, щоб мінімізувати максимально можливий дисбаланс [1, с. 130, с. 144] у навантаженні (стискаючому зусиллі) на них. І саме обмеження по верхньому значенню площі поперечного перерізу кожної опори або обмеження по сумарній кількості наявного матеріалу, з якого виготовляють опори, і породжує антагоністичну гру [2, 3].

Обґрунтування строгої опуклості гри з ядром (8) на паралелепіпеді (9) відбулось в [3, с. 19]. Тому гра з ядром (8) на паралелепіпеді (9) з умовами (3) – (6) є строго опуклою, й у ній проектувальник має єдину чисту оптимальну стратегію

$$\mathbf{Y}_* = [y_1^* \quad y_2^*] \in [a_1; b_1] \times [a_2; b_2]. \quad (10)$$

Компонентами оптимальної стратегії проектувальника є [3, с. 20]

$$y_1^* = \frac{\sqrt{b_1}}{\sqrt{b_1} + \sqrt{b_2} + \sqrt{1-a_1-a_2}}, \quad (11)$$

$$y_2^* = \frac{\sqrt{b_2}}{\sqrt{b_1} + \sqrt{b_2} + \sqrt{1-a_1-a_2}}, \quad (12)$$

проте (11) і (12) мають місце лише за умов

$$\frac{\sqrt{b_1}}{\sqrt{b_1} + \sqrt{b_2} + \sqrt{1-a_1-a_2}} \in [a_1; b_1], \quad (13)$$

$$\frac{\sqrt{b_2}}{\sqrt{b_1} + \sqrt{b_2} + \sqrt{1-a_1-a_2}} \in [a_2; b_2]. \quad (14)$$

Завдяки опуклості гіперповерхні (8) по змінним y_1 та y_2 при

$$\frac{\sqrt{b_1}}{\sqrt{b_1} + \sqrt{b_2} + \sqrt{1-a_1-a_2}} < a_1 \quad (15)$$

буде $y_1^* = a_1$. Так само при

$$\frac{\sqrt{b_2}}{\sqrt{b_1} + \sqrt{b_2} + \sqrt{1-a_1-a_2}} < a_2 \quad (16)$$

буде $y_2^* = a_2$, при

$$\frac{\sqrt{b_1}}{\sqrt{b_1} + \sqrt{b_2} + \sqrt{1-a_1-a_2}} > b_1 \quad (17)$$

буде $y_1^* = b_1$, а при

$$\frac{\sqrt{b_2}}{\sqrt{b_1} + \sqrt{b_2} + \sqrt{1-a_1-a_2}} > b_2 \quad (18)$$

буде $y_2^* = b_2$. Отже, за умов (13) і (14) оптимальною стратегією проектувальника є (її компоненти можна називати незміщеними або регулярними)

$$\mathbf{Y}_* = \left[\frac{\sqrt{b_1}}{\sqrt{b_1} + \sqrt{b_2} + \sqrt{1-a_1-a_2}} \quad \frac{\sqrt{b_2}}{\sqrt{b_1} + \sqrt{b_2} + \sqrt{1-a_1-a_2}} \right]. \quad (19)$$

При невиконанні хоча б одного зі співвідношень (13) і (14) в [3] враховано наступні випадки. Для випадку $y_1^* = a_1$ при (14) та (15) за умови $y_2^{*(1)} \in [a_2; b_2]$, де (зміщена компонента)

$$y_2^{*(1)} = \frac{(1-a_1)\sqrt{b_2}}{\sqrt{b_2} + \sqrt{1-a_1-a_2}}, \quad (20)$$

буде

$$\mathbf{Y}_* = \left[a_1 \quad \frac{(1-a_1)\sqrt{b_2}}{\sqrt{b_2} + \sqrt{1-a_1-a_2}} \right]. \quad (21)$$

При $y_2^{*(1)} < a_2$ оптимальною стратегією проектувальника буде

$$\mathbf{Y}_* = [a_1 \quad a_2]. \quad (22)$$

При одночасному виконанні (13) і (16) за умови $y_1^{*(1)} \in [a_1; b_1]$, де (зміщена компонента)

$$y_1^{*(1)} = \frac{(1-a_2)\sqrt{b_1}}{\sqrt{b_1} + \sqrt{1-a_1-a_2}}, \quad (23)$$

буде

$$\mathbf{Y}_* = \left[\frac{(1-a_2)\sqrt{b_1}}{\sqrt{b_1} + \sqrt{1-a_1-a_2}} \quad a_2 \right]. \quad (24)$$

А при $y_1^{*(1)} < a_1$ оптимальною стратегією проектувальника буде (22). При одночасному виконанні (15) і (16) стратегія (22) залишається оптимальною, а при одночасному виконанні (17) і (18) оптимальна стратегія проектувальника

$$\mathbf{Y}_* = [b_1 \quad b_2]. \quad (25)$$

При одночасному виконанні (14) і (17) оптимальна стратегія проектувальника

$$\mathbf{Y}_* = \left[b_1 \quad \frac{\sqrt{b_2}}{\sqrt{b_1} + \sqrt{b_2} + \sqrt{1-a_1-a_2}} \right]. \quad (26)$$

У симетричному випадку, коли одночасно виконані (13) і (18), оптимальна стратегія проектувальника

$$\mathbf{Y}_* = \left[\frac{\sqrt{b_1}}{\sqrt{b_1} + \sqrt{b_2} + \sqrt{1-a_1-a_2}} \quad b_2 \right]. \quad (27)$$

При одночасному виконанні (15) і (18) за умови

$$\frac{1}{b_2} \geq \frac{1-a_1-a_2}{(1-a_1-b_2)^2} \quad (28)$$

оптимальною стратегією проектувальника є

$$\mathbf{Y}_* = [a_1 \quad b_2]. \quad (29)$$

У випадку виконання нерівності

$$\frac{1}{b_2} < \frac{1-a_1-a_2}{(1-a_1-b_2)^2} \quad (30)$$

при $y_2^{*(1)} \in [a_2; b_2)$ оптимальною стратегією проектувальника буде (21), а при $y_2^{*(1)} < a_2$ вектор (22) є його оптимальною стратегією. При одночасному виконанні (16) і (17) міркування є симетричними. При

$$\frac{1}{b_1} \geq \frac{1-a_1-a_2}{(1-b_1-a_2)^2} \quad (31)$$

оптимальна стратегія проектувальника

$$\mathbf{Y}_* = [b_1 \quad a_2]. \quad (32)$$

У випадку виконання нерівності

$$\frac{1}{b_1} < \frac{1-a_1-a_2}{(1-b_1-a_2)^2} \quad (33)$$

при $y_1^{*(1)} \in [a_1; b_1)$ буде (24), а при $y_1^{*(1)} < a_1$ оптимальною стратегією проектувальника буде (22).

Програмний засіб для визначення оптимальних площ поперечних перерізів у конструкції з трьома опорами за умов часткової невизначеності стискаючих зусиль

Обираємо програмне середовище MATLAB для побудови засобу обчислення одного з дев'яти

випадків оптимальної стратегії проектувальника (19), (21), (22), (24) – (27), (29), (32). Цей MATLAB-засіб назвемо **optsqr3pc** (optimal squares in three-pillar construction). Його вхідним аргументом будуть, очевидно, чотири числа a_1, b_1, a_2, b_2 , котрі окреслюють умови часткової невизначеності. Ці числа доцільно увести як 2×2 -матрицю $\begin{pmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{pmatrix}$. На рис. 1 – 4 показано початок запису програмного коду до моменту обчислення значень (11) і (12).

```

E:\MATLAB7p0p1\work\AG Theory DoctoralDiss and Support\AGT FUNCTIONS\optsqr3pc.m
File Edit Text Cell Tools Debug Desktop Window Help
function [OptSquares] = optsqr3pc(SegmentUncertainties)
% This module calculates the optimal squares of cross-sections in the three-pillar mechanical (building) construction.
% SegmentUncertainties is a 2*2-matrix with elements |
  
```

Рис. 1. Заголовок MATLAB-засобу (MATLAB-функції) **optsqr3pc** і набирання опису (пояснення) до мети його використання

```

1 function [OptSquares] = optsqr3pc(SegmentUncertainties)
2 % This module calculates the optimal squares of cross-sections in the three-pillar mechanical (building) construction.
3 % SegmentUncertainties is a 2*2-matrix with elements from interval (0; 1), giving the uncertainties of compression force on two pillars.
4 [m n] = size(SegmentUncertainties);
5 if (m ~= 2) || (n ~= 2)
6     error('This function input must be 2-by-2 matrix.')
7 end
8 a1 = SegmentUncertainties(1, 1); b1 = SegmentUncertainties(1, 2); a2 = SegmentUncertainties(2, 1); b2 = SegmentUncertainties(2, 2);
9 if |
  
```

Рис. 2. Аналіз розміру вхідного аргументу MATLAB-засобу **optsqr3pc** як матриці з кінцями сегментів $[a_1; b_1]$ й $[a_2; b_2]$ (рядки 4 – 7) та запис цих кінців у зручній формі (восьмий рядок)

```

1 function [OptSquares] = optsqr3pc(SegmentUncertainties)
2 % This module calculates the optimal squares of cross-sections in the three-pillar mechanical (building) construction.
3 % SegmentUncertainties is a 2*2-matrix with elements from interval (0; 1), giving the uncertainties of compression force on two pillars.
4 [m n] = size(SegmentUncertainties);
5 if (m ~= 2) || (n ~= 2)
6     error('This function input must be 2-by-2 matrix.')
7 end
8 a1 = SegmentUncertainties(1, 1); b1 = SegmentUncertainties(1, 2); a2 = SegmentUncertainties(2, 1); b2 = SegmentUncertainties(2, 2);
9 if ~(a1 > 0) || ~(a1 < b1) || ~(b1 < 1) || ~(a2 > 0) || ~(a2 < b2) || ~(b2 < 1)
10     error('This function input must be 2-by-2 matrix with the elements from interval (0; 1), giving the uncertainties of compression force.')
11 end
12 if ~(b1 + b2 < 1)
13     error('This function input must be 2-by-2 matrix with the elements from interval (0; 1), and the second column sum should be less than 1.')
14 end
15 OptSquares(1) = |
  
```

Рис. 3. Перевірка (рядки 9 – 14) уведених кінців сегментів $[a_1; b_1]$ й $[a_2; b_2]$ на виконання умов (6)

```

1 function [OptSquares] = optsqr3pc(SegmentUncertainties)
2 % This module calculates the optimal squares of cross-sections in the three-pillar mechanical (building) construction.
3 % SegmentUncertainties is a 2*2-matrix with elements from interval (0; 1), giving the uncertainties of compression force on two pillars.
4 [m n] = size(SegmentUncertainties);
5 if (m ~= 2) || (n ~= 2)
6     error('This function input must be 2-by-2 matrix.')
7 end
8 a1 = SegmentUncertainties(1, 1); b1 = SegmentUncertainties(1, 2); a2 = SegmentUncertainties(2, 1); b2 = SegmentUncertainties(2, 2);
9 if ~(a1 > 0) || ~(a1 < b1) || ~(b1 < 1) || ~(a2 > 0) || ~(a2 < b2) || ~(b2 < 1)
10     error('This function input must be 2-by-2 matrix with the elements from interval (0; 1), giving the uncertainties of compression force.')
11 end
12 if ~(b1 + b2 < 1)
13     error('This function input must be 2-by-2 matrix with the elements from interval (0; 1), and the second column sum should be less than 1.')
14 end
15 OptSquares(1) = sqrt(b1 / (sqrt(b1) + sqrt(b2) + sqrt(1 - a1 - a2))); % formula (11)
16 OptSquares(2) = sqrt(b2 / (sqrt(b1) + sqrt(b2) + sqrt(1 - a1 - a2))); % formula (12)
17 |
  
```

Рис. 4. Обчислення (рядки 15 і 16) значень (11) і (12)

Після того, як значення (11) і (12) обчислені у рядках 15 і 16, відбувається систематизація умов й обчислення (рис. 5, рис. 6) одного з дев'яти випадків оптимальної стратегії проектувальника (19), (21), (22), (24) – (27), (29), (32). Відповідні коментарі дозволяють легко ідентифікувати частини коду з цими умовами і формулою для (10). Приклади (рис. 7) є демонстрацією працездатності розробленого MATLAB-засобу.

```

1 function [OptSquares] = optsqr3pc(SegmentUncertainties)
2 % This module calculates the optimal squares of cross-sections in the three-pillar mechanical (building) construction.
3 % SegmentUncertainties is a 2*2-matrix with elements from interval (0; 1), giving the uncertainties of compression force on two pillars.
4 [m n] = size(SegmentUncertainties);
5 if (m ~= 2) || (n ~= 2)
6     error('This function input must be 2-by-2 matrix.')
7 end
8 a1 = SegmentUncertainties(1, 1); b1 = SegmentUncertainties(1, 2); a2 = SegmentUncertainties(2, 1); b2 = SegmentUncertainties(2, 2);
9 if (~(a1 > 0)) || ~(a1 < b1) || ~(b1 < 1) || ~(a2 > 0) || ~(a2 < b2) || ~(b2 < 1)
10     error('This function input must be 2-by-2 matrix with the elements from interval (0; 1), giving the uncertainties of compression force.')
11 end
12 if ~(b1 + b2 < 1)
13     error('This function input must be 2-by-2 matrix with the elements from interval (0; 1), and the second column sum should be less than 1.')
14 end
15 OptSquares(1) = sqrt(b1)/(sqrt(b1) + sqrt(b2) + sqrt(1 - a1 - a2)); % formula (11)
16 OptSquares(2) = sqrt(b2)/(sqrt(b1) + sqrt(b2) + sqrt(1 - a1 - a2)); % formula (12)
17 if (OptSquares(1) >= a1) & (OptSquares(1) <= b1) & (OptSquares(2) >= a2) & (OptSquares(2) <= b2) % checking (13) and (14)
18     OptSquares(3) = 1 - OptSquares(1) - OptSquares(2);
19     disp(' The optimal squares are regular. ')
20     return
21 else
22     y1 = (1 - a2)*sqrt(b1)/(sqrt(b1) + sqrt(1 - a1 - a2)); % formula (23)
23     y2 = (1 - a1)*sqrt(b2)/(sqrt(b2) + sqrt(1 - a1 - a2)); % formula (20)
24     if (OptSquares(1) < a1) & ((OptSquares(2) >= a2) & (OptSquares(2) <= b2)) % case with true (14) and (15)
25         OptSquares(1) = a1;
26         if (y2 >= a2) & (y2 < b2) % checking whether (20) belongs to [a2; b2]
27             OptSquares(2) = y2; % projector optimal strategy is (21)
28             OptSquares(3) = 1 - OptSquares(1) - OptSquares(2);
29             disp(' The first optimal square is moved to the left uncertainty end, and the second is less than regular. ')
30             return
31         else
32             OptSquares(2) = a2; % projector optimal strategy is (22)
33             OptSquares(3) = 1 - OptSquares(1) - OptSquares(2);
34             disp(' Both first and second optimal squares are moved to the left ends of the given uncertainties. ')
35             return
36         end
37     end
38     if ((OptSquares(1) >= a1) & (OptSquares(1) <= b1)) & (OptSquares(2) < a2) % case with true (13) and (16)
39         OptSquares(2) = a2;
40         if (y1 >= a1) & (y1 < b1) % checking whether (23) belongs to [a1; b1]
41             OptSquares(1) = y1; % projector optimal strategy is (24)
42             OptSquares(3) = 1 - OptSquares(1) - OptSquares(2);
43             disp(' The first optimal square is less than regular, and the second is moved to the left uncertainty end. ')
44             return
45         else
46             OptSquares(1) = a1; % projector optimal strategy is (22)
47             OptSquares(3) = 1 - OptSquares(1) - OptSquares(2);
48             disp(' Both first and second optimal squares are moved to the left ends of the given uncertainties. ')
49             return
50         end
51     end
52     if (OptSquares(1) < a1) & (OptSquares(2) < a2) % case with true (15) and (16)
53         OptSquares(1) = a1;
54         OptSquares(2) = a2; % projector optimal strategy is (22)
55         OptSquares(3) = 1 - OptSquares(1) - OptSquares(2);
56         disp(' Both first and second optimal squares are moved to the left ends of the given uncertainties. ')
57         return
58     end
59     if (OptSquares(1) > b1) & (OptSquares(2) > b2) % case with true (17) and (18)
60         OptSquares(1) = b1;
61         OptSquares(2) = b2; % projector optimal strategy is (25)
62         OptSquares(3) = 1 - OptSquares(1) - OptSquares(2);
63         disp(' Both first and second optimal squares are moved to the right ends of the given uncertainties. ')
64         return
65     end
66     if (OptSquares(1) > b1) & ((OptSquares(2) >= a2) & (OptSquares(2) <= b2)) % case with true (14) and (17)
67         OptSquares(1) = b1; % projector optimal strategy is (26)
68         OptSquares(3) = 1 - OptSquares(1) - OptSquares(2);
69         disp(' The first optimal square is moved to the right uncertainty end, and the second is regular. ')
70         return
71     end
72     if ((OptSquares(1) >= a1) & (OptSquares(1) <= b1)) & (OptSquares(2) > b2) % case with true (13) and (18)
73         OptSquares(2) = b2; % projector optimal strategy is (27)
74         OptSquares(3) = 1 - OptSquares(1) - OptSquares(2);
75         disp(' The first optimal square is regular, and the second is moved to the right uncertainty end. ')
76         return
77     end
78     if (OptSquares(1) < a1) & (OptSquares(2) > b2) % case with true (15) and (18)
79         if 1/b2 >= (1 - a1 - a2)/((1 - a1 - b2)^2) % checking whether (28) is true
80             OptSquares(1) = a1;
81             OptSquares(2) = b2; % projector optimal strategy is (29)
82             OptSquares(3) = 1 - OptSquares(1) - OptSquares(2);
83             disp(' The first optimal square is moved to the left uncertainty end, and the second is moved to the right uncertainty end. ')
84             return
85         else
86             if (y2 >= a2) & (y2 < b2) % checking whether (20) belongs to [a2; b2]

```

Рис. 5. Систематизація умов й обчислення (починаючи з 17-го рядка) одного з дев'яти випадків оптимальної стратегії (10)

```

E:\MATLAB7p0p1\work\AGT Theory DoctoralDiss and Support\AGT FUNCTIONS\optsqr3pc.m
File Edit Text Cell Tools Debug Desktop Window Help
Stack Base
86 - if (y2 >= a2) & (y2 < b2) % checking whether (20) belongs to [a2; b2]
87 -     OptSquares(1) = a1;
88 -     OptSquares(2) = y2; % projector optimal strategy is (21)
89 -     OptSquares(3) = 1 - OptSquares(1) - OptSquares(2);
90 -     disp(' The first optimal square is moved to the left uncertainty end, and the second is less than regular. ')
91 -     return
92 - else
93 -     OptSquares(1) = a1;
94 -     OptSquares(2) = a2; % projector optimal strategy is (22)
95 -     OptSquares(3) = 1 - OptSquares(1) - OptSquares(2);
96 -     disp(' Both first and second optimal squares are moved to the left ends of the given uncertainties. ')
97 -     return
98 - end
99 - end
100 - end
101 - if (OptSquares(1) < a2) & (OptSquares(2) > b1) % case with true (16) and (17)
102 - if 1/b1 >= (1 - a1 - a2)/(1 - b1 - a2)^2 % checking whether (31) is true
103 -     OptSquares(1) = b1;
104 -     OptSquares(2) = a2; % projector optimal strategy is (32)
105 -     OptSquares(3) = 1 - OptSquares(1) - OptSquares(2);
106 -     disp(' The first optimal square is moved to the right uncertainty end, and the second is moved to the left uncertainty end. ')
107 -     return
108 - else
109 -     if (y1 >= a1) & (y1 < b1) % checking whether (23) belongs to [a1; b1]
110 -         OptSquares(1) = y1;
111 -         OptSquares(2) = a2; % projector optimal strategy is (24)
112 -         OptSquares(3) = 1 - OptSquares(1) - OptSquares(2);
113 -         disp(' The first optimal square is less than regular, and the second is moved to the left uncertainty end. ')
114 -         return
115 -     else
116 -         OptSquares(1) = a1;
117 -         OptSquares(2) = a2; % projector optimal strategy is (22)
118 -         OptSquares(3) = 1 - OptSquares(1) - OptSquares(2);
119 -         disp(' Both first and second optimal squares are moved to the left ends of the given uncertainties. ')
120 -         return
121 -     end
122 - end
123 - end
124 - end
optsqr3pc Ln 124 Col 4 OVR

```

Рис. 6. Систематизація умов й обчислення (заклучна частина) одного з дев'яти випадків оптимальної стратегії (10)

```

MATLAB
File Edit Debug Desktop Window Help
Current Directory: E:\MATLAB7p0p1\work
>> OptSquares = optsqr3pc([0.01 0.6;0.1 0.3])
The optimal squares are regular.
OptSquares =
    0.3419    0.2417    0.4164
>> OptSquares = optsqr3pc([0.2 0.4;0.1 0.3])
The optimal squares are regular.
OptSquares =
    0.3136    0.2716    0.4148
>> OptSquares = optsqr3pc([0.2 0.21;0.4 0.41])
The first optimal square is moved to the right uncertainty end, and the second is moved to the left uncertainty end.
OptSquares =
    0.2100    0.4000    0.3900
>> OptSquares = optsqr3pc([0.2 0.21;0.4 0.45])
The first optimal square is moved to the right uncertainty end, and the second is moved to the left uncertainty end.
OptSquares =
    0.2100    0.4000    0.3900
>> OptSquares = optsqr3pc([0.2 0.21;0.4 0.6])
The first optimal square is moved to the right uncertainty end, and the second is regular.
OptSquares =
    0.2100    0.4153    0.3747
>> OptSquares = optsqr3pc([0.3 0.6;0.4 0.5])
??? Error using ==> optsqr3pc
This function input must be 2-by-2 matrix with the elements from interval (0; 1), and the second column sum should be less than 1.
>> OptSquares = optsqr3pc([0.3 0.6;0.3 0.35])
The first optimal square is less than regular, and the second is moved to the left uncertainty end.
OptSquares =
    0.3854    0.3000    0.3146
>> OptSquares = optsqr3pc([0.45 0.47;0.44 0.52])
Both first and second optimal squares are moved to the left ends of the given uncertainties.
OptSquares =
    0.4500    0.4400    0.1100
>> OptSquares = optsqr3pc([0.45 0.47;0.44 0.47])
Both first and second optimal squares are moved to the left ends of the given uncertainties.
OptSquares =
    0.4500    0.4400    0.1100
>> OptSquares = optsqr3pc([0.45 0.47;0.1 0.47])
The first optimal square is moved to the left uncertainty end, and the second is less than regular.
OptSquares =
    0.4500    0.2780    0.2720
>> OptSquares = optsqr3pc([0.15 0.47;0.1 0.47])
The optimal squares are regular.
OptSquares =
    0.3064    0.3064    0.3871
>> OptSquares = optsqr3pc([0.25 0.4;0.1 0.58])
The optimal squares are regular.
OptSquares =
    0.2874    0.3461    0.3664
>>
Start

```

Рис. 7. Приклади застосування розробленого MATLAB-засобу optsqr3pc

Висновок та перспектива подальшого дослідження

Розглянуті 11 прикладів обчислення оптимальних площ поперечних перерізів у конструкції з трьома опорами за умов часткової невизначеності стискаючих зусиль

$$x_1 \in [0.01; 0.6] \text{ та } x_2 \in [0.1; 0.3], \quad (34)$$

$$x_1 \in [0.2; 0.4] \text{ та } x_2 \in [0.1; 0.3], \quad (35)$$

$$x_1 \in [0.2; 0.21] \text{ та } x_2 \in [0.4; 0.41], \quad (36)$$

$$x_1 \in [0.2; 0.21] \text{ та } x_2 \in [0.4; 0.45], \quad (37)$$

$$x_1 \in [0.2; 0.21] \text{ та } x_2 \in [0.4; 0.6], \quad (38)$$

$$x_1 \in [0.3; 0.6] \text{ та } x_2 \in [0.3; 0.35], \quad (39)$$

$$x_1 \in [0.45; 0.47] \text{ та } x_2 \in [0.44; 0.52], \quad (40)$$

$$x_1 \in [0.45; 0.47] \text{ та } x_2 \in [0.44; 0.47], \quad (41)$$

$$x_1 \in [0.45; 0.47] \text{ та } x_2 \in [0.1; 0.47], \quad (42)$$

$$x_1 \in [0.15; 0.47] \text{ та } x_2 \in [0.1; 0.47], \quad (43)$$

$$x_1 \in [0.25; 0.4] \text{ та } x_2 \in [0.1; 0.58] \quad (44)$$

дають оптимальні стратегії проектувальнику (перші дві площі поперечних перерізів) та, загалом, нормовані оптимальні площі

$$\begin{aligned} & \{0.3419, 0.2417, 0.4164\}, \\ & \{0.3136, 0.2716, 0.4148\}, \\ & \{0.21, 0.4, 0.39\}, \\ & \{0.21, 0.4, 0.39\}, \\ & \{0.21, 0.4153, 0.3747\}, \\ & \{0.3854, 0.3, 0.3146\}, \\ & \{0.45, 0.44, 0.11\}, \\ & \{0.45, 0.44, 0.11\}, \\ & \{0.45, 0.278, 0.272\}, \\ & \{0.3064, 0.3064, 0.3871\}, \\ & \{0.2874, 0.3461, 0.3664\} \end{aligned} \quad (45)$$

відповідно невизначеностям (34) – (44) і повністю підтверджують працездатність розробленого МАТЛАВ-засобу **optsqr3pc**. Якщо потрібна більша точність, а помилки заокруглень у (45) виключити неможливо, то вона збільшується за допомогою МАТЛАВ-команди “format long”. У подальшому подібні програмні продукти можуть розроблятися для більш складних задач обчислення площ поперечних перерізів, зокрема, для класичної конструкції з чотирма опорами, розташованими симетрично у вершинах прямокутника, але на які діятимуть $[a_i; b_i]$ -невизначені стискаючі зусилля з умовами $\mu_{\mathbb{R}}([a_i; b_i]) > 0 \quad \forall i = \overline{1, 4}$.

Література

1. Воробьёв Н. Н. Теория игр для экономистов-кибернетиков / Воробьёв Н. Н. – М. : Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 272 с.
2. Романюк В. В. Модель визначення оптимального рішення проектувальника у задачі про розрахунок повздовжньої стійкості двох елементів будівельної конструкції при дії на них нормованого стискаючого зусилля / В. В. Романюк // Проблеми трибології. – 2010. – № 1. – С. 42 – 56.
3. Романюк В. В. Моделювання дії нормованого одиничного навантаження на три колони однакової висоти у будівельній конструкції і знаходження оптимальної площі кожної опори / В. В. Романюк // Проблеми трибології. – 2010. – № 3. – С. 18 – 25.
4. Романюк В. В. Доведення тверджень для моделі дії нормованого одиничного навантаження на три колони однакової висоти у будівельній конструкції / В. В. Романюк // Проблеми трибології. – 2010. – № 4. – С. 72 – 81.

Надійшла 13.1.2011 р.

НОВІ МОЖЛИВОСТІ РОЗШИРЕННЯ МЕЖ ЗАСТОСУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ПЛАЗМОВИХ ПОКРИТТІВ

Розглянуті питання міцності зчеплення плазмових покриттів з основою і їх зносостійкості. Наведені способи покращення якості таких покриттів шляхом оплавлення покриття й тонкого поверхневого шару основи або циклічним багаторазовим їх нагріванням безперервним лазерним випромінюванням у діапазоні температур ($T_{(As1)} < T < T_{пл}$). У першому випадку міцність зчеплення покриття з основою досягає 400 – 430 МПа, у другому – підвищується в 4-5 раз, до 90-120 МПа, при вихідній-15-20 МПа. Лазерне термоциклювання відрізняється високою продуктивністю, не вимагає застосування наступної механічної обробки.

The questions of the strength of adhesion of plasma coatings with the base and their durability. These ways of improving the quality of such coatings by melting coating and thin surface layer or base their repeated cyclic heating continuous laser radiation in the range of temperatures ($T_{(As1)} < T < T_{PL}$). In the first case the bonding strength of coating base reaches 400 – 430MPa, the second – in 4-5 times increases to 90-120 MPa, while the original-15-20 MPa. Laser thermal cycling are high performance, does not require the subsequent machining.

Ключові слова: плазмове покриття, лазерне випромінювання, термоциклювання, масоперенесення

Вступ

При виготовленні металевих деталей сучасних машин різного призначення широко використовуються технології нанесення функціональних покриттів, призначених для підвищення визначених експлуатаційних характеристик виробів при одночасному зниженні собівартості їх виробництва. Найбільше продуктивною і широко розповсюдженою є технологія плазмового напилення порошкових матеріалів [1,2]. Вона добре вивчена, дозволяє при достатньо високий продуктивності значно збільшити ресурс роботи деталей, які працюють в умовах тертя, при різних питомих навантаженнях, підвищених швидкостях ковзання, дії агресивних середовищ. Для реалізації цих технологій створені відповідні методики вибору порошкових матеріалів, способи визначення режимів їх нанесення, відповідне технологічне обладнання. Суттєвими недоліками покриттів, отриманих плазмовим, або детонаційним методами, є порівняно невисока міцність їх зчеплення з основою, яка не перевищує 20, максимум 30 кг/мм². До того ж, такі покриття практично неможливо використовувати при дії знакозмінних навантажень, тим більш в умовах високих температур, наявності хімічно активних рідин, газів, мастил і т. ін.

Разом з тим відомо, що при лазерному опромінюванні, як і при дії інших концентрованих джерел енергії, в різних металевих сплавах, в поверхневих шарах спостерігається перерозподіл легуючих елементів, який має аномальний характер, тобто відбувається з набагато більшими швидкостями, ніж при звичайних умовах нагрівання [3,4,5]. Таке явище має місце не тільки, коли сплави під дією лазерного випромінювання знаходяться в рідинному стані, але і в тому випадку, коли всі перетворення відбуваються у твердій фазі. Тому надзвичайно цікавим є пошук таких умов лазерного опромінювання плазмових покриттів, які б обумовили виникнення на межі «покриття-основа» таких процесів масоперенесення, що сприяло б значному покращенню їх експлуатаційних характеристик і розширило межі їх застосування в різних галузях промисловості.

Постановка задачі

Метою даного дослідження є з'ясування основних закономірностей процесів масоперенесення в перехідній зоні між плазмовим покриттям и основою при різних умовах опромінювання, що забезпечують протікання фазових перетворень як в рідкому, так і в твердому стані, вибір найбільш ефективних параметрів лазерної обробки, які обумовлюють отримання суттєвого підвищення міцності зчеплення покриттів з основою при одночасному збільшенні їх зносостійкості.

Методика дослідження.

Досліджувався вплив лазерного опромінювання на процеси оплавлення і нагрівання до температур, які не перевищують $T_{пл}$, плазмових покриттів, формування перехідних шарів до основи, їх структуру, фазовий склад та властивості. Розглядалися покриття типу ВТН (TiB₂-VC-12X18H10T) і ХТН (TiB₂-CrB₂-12X18H10T).

Обробку плазмових покриттів проводили безперервним випромінюванням CO₂ лазера при потужності випромінювання, P = 1000 Вт, яке збиралось плоско – сферичною лінзою із ZnSe з фокусною відстанню F=250 мм до діаметра d = 2,5-10 мм. Зразки із нержавіючої сталі 12X18H10T з покриттями переміщувались відносно лазерного променя за спеціальною програмою зі швидкістю V=0,5 м/хв. Після кожного проходу зразки пересувались у напрямку перпендикулярному швидкості переміщення на шаг обробки, S = 1,5-5 мм. Режим опромінювання забезпечував глибину проплавлення або тільки нагрівання, які дорівнювали і перевищували товщину покриття. Зразки після нанесення покриттів і лазерної обробки піддавались металографічному та дюрOMETричному аналізам, дослідженням розподілу хімічних елементів за програмою "Lainscan", мікроаналізатора "CameBax" SX50". Міцність зчеплення покриття з основою

визначали методом штифтів. В спеціальних циліндричних зразках виготовлялись отвори, в які вставлялись відповідні штифти. Після плазмового напилення покриття піддавалось лазерному термоциклованню. Після обробки зразки встановлювались в спеціальному пристрої в розривній машині. Розмір перерізу штифта – 5 мм. Міцність зчеплення визначалась за величиною руйнуючого зусилля.

Вивчення процесів, які відбуваються при терті та зношуванні, проводились на установці торцевого тертя, яка дозволяє проводити випробування при швидкостях ковзання від 0,01 до 15 м/с, нормальних тисках від 0,5 до 30 МПа в діапазоні температур від кімнатних до 1000 °С. В якості базової була обрана схема випробування на зношування – торцеве тертя кільцевих зразків з розмірами $\varnothing 30 \times \varnothing 40 \times 10$ мм. В якості контрзразка використовувались кільця із нержавіючої сталі 12Х18Н10Т.

Результати досліджень та їх обговорення

На рис. 1 наведена мікроструктура плазмового покриття оплавленого лазерним опроміненням. Структура покриття має стовбчато-дендритну будову. При порівнянні з вихідною мікроструктурою можна відзначити те, що метал під час лазерної обробки перебував у рідкому стані. Під впливом великої швидкості кристалізації утворились дендрити, головні вісі яких розташовані паралельно напрямку тепловідведення. Поблизу самої поверхні напрямку тепловідведення носить менш виражений характер. В мікроструктурі відсутня стовбчата будова, що свідчить про надзвичайно високі швидкості охолодження. Подібну структуру було отримано шляхом подвійного оплавлення при обробці з більшою швидкістю пересування (понад 1 м/хв). При таких умовах опромінення в покритті утворилась мікрокристалічна структура, яка погано виявляється при хімічній обробці і має мікротвердість до 11000-12000 МПа. Характерною рисою оплавлених покриттів є зниження їх мікротвердості в порівнянні з вихідною після напилення (рис. 2). Основною причиною цього є реалізація в оплавлених покриттях переважно композиційного механізму зміцнення на відміну від дисперсійного в плазмовому. Зміна твердості від покриття до основи носить плавний характер. Найвищою мікротвердістю характеризується оплавлене плазмове покриття на сталі У8, у порівнянні з підкладками зі сталі 45 і 12Х18Н10Т. При цьому спостерігається зростання мікротвердості в напрямку від поверхні покриття до підкладки. Причиною цього може бути вуглець, якого найбільше в сталі У8.

У роботі [5] встановлений факт аномального масоперенесення вуглецю в сталі У8 у твердій фазі на відстань 150-200 мкм за час дії випромінювання 4 мс, що обумовлене високими швидкостями деформацій, які мають місце в зоні термічного впливу при імпульсному лазерному нагріванні.



Рис. 1. Мікроструктура плазмового покриття на основі ВТН, оплавленого лазерним випромінюванням.

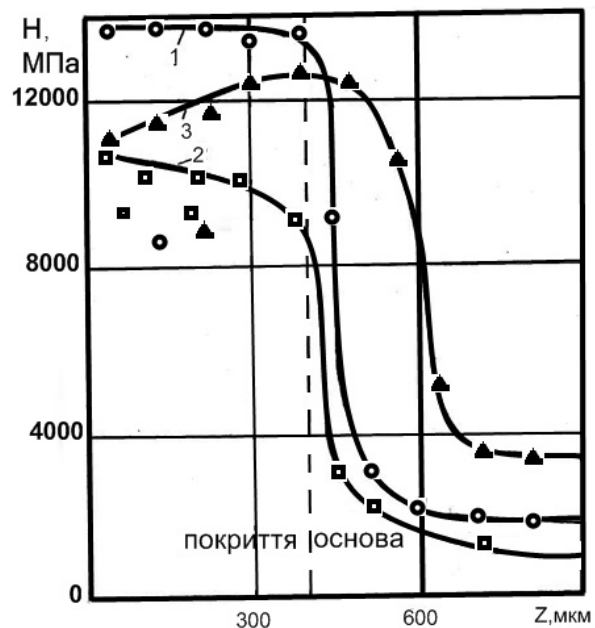


Рис. 2. Зміна мікротвердості по глибині покриттів ВТН: напиленого (1), оплавленого (2) на сталі 12Х18Н10Т; 3-оплавленого на сталі У8.

В сталі аустенітного класу 12Х18Н10Т навпаки лазерне опромінення не викликає ніяких будь-яких істотних змін у її структурі. Мікротвердість в зоні нагрівання не відрізняється від твердості вихідної структури і становить близько 2700 МПа. Оплавлені покриття стають практично безпористими (пористість 0,5-1,0 %), міцність зчеплення з основою підвищується до 400-450 МПа.

Значний інтерес представляє розподіл легуючих елементів в поверхневих шарах основи, де всі процеси відбувались у твердому стані. При дослідженні оплавлених плазмових покриттів зі сплаву ВТН на підкладці зі сталі У8 виявлено суттєвий перерозподіл елементів. На границі покриття-підкладка відбувається утворення складних з'єднань типу V-Cr, Fe-Cr, V-Fe-Cr. Крім цього, як свідчать дані рентгено-

спектрального аналізу, в цій зоні спостерігається підвищений вміст вуглецю. Це обумовлює з одного боку підвищення крихкості покриття в прилеглих до границі ділянках, з другого – підвищення мікротвердості в перехідній зоні і значний її перепад від покриття до підкладки.

Вивчення особливостей оплавленого покриття на сталі 12Х18Н10Т показало відсутність мікротріщин і наявність чіткої границі розділу – «покриття-підкладка». При дослідженні її мікроструктури була виявлена сіра зона товщиною 1,5-2 мкм, що примикає до границі розділу з боку матриці. В цій зоні відбувається значний перерозподіл легуючих елементів – значне підвищення вмісту хрому, марганцю і ванадію.

Більш детальне дослідження розподілу хімічних елементів на границі покриття – підкладка свідчить про їх взаємне розчинення. Так, залізо підкладки взаємодіє із хромом і ванадієм, а потім розчиняється в покритті. Завдяки такій взаємодії можливе утворення з'єднання Fe-Cr- V. Нікель не бере участі у цих процесах, а тільки розчиняється в покритті. У покритті відзначається досить великий вміст титану, який взаємодіє і потім розчиняється в хромі. Вимір мікротвердості показує її рівномірну зміну по лінії покриття-підкладка.

Таким чином, навіть отримані данні вже свідчать про те, що при певних умовах лазерним опроміненням на режимах, які не викликають опалення покриття, можна ініціювати на межі «покриття – підкладка» досить суттєве масоперенесення із покриття в основу і навпаки, що безумовно буде сприяти підвищенню міцності їх зчеплення і покращенню триботехнічних властивостей.

В зв'язку з вище викладеним було проведено спеціальне дослідження. На зразки із нержавіючої сталі 12Х18Н10Т плазмовим способом наносились покриття систем V-Ti-Ni (ВТН) і Cr-Ti-Ni (ХТН), які потім оброблялись випромінюванням CO₂ лазера при потужності випромінювання – 1 кВт, швидкості відносного пересування 0,5 м/хв, діаметрі плями фокусування 5-10 мм, крок обробки становив 5мм. При цьому процес лазерного нагрівання чередувався з процесом автоохолодження. Така термоциклічна обробка (ТЦО) проводилась в діапазоні температур 1000↔600 °С, що охоплюють температури фазових перетворень.

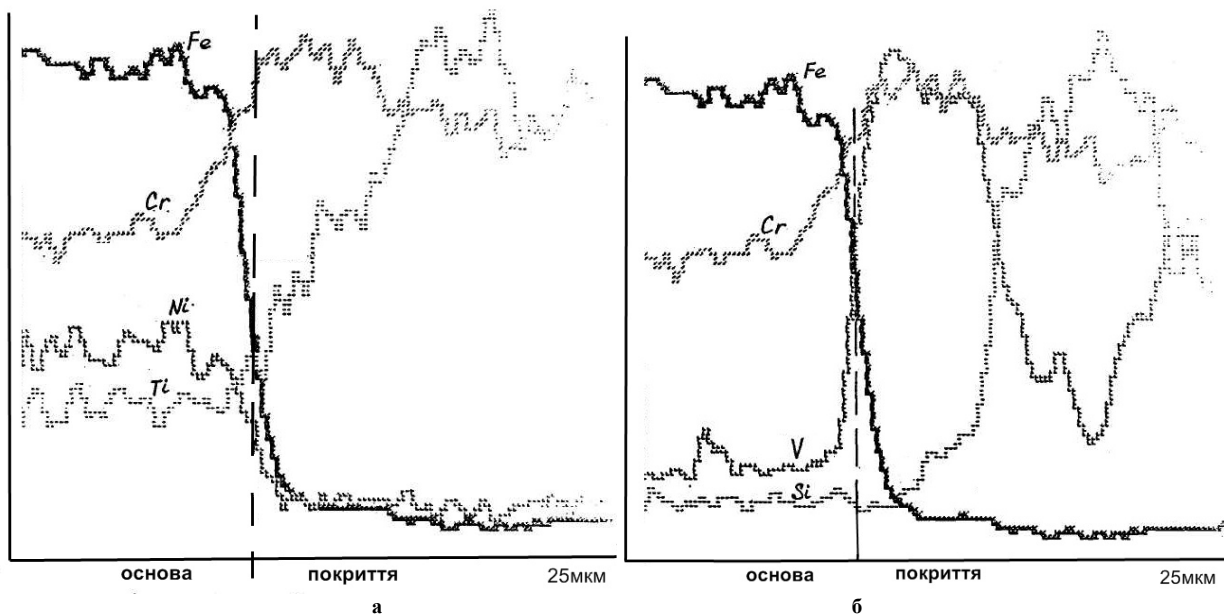


Рис. 3. Розподіл елементів в оплавленому плазмовому покритті ВТН і перехідній зоні с основою зі сталі 12Х18Н10Т (а, б)

Температура верхньої межі циклу складала 0,75 Тпл. Така температура припускає відсутність морфологічних змін в евтектичних кристалах фаз впровадження, в той же час може вплинути на розпад металевої матриці, коагуляцію дисперсних кристалів фаз впровадження, що знаходяться в білих шарах, що виникають при напilenні, а також процеси масоперенесення в зоні покриття-підкладка. Кількість термоциклів вибиралася з урахуванням отримання різних рівнів структурного стану.

У обох системах, починаючи з трьох термоциклів спостерігається розпад білих шарів та помітне зменшення меж між ними. В покритті ХТН після триразової обробки видно збільшення кількості сірих шарів, тобто білих, що частково розпалися. В результаті збільшення кількості термоциклів до п'яти відбувається практично повний розпад білих шарів з виділенням в них дисперсних частинок фаз впровадження. При цьому розвиваються процеси коагуляції і коалесценції, що приводить до збільшення розміру частинок, що виділилися, і появи твердого розчину із значно меншою кількістю фаз впровадження, що знаходяться в твердому розчині.

Необхідно відзначити, що мікротвердість евтектичних областей знижується тільки після чотирьох термоциклів з 9750 МПа до 8740 МПа. Зниження мікротвердості викликано розпадом металевої матриці. Для білих шарів характерним є постійне зниження мікротвердості зі збільшенням кількості термоциклів з 13400 МПа до 9100 МПа (4 термоцикла). При цьому, після шести циклів твердість білих шарів і евтектичних

областей стають приблизно рівними. Мікротвердість покриття після такої обробки декілька нижче напиленого без ТЦО, але вище, чим оплавленого лазером. Понад лише збільшення кількості обробок приводить до зменшення мікротвердості білих шарів в порівнянні з евтектичними складовими. Мабуть коагуляція фаз впровадження, що продовжується, в білих шарах призводить до зниження їх міцності.

ТЦО супроводжується розвитком релаксаційних процесів, які підвищують пластичність напиленого покриття, що підтверджується відсутністю тріщин на відбитках при вимірюванні мікротвердості.

В зв'язку з цим значний інтерес представляє дослідження пористості, міцності зчеплення покриття з підкладкою, процесів масоперенесення на межі з основою після 2-6 кратної ТЦО, коли зберігається відносно висока мікротвердість білих шарів і покриття вцілому.

Результати досліджень показали, що лазерне термоцикування знижує пористість і суттєво підвищує міцність зчеплення плазмових покриттів з основою (табл. 1).

Таблиця 1

Залежність мікротвердості, пористості та міцності зчеплення плазмового покриття ВТН з підкладкою із сталі 12X18H10T від виду обробки.

Стан покриття	Мікротвердість, МПа	Пористість, %	Міцність зчеплення, МПа
Плазмове напilenня	12400	10-12	16-20
Оплавлення лазером	8200	0,5-1,0	400-450
Плазмове напilenня з лазерною ТЦО (4цикл.)	10050	7-9	90-110

Підвищення міцності зчеплення напиленого покриття безумовно пов'язано з процесами масоперенесення, ініційованими лазерною термоциклічною обробкою.

Для вивчення процесу масоперенесення на межі «покриття-матриця» в умовах лазерного термоцикування було проведено локальний мікрорентгеноспектральний аналіз. Аналіз проводився в п'яти точках по довжині відрізка, перпендикулярного до зони розділу покриття з основою. Діаметр зонда становив 2,5 мкм, глибина зондування – 1,5 мкм.

В результаті проведених досліджень були одержані дані про перерозподіл в покритті і підкладці після чотирикратної ТЦО основних елементів: V, Cr, Fe і Ni. У покритті виявлено взаємодію (рис. 2) типу Fe-V (а) і Fe-Cr-V (б).

Згідно даним кількісного аналізу було визначено характер розподілу елементів (рис. 3). Перепади у вмісті хімічних елементів свідчать про неоднорідність покриття. Аналіз концентраційних кривих на межі "покриття – підкладка" показує, що термоциклічна обробка викликає протікання процесів взаємного масоперенесення елементів між покриттям і підкладкою з утворенням між ними елементів металургійного зв'язку. При цьому, спостерігається дифузія ванадію, бору, титана в основу, марганцю – в покриття. Цьому свідчать дані вимірювання міцності зчеплення таких покриттів з основою, яка підвищується з 16-20 МПа до 90-110 Мпа, тобто в 5-6 раз.

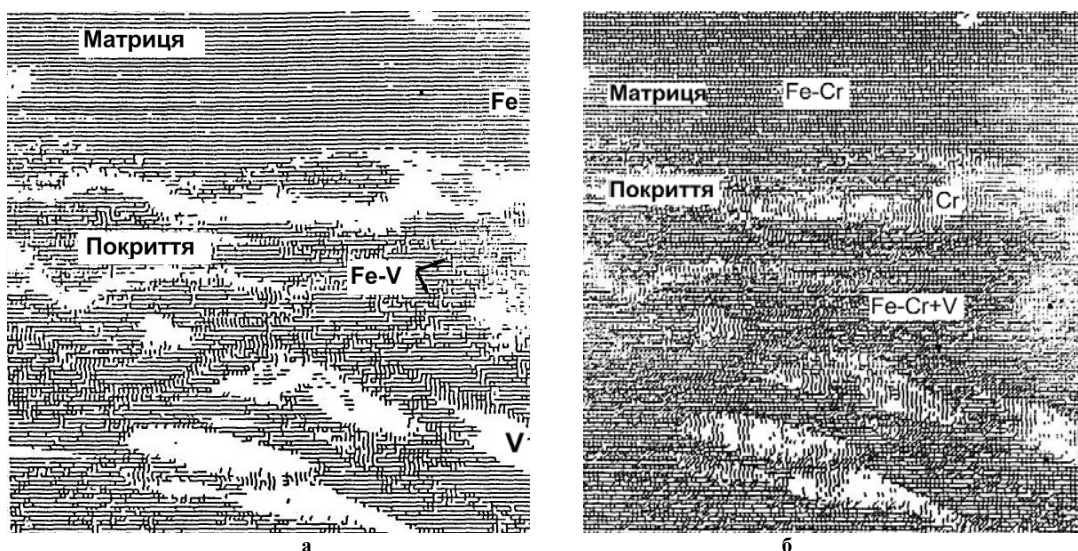


Рис. 2. Розподіл хімічних елементів на межі плазмового покриття ВТН з підкладкою після чотирихкратного лазерного термоцикування

Дослідження тертя і зношування плазмових покриттів в початковому стані і після ТЦО показало різну їх зносостійкість (рис. 4.). ТЦО дозволяє змінювати структурний стан і термодинамічну рівновагу білих шарів, підвищуючи при цьому кількість областей з пластичнішою евтектичною структурою. Така структура здатна сприймати велику частку енергії і в більшій мірі релаксувати напруги при терті. Крім того, збільшення модуля пружності білих шарів при розпаді повинно збільшувати його зносостійкість.

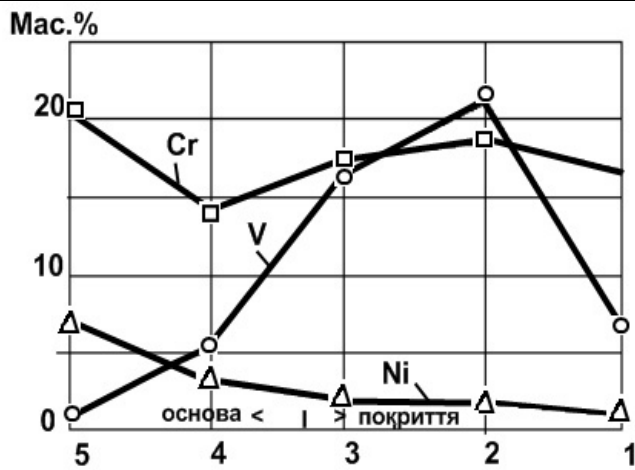


Рис. 3. Розподіл елементів по товщині плазмового покриття ВТН і поверхневому шарі підкладки після чотирикратної термоциклічної обробки.

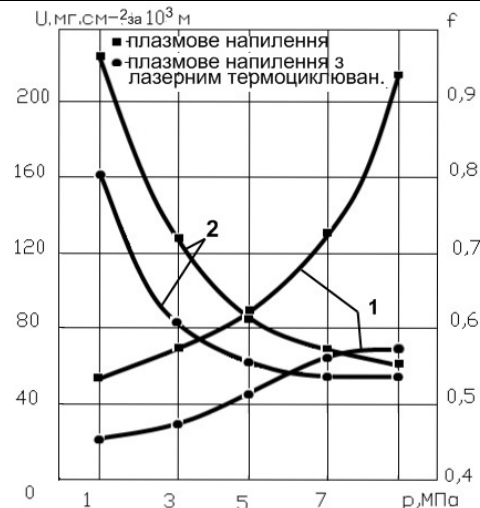


Рис. 4. Залежність триботехнічних властивостей плазмового покриття ВТН без (1,3) і з ТЦО (2,4) від навантаження: 1,2-приведена величина зношування; 3,4-коефіцієнт тертя.

Зниження крихкості і підвищення пластичності покриття після ТЦО збільшує його здібність до утворення вторинних структур, що свідчить про його сприятливі реологічні властивості. Утворення вторинних структур забезпечує підвищення зносостійкості покриттів. При цьому вони є метастабільними і мають ультрадисперсну орієнтовану будову, а їх міцність наближається до міцності компактних матеріалів. На поверхнях тертя з покриттями, що піддавалися ТЦО, утворюються суцільні плівки, тоді як на покриттях без ТЦО утворюються плівки у вигляді окремих ділянок.

Висновки

При лазерному оплавленні плазмового покриття в результаті взаємодії розплаву і твердої підкладки відбувається масоперенесення ванадію і бору, в меншій мірі титана і хрому в основу, розчинення заліза основи розплавом покриття. Межа між покриттям і основою стає розмитою і є твердими розчинами вказаних легуючих елементів в залізі. Покриття стає практично безпористим, адгезійна міцність підвищується до 400-450 МПа. При цьому також підвищується шорсткість поверхні, що потребує додаткової механічної обробки.

Показано, що при лазерній термоциклічній обробці відбувається значне масоперенесення легуючих елементів із основи в покриття і в деякій мірі навпаки, спостерігається розпад білих шарів і пересичених твердих розчинів.

Встановлено, що термоциклічною обробкою в діапазоні температур, що охоплюють фазові перетворення можна підвищувати міцність зчеплення плазмових покриттів з 15-20 МПа до 90-120 МПа, тобто в 4-5 раз, зберігаючи при цьому необхідний рівень структурного стану і твердість.

Вивчення триботехнічних властивостей показує, що лазерне термоциклювання істотно підвищує зносостійкість плазмових покриттів, знижує їх крихкість і підвищує пластичність структурних складових, а також збільшує здатність утворювати вторинні структури.

Література

1. Кузнецов В.Д. Фізико-хімічні основи створення покриттів / В.Д. Кузнецов, В.М. Пашенко. – К. : НМЦ ВО, 1999. – 176 с.
2. Ющенко К.А. Інженерія поверхні // Ющенко К.А., Борисов Ю.С., Кузнецов В.Д., Корж В.М. . –К. : Наукова думка, 2007. – 559 с.
3. Герцрикен Д. Симпульсная обработка и массоперенос в металлах при низких температурах / Д.С. Герцрикен, В.Ф. Мазанко, В.М. Фальченко. – К. : Наук. думка, 1991. – 208 с.
4. Боровский И.Б. Массоперенос при обработке поверхности металлов оплавлением непрерывным лазерным излучением./ Боровский И.Б., Городский Д.Ж., Шарафеев И.Н., Моряцев С.Ф. // Доклады АН СССР. – 1982. – Т. 263. – С. 616-687.
5. Коваленко В.С. Лазерное и электроэрозионное упрочнение материалов / Коваленко В.С., Верхотуров А.Д., Головкин Л.Ф., Подчерняева И.А. – М. : Наука, 1986 – 276с.

Надійшла 10.1.2011 р.

УДК 621.317

Б.Б. ПОСПЄЛОВ

Харківський коледж ДУІКТ

О.М. ШИНКАРУК

Хмельницький національний університет

Ю.О. БАБІЙ

Хмельницький національний університет

АДАПТАЦІЯ БАГАТОАНТЕННИХ СИСТЕМ ДО НЕВИЗНАЧЕНИХ УМОВ ЗВ'ЯЗКУ В MESH-МЕРЕЖАХ

В статті представлено метод адаптації фізичного рівня до невизначених та змінних умов зв'язку в mesh-мережах на основі узгодженого управління випромінюючими та приймаючими багатоантенними системами невідомої структури.

In the article presents a method of adapting the physical layer to the uncertain and changing conditions of communication in Mesh-Based Network Management agreed radiating and receiving multi-antenna system unknown structure.

Ключові слова: багатоантенні системи, mesh-мережі, канал зв'язку, маршрутизація, просторово-часова обробка.

Mesh-мережі представляють новий і перспективний клас бездротових мереж передачі мультимедійної інформації, який в найближчі роки знайде широке комерційне та спеціальне використання [1, 2]. Одним з головних принципів побудови таких мереж є самоорганізація архітектури, що забезпечує можливості топології мережі "кожний з кожним", стійкість до відмов окремих компонентів, збільшення зони інформаційного покриття в режимі самоорганізації, динамічну маршрутизацію трафіку, автоматичний контроль стану мережі і т.д. Важливою особливістю прикладної mesh-мережі є можливість розміщення обладнання всіх або частини вузлів на рухомих об'єктах різного базування, в тому числі пілотованих і безпілотних [3, 4]. Ця особливість mesh-технології (технологію mesh-мережі описує стандарт IEEE 802.11s) стає особливо привабливою для забезпечення зв'язку в умовах неможливості організації провідної інфраструктури. Наприклад, дане рішення ідеальне для організації зв'язку в важкодоступних місцях, а також для оперативного зв'язку (аварійні ситуації, тунелі і нафтові платформи, військові конфлікти) і здатне забезпечити високошвидкісне мобільне підключення, що дозволяє передавати потокові дані в режимі реального часу (наприклад, відеодатки, голосові комунікації, дані телеметрії та інші дані). Технологія mesh-мережі дозволяє самостійно адаптуватися до мінливих умов зв'язку і автоматично конфігурувати мобільні маршрутизатори, об'єднуючи їх за допомогою радіоліній в топологію довільної форми. При цьому маршрутизатори можуть вільно переміщатися і організувати себе в єдину мережу довільної архітектури, топологія якої може швидко і непередбачувано змінюватися. Така мережа може працювати автономно або бути пов'язаною з будь-якою зовнішньою мережею або Інтернет.

Незважаючи на широкі можливості, застосування mesh-мереж обмежується додатками, критичними до швидкості передачі даних і часу доставки повідомлень. У зв'язку з постійно розширюваною сферою застосування mesh-мереж швидкісні інформаційні показники і надійність зв'язку в них стають визначальними. Враховуючи загальний дефіцит частотного ресурсу, актуальною стає проблема забезпечення зростаючих потреб додатків в швидкісних показниках і надійності зв'язку в mesh-мережах. Дана проблема тісно пов'язана з важливою науковою і прикладною задачею створення систем і мереж, здатних забезпечувати високу швидкість і надійність передачі інформації всупереч невизначеним умовам, що змінюються в каналі зв'язку, що викликаються різними збуреннями і перешкодами.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В даний час розвиток теорії і техніки mesh-мереж здійснюється в ряді дослідницьких центрів. Серед них слід виділити групу MANET (Mobile Ad-hoc Networks) при організації IETF (Internet Engineering Task Force), Каліфорнійський університет, Санкт-Петербурзький університет телекомунікацій ім. проф. М.А. Бонч-Бруєвича, Інститут радіотехніки та електроніки ім. В.А. Котельникова РАН, а також Нижегородський державний університет ім. М.І. Лобачевського. Специфіка mesh-мереж полягає в тому, що кожен вузол повинен, у разі необхідності, виконувати функції маршрутизатора. У зв'язку з рухливістю вузлів, канали передачі даних можуть з'являтися і зникати в будь-який момент часу. Це робить неможливим використання відомих протоколів маршрутизації. Відомі протоколи та механізми практично не зачіпають фізичного рівня [1]. Велика частина з них відноситься в основному до MAC-підрівня канального рівня, а стандарт IEEE 802.11s розглядає питання маршрутизації пакетів в рамках mesh-мережі (фактично – мережевий і транспортний рівень моделі OSI). Різноманіття існуючих протоколів і механізмів пояснюється тим, що вони не повною мірою враховують потенційні можливості підвищення ефективності передачі на фізичному рівні моделі OSI. При цьому відомо, що розробка і оптимізація протоколу вищого рівня, особливо типу MAC, повинна базуватися

на повному врахуванні потенційних можливостей найнижчого з рівнів моделі OSI – фізичного рівня. Зокрема, відомі протоколи та механізми не повною мірою враховують всіх можливостей адаптації фізичного рівня до невизначених і динамічних змінних умов зв'язку, характерних для реальних умов передачі в mesh-мережах. Адаптація фізичного рівня обмежується переважно процедурами, що базуються на можливостях частотно-енергетичного ресурсу. У меншій мірі розвинені підходи до реалізації адаптації фізичного рівня в mesh-мережах засновані на можливостях використання просторово-поляризаційного ресурсу [5]. Практично відсутні результати досліджень проблеми адаптації фізичного рівня в mesh-мережах на основі використання узгодженого і динамічного управління передавальної і приймальної багатоантенними системами просторово-часової обробки з урахуванням непевності умов випромінювання, розповсюдження і прийому радіосигналів, топології мережі та можливої просторової динаміки вузлів. На сучасному етапі вирішення цієї проблеми додатково ускладнюється істотною електромагнітною "забрудненістю" середовища передачі з-за інтенсивного використання радіочастотного ресурсу всіма видами радіосистем, а також значного збільшення щільності розміщення радіообладнання і абонентів усіх видів бездротових систем і мереж.

Мета. Розробка конструктивного методу адаптації фізичного рівня до невизначених та змінних умов зв'язку в mesh-мережах на основі узгодженого управління передавальної і приймальної багатоантенними системами просторово-часової обробки з невідомою структурою і характеристиками.

Постановка завдання. Розглянемо на основі структури моделі OSI організацію зв'язку в mesh-мережі між двома сусідніми вузлами. Нехай на фізичному рівні моделі на приймальній і передавальній сторонах використовуються багатоантенні системи просторово-часової обробки. При цьому приймальна багатоантенна система реалізується у вигляді традиційного суматора з попереднім і керованим зважуванням сигналів з виходів заданої сукупності антен з невідомими характеристиками спрямованості і конфігурацією їх розміщення на вузловій платформі. Вважається, що вектор U_R управліннь вагами відомий і визначений, виходячи з вимог прийому. Оскільки на передавальній стороні використовується керована багатоантенна система випромінювання, що реєструється сукупністю сигналів, що діють на виході заданої сукупності антен на приймальній стороні, буде визначатися деяким векторним оператором $Y(U_T)$, залежним від вектора U_T управліннь деякої багатоантенної випромінюючої системи. У загальному випадку оператор $Y(U_T)$ залежить не тільки від вектора управліннь U_T , але й від переданого сигналу $x_\lambda(t)$ і його перетворень в середовищі передачі з урахуванням діючих джерел завад $j(t)$ та шумів (далі для зручності запису в окремих співвідношеннях аргумент часу буде опущений).

Невизначеність і мінливість умов передачі, властиві фізичним рівням в mesh-мережах, зазвичай, характеризуються відсутністю відомостей про структуру та характеристики багатоантенних випромінюючих систем, статистичних характеристикам випромінюваного сигналу і діючих завад та шумів, які можуть непередбачено змінюватися в процесі зв'язку.

Дотримуючись прийнятої структури приймальної багатоантенної системи, сигнал Y_λ , що спостерігається на її виході у фіксований момент часу, може бути представлений у вигляді:

$$y_\lambda = Y^T(U_T)U_R = U_R^T Y(U_T) \quad (1)$$

Нехай потрібний у цей момент часу вихідний сигнал визначається s_0 . Тоді якість передачі на фізичному рівні можна охарактеризувати середнім квадратом відхилення $\varepsilon^2 = M\{(y_\lambda - s_0)^2\}$ (СКВ).

При цьому завдання узгодженого управління передавальної і приймальної багатоантенної системи в розглянутих умовах зв'язку може бути інтерпретована як завдання визначення управліннь U_T передавальної багатоантенної системи, що забезпечують мінімум СКВ передачі для довільних заданих управліннь U_R багатоантенної системи просторово-часової обробки на приймальній стороні.

Рішення завдання. У силу невизначеності структури і характеристик використовуваної передавальної багатоантенної системи, а також статистики сигналу та завад, які можуть при цьому непередбачено змінюватись в процесі зв'язку, скористатися критерієм мінімуму СКВ не представляється можливим [6]. Доступними для спостереження в зазначених умовах виявляються тільки реалізації сигналів на виході сукупності прийомних антен, вихідного сигналу y_λ та похибки c (якщо відомий сигнал S_0).

З урахуванням виразу (1) і в припущенні відомого s_0 похибка визначається:

$$\varepsilon_t^2 = Y^T(U_T)U_R U_R^T Y(U_T) - 2Y^T(U_T)U_R s_0 + s_0^2. \quad (2)$$

У цьому випадку градієнт похибки (2) за вектором U_T буде визначатися вектором:

$$\nabla_{U_T} \varepsilon_t^2 = \frac{dY^T(U_T)}{dU_T} [2U_R U_R^T Y(U_T) - 2U_R s_0] = 2[y_\lambda - s_0] \frac{dY^T(U_T)}{dU_T} U_R, \quad (3)$$

де
$$\frac{dY^T(U_T)}{dU_T} = \begin{vmatrix} \frac{dy_{\lambda 1}}{du_T^1} & \frac{dy_{\lambda 2}}{du_T^1} & \frac{dy_{\lambda 3}}{du_T^1} & \dots & \frac{dy_{\lambda k}}{du_T^1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{dy_{\lambda 1}}{du_T^n} & \frac{dy_{\lambda 2}}{du_T^n} & \frac{dy_{\lambda 3}}{du_T^n} & \dots & \frac{dy_{\lambda k}}{du_T^n} \end{vmatrix} = J_T(Y, U_T)$$
 представляє собою функціональну

матрицю розміру $n \times k$;

k – розмір вектора U_R управління багатоантенної системи на приймальній стороні;

n – розмір вектора U_T управління багатоантенної системи на передавальній стороні.

З врахуванням (3) можливий метод адаптації вектора управління передавальної багатоантенної системи для довільного моменту буде визначатися співвідношенням:

$$U_T(i+1) = U_T(i) - 2\mu_i(y_\lambda(i) - s_0(i))J_T(Y, U_T, i)U_R(i), \quad (4)$$

де $J_T(Y, U_T, i) = J_T(Y(i), U_T(i))$. Відповідно до методу (4) може бути проведена адаптація управління передавальної багатоантенної системи при будь-якому заданому векторі U_R управління приймальної багатоантенної системи. При цьому, як випливає з (4), необхідно знати матрицю $J_T(Y, U_T, i)$ для кожного моменту та процедури адаптації. У (4) параметр μ_i може бути скалярним або матричним і вибиратися із відомих умов збіжності відповідних процедур.

Аналіз результатів. Управління U_T , зумовлені (4), в загальному випадку можуть визначатися на приймальній або передавальній стороні. У разі їх визначення на приймальній стороні необхідна спеціальна радіолінія для управління передавальної багатоантенної системи. В якості таких радіоліній в Mesh-мережах можуть використовуватися наявні лінії зв'язку між вузлами або спеціально організовані для цих цілей лінії управління передавальними багатоантенними системами. У разі визначення управління на передавальній стороні необхідна лінія передачі інформації про похибку, матрицю $J_T(Y, U_T, i)$ і вектор U_R для кожного моменту адаптації. Найбільш важким при реалізації процедури (4) виявляється визначення вектора $J_T(Y, U_T, i)U_R(i)$.

Можна показати, що цей вектор являє собою аналог вектора чутливості деякого динамічного тракту передачі (ДТП), утвореного багатоантенною випромінюючою системою, середовищем передачі та прийому багатоантенної системи. При цьому оцінка вектора чутливості ДТП може бути отримана на основі обчислення різниць поточних значень вихідного сигналу $y_\lambda(i)$ та $y_\lambda(i-1)$, а також управління $u_T^p(i)$ і $u_T^p(i-1)$ для всіх $p = \overline{1, n}$ відповідно до процедури:

$$J_T(Y, U_T, i)U_R \cong \left[\frac{y_\lambda(i) - y_\lambda(i-1)}{u_T^1(i) - u_T^1(i-1)}, \frac{y_\lambda(i) - y_\lambda(i-1)}{u_T^2(i) - u_T^2(i-1)}, \dots, \frac{y_\lambda(i) - y_\lambda(i-1)}{u_T^n(i) - u_T^n(i-1)} \right]^T \quad (5)$$

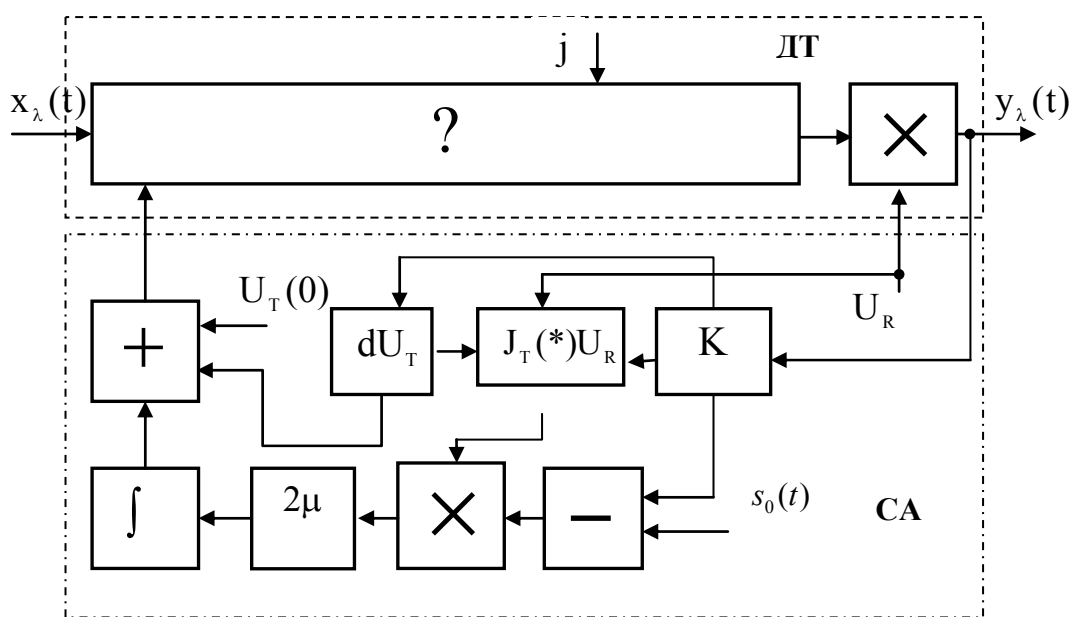


Рис. 1. Структура ДТП за адаптацію управління на передавальній стороні

У цьому випадку структура розглянутого ДТП з відповідною системою адаптивної настройки

управління може бути представлена у вигляді, який зображено на рис. 1. Адаптація вектора $U_T(i)$ починається з оцінки вектора (5), а потім продовжується у відповідності з процедурою (4). При цьому можливий варіант періодичного виконання процедури (5) і в проміжках між ними виконання процедури (4). При цьому процедура адаптації (4) буде виконуватися при періодично оновлюваних оцінках (5). Зазначений режим роботи адаптивного ДТП здійснюється за допомогою контролера (К), який управляє і забезпечує перехід від процедури оцінки до процедури адаптації та навпаки. Період оновлення вектора (5) залежить від швидкості зміни умов зв'язку з урахуванням їх невизначеності і можливої просторової динаміки передавальної і приймальної сторін.

Основні труднощі при реалізації даного методу адаптації, як зазначалося вище, пов'язана з необхідністю використання вектора чутливості ДТП. Для його визначення необхідно введення в процес адаптації спеціальних режимів оцінювання, які потребують додаткових тимчасових витрат. Можна показати, що, використовуючи метод настроюваної моделі для розглянутого ДТП, можна оцінювати вектор чутливості безпосередньо в процесі адаптації.

Метод настроюваної моделі. При цьому ДТП задається у вигляді моделі, що описується рівнянням $y(t) = B^T U_T x_\lambda(t)$, де B – вектор невідомих і змінних управління моделі ДТП. Будемо вважати, що швидкість зміни вектора B управління моделі в часі значно менше швидкості зміни параметрів вхідного процесу.

Задамо показник якості близькості заданої моделі до реального ДТП у вигляді: $M\{(y_\lambda(t) - y(t))^2\}$. Тоді в умовах відсутності відомостей про статистику відповідних процесів для обчислення оптимального (в сенсі мінімуму даного показника якості) вектора управління моделі може бути запропонована відома процедура стохастичної апроксимації виду [6]:

$$dB/dt = -2\mu_B(y_\lambda(t) - U_T^T B x_\lambda(t)) U_T x_\lambda(t), \quad (6)$$

де μ_B – параметр, який визначається із умов стійкості даної процедури. Обчислюючи відповідно до (6) вектор параметрів моделі, оцінка вектора чутливості ДТП буде визначатися вектором $Bx_\lambda(t)$. Дану оцінку можна використовувати в методі (4) замість потрібної оцінки вектора чутливості (5) для адаптації розглянутого ДТП.

Висновки. Запропоновано конструктивний метод адаптації фізичного рівня до невизначених та змінних умов зв'язку в mesh-мережах на основі узгодженого управління випромінюючими та приймаючими багатоантенними системами невідомої структури. Даний метод на основі поточної інформації про варіації вихідного сигналу ДТП, обумовлених відповідними змінами управління випромінюючої системи, дозволяє визначати в процесі адаптації такі значення управління, при яких забезпечується екстремум заданого показника якості передачі сигналів у невизначених і мінливих умовах зв'язку. Зауважимо, що за невизначеність умов зв'язку доводиться платити ускладненням методів адаптації та процедур їх реалізації. При цьому для спрощення реалізації запропонованого методу адаптації обчислення вектора чутливості в ряді випадків можна проводити збільшення управління та відповідних варіацій вихідного сигналу або з використанням розглянутого методу настроюваної моделі. У цьому випадку структура, що представлена на рис. 1, дещо зміниться.

Запропонований метод адаптації випромінюючих багатоантенних структур з невизначеною структурою може знайти застосування не тільки в розглянутих mesh-мережах, а й у різних за призначенням системах і мережах радіозв'язку цивільного та спеціального використання, в яких умови зв'язку є головним чинником, що обмежує можливість підвищення ефективності передачі інформації. Застосування даного методу дозволить, наприклад, істотно підвищити ефективність передачі даних з безпілотних і пілотованих платформ різного базування.

Література

1. Вишне夫斯基 В. М. Энциклопедия WiMAX: путь к 4G / Вишне夫斯基 В. М., Портной С. Л., Шахнович И. В. – М. : Техносфера, 2009. – 472 с.
2. Сюваткин В. С. и др. WiMAX-технология беспроводной связи: основы теории, стандарты, применение / [под ред. В. В. Крылова] . – СПб. : БВХ-Петербург, 2005. – 368 с.
3. STANAG 7023/AEDP-9. NATO Digital Motion Imagery Format. – standard/7023/7023.htm.
4. STANAG 7085. Inoperable Data Links for Imaging Systems.
5. Поспелов Б. Б. Комплексная оптимизация беспроводных каналов связи / Б. Б. Поспелов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 2. – С. 162–167.
6. Цыпкин Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах / Цыпкин Я. З. – М.: Наука, 1968. – 400 с.

Надійшла 16.1.2011 р.

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ЦИФРОВИХ МЕТОДІВ МОДУЛЯЦІЇ/ДЕМОДУЛЯЦІЇ В СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ ТА ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ

Проведено аналіз цифрових методів модуляції в системах зв'язку та передачі інформації. Розглянуто особливості деяких методів модуляції/демодуляції цифрових систем передачі інформації з метою виявлення загальних закономірностей та відмінностей реалізації цих методів. Здійснена систематизація основних показників, цифрових методів модуляції з метою підвищення ефективності використання спектра частот при передачі інформації. Наведено приклади дослідження особливостей демодуляції та ефективності передавання інформації з допомогою цифрових методів модуляції в середовищі Matlab Simulink.

The analysis of digital methods of modulation in the systems of connection and information transfer is conducted. The features of some methods of modulation/demodulation of the digital systems of information transfer are considered with the purpose of exposure of general conformities to law and differences of realization of these methods. Realizable systematization of basic indexes, digital methods of modulation with the purpose of increase of efficiency of the use of spectrum of frequencies, is at an information transfer. The examples of research of features of demodulation and efficiency of passed to information are resulted with the help of digital methods of modulation in the environment of Matlab Simulink.

Ключові слова: маніпуляція, квадратурний модулятор, когерентний демодулятор, бітова помилка.

Вступ

Сучасні системи передачі інформації використовують широкий спектр аналогових та цифрових методів модуляції. У випадку цифрової модуляції (маніпуляції), аналоговий несучий сигнал модулюється цифровим сигналом. Це можна охарактеризувати як форму аналого-цифрового перетворення. Зміни в несучому сигналі вибираються для певного числа альтернативних символів (модуляційний алфавіт) [1].

Як і у випадку аналогової модуляції, залежно від того який із параметрів несучого коливання є інформативним, розрізняють основні цифрові методи модуляції (маніпуляції): амплітудна маніпуляція (АМн); частотна маніпуляція (ЧМн); фазова маніпуляція (ФМн); відносна фазова маніпуляція (ВФМн); квадратурна амплітудна маніпуляція (КАМ) (комбінація фазової і амплітудної маніпуляцій з кінцевим числом, як мінімум двох фазових і двох амплітудних коливань).

Варіант класифікації методів модуляції, що використовуються в системах передачі інформації, наведено на рисунку 1. У випадку цифрової модуляції, кожній з фаз, частот і амплітуд привласнюється унікальна послідовність бінарних біт. Зазвичай, кожна фаза, частота і амплітуда кодується однаковою кількістю біт.

Якщо кодове слово складається з $M=2N$ альтернативних символів, то кожен символ є повідомленням що складається з N біт. Якщо символна передача вимірюється в кількості символів за секунду, то передача даних вимірюється в бітах за секунду. Наприклад, з алфавітом що складається з 16 альтернативних символів, кожен символ має 4 біта. У відношенні ФМ, АМ і КАМ, алфавіт модуляції часто зручно представляти на діаграмі, що показує амплітуду I сигналу на осі X , і амплітуду Q сигналу на осі Y , для кожного символу. ФМ і АМ і інколи також ЧМ, можуть бути сформовані і виявлені з використанням принципу КАМ. I і Q сигнали можуть бути об'єднані в загальний корисний сигнал який є еквівалентним низькочастотним сигналом або еквівалентним модулюючим сигналом. Це представлення корисного модульованого сигналу (який називають також широкосмуговим сигналом або радіочастотним сигналом).

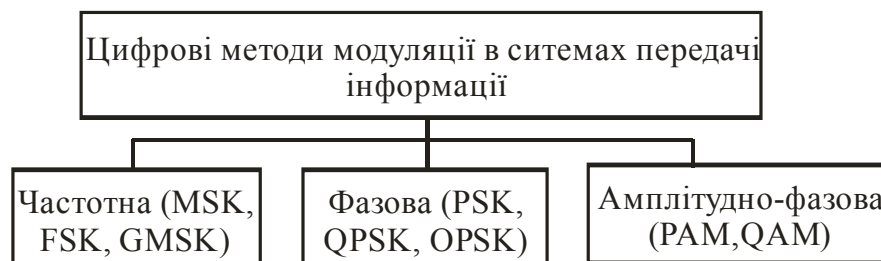


Рис. 1. Класифікація методів модуляції

Основні кроки, які здійснюються модулятором для передачі даних наступні: групування вхідних даних в цифрові слова; запис кодових слів, наприклад амплітуд I і Q сигналів (еквівалентних низькочастотному сигналу) або частот і фаз; налаштування формувачів імпульсів або деяких фільтрів для обмеження смуги пропускання і формування спектру типового для обробки даних цифровою системою зв'язку; цифро-аналогове перетворення (ЦАП) сигналів Q і I (до сьогоdnішнього часу всі з вище перелічених сигналів використовують цифрову обробку). Інколи наступний крок також вимагає використання цифрової обробки сигналу, а лише потім цифро-аналогового перетворення; модуляція високочастотних несучих сигналів, в наслідок чого низькочастотний сигнал переходить в модульований високочастотний сигнал або

радіочастотний сигнал; посилення і аналогову смугову фільтрацію для того, щоб уникнути гармонійного спотворення і періодичного спектру. У приймачі, демодулятор зазвичай виконує смугову фільтрацію; автоматичне регулювання посилення (компенсація згасання); зсув частоти немодульованих I і Q сигналів на проміжній частоті (ПЧ), вибірку і аналого-цифрове перетворення; компенсаційну фільтрацію для визначення амплітуд I і Q сигналів або частоти і фази, що потрапляють в перетворювач частоти (ПЧ); квантування по рівню амплітуди, частоти або фази в найближчі допустимі значення з використанням таблиць; перетворення таблиці квантування амплітуд, частот і фаз в кодові слова; перетворення паралельного коду в послідовний; передача отриманих бітових потоків для подальших перетворень, таких як, усунення деяких помилкових біт. Причому демодуляція може здійснюватись некогерентними або когерентними методами.

Найбільш поширені методи цифрової модуляції: амплітудна маніпуляція (АМ) або (ASK – amplitude shift keying); фазова маніпуляція (ФМ) або (PSK – phase shift keying); частотна маніпуляція (ЧМ) або (FSK – frequency shift keying); квадратурна амплітудна модуляція (КАМ) або (QAM – quadrature amplitude shift keying) – комбінація ФМ і АМ; безперервна фазова модуляція (БФМ); маніпуляція з мінімальним фазовим зсувом MSK – (minimum shift keying); гауссова маніпуляція з мінімальним частотним зсувом GMSK – (Gauss minimum shift keying); мультиплексування з ортогональним частотним розділенням сигналів, також відома як дискретна багатотональна модуляція. Маніпуляція з мінімальним фазовим зсувом і гауссова маніпуляція з мінімальним частотним зсувом в окремих випадках називаються безперервною фазовою модуляцією.

Смугова модуляція має і наступні важливі переваги при передачі сигналів. При використанні одного каналу більше чим одним сигналом, модуляція може застосовуватись для розділення різних сигналів. Подібний метод, відомий як ущільнення з частотним розподілом (frequency-division multiplexing – FDM). Модуляція може використовуватись і для мінімізації наслідків інтерференції. Клас схем модуляції, відомий як модуляція розширеним спектром, потребує смуги, що значно перевищує мінімальну смугу, необхідну для передачі повідомлення. Крім того, модуляція може використовуватись для переміщення сигналу в діапазон частот, в якому легко задовільняються специфічні конструктивні вимоги, наприклад, ті, що відносяться до фільтрації і підсилення. Прикладом такого застосування модуляції є перетворення в приймачі радіочастотних сигналів в сигнали проміжної частоти.

Розглянемо особливості деяких методів модуляції/демодуляції цифрових систем передачі інформації з метою виявлення загальних закономірностей та відмінностей реалізації цих методів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

При порівнянні розглянутих видів модуляції з метою використання їх в системах передачі інформації врахуємо наступні обставини. Систему з N сигналів в системах передачі інформації також прийнято характеризувати з допомогою кореляційних функцій і спектральної густини. Кореляційна функція описується виразом:

$$R_{ij}(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T u_{Si}(t) \cdot u_{ij}(t - \tau) dt, \quad (1)$$

де T – тривалість сигналу; $i = \overline{1, N}$ і $j = \overline{1, N}$ – номер сигналу; R_{ij} – автокореляційна функція; $R_{ij} (i \neq j)$ – взаємкореляційна функція.

Спектральна густина потужності визначається як пряме перетворення Фур'є від автокореляційної функції:

$$U_S(f) = \frac{1}{2 \cdot \pi} \int_{-\infty}^{+\infty} R_{ij}(\tau) e^{-j2\pi f \tau} dt. \quad (2)$$

Крім того важливою характеристикою є енергетична відстань між сигналами:

$$D_{ij} = \int_0^T (u_{Sj}(t) - u_{Si}(t)) \cdot (u_{Si}(t) - u_{Sj}(t))^* dt, \quad (3)$$

де знак $*$ – знак комплексного спряження.

Відстань між сигналами, яка отримується в точці прийому, зв'язана з ймовірністю помилки на біт $\overline{P}_{ном}$, наприклад для гаусівського каналу і двійковою модуляцією:

$$\overline{P}_{ном} = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi \left(\sqrt{\frac{D_{1,2}}{2 \cdot N_0}} \right) \right], \quad (4)$$

де $N_0 = k \cdot T_{ш} \cdot \Delta$ – спектральна густина білого шуму; k – коефіцієнт Больцмана, $T_{ш}$ – шумова

температура; ΔF – смуга частот приймального тракту; $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt$ – функція Лапласа.

У випадку двійкової BPSK спектральна густина визначається з формули:

$$u_S(t) = A^2 \cdot T_c \frac{\sin^2(2 \cdot \pi \cdot f \cdot T_c)}{(2 \cdot \pi \cdot f \cdot T_c)}, \quad (5)$$

де $A^2 \cdot T = E$ – енергія сигналу.
Відстань між сигналами:

$$D_{1,2} = 2 \cdot \sqrt{E}. \quad (6)$$

Взаємкореляційна функція $R_{1,2} = -1$, внаслідок чого сигнали BPSK називають протилежними.

Вірогідність помилки в гаусівському каналі при використанні сигналів BPSK:

$$\bar{P}_{0uBPSK} = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi \left(\sqrt{\frac{2 \cdot E}{N_0}} \right) \right]. \quad (7)$$

При використанні в системах передачі інформації багатократних видів модуляції типу QPSK – 8, відстані між сусідніми сигналами в загальному вигляді:

$$D_{i,i+1} = \sqrt{E \left(2 - 2 \cos \frac{2 \cdot \pi}{M} \right)} = 2 \cdot \sqrt{E} \sin \frac{\pi}{M}, \quad (8)$$

$$D_{1,2} = \sqrt{2E} \text{ при } M = 4, \text{ а } D_{1,2} \approx \sqrt{0,6E} \text{ при } M = 8.$$

В подальшому при збільшенні M відстань між сусідніми сигналами швидко зменшується, тому не дивлячись на зменшення смуги використаних частот в $k = \log_2 M$ раз (по відношенню до BPSK сигналів), багатократна фазова модуляція використовується лише з $M \leq 8$.

Ймовірність помилки в гаусівському каналі для M - розрядних сигналів визначається з виразу:

$$\bar{P}_{0uMPSK} \approx 2 \left[1 - \Phi \left(\sqrt{\frac{2 \cdot E_S}{N_0}} \sin \frac{\pi}{M} \right) \right], \quad (9)$$

де $E_S = E_0 \log_2 M$ – енергія на один символ.

Аналізуючи вираз (9) можна зробити висновок, що із збільшенням кількості сигналів M^k , завадостійкість зменшується. Найбільшою завадостійкістю (або найменшими енергетичними витратами) при заданій ймовірності помилки володіють сигнали BPSK, які називають протилежними, так як

$\frac{1}{A^2} R_{1,2} = -1$. Сигнали QPSK утворюють біортогональну систему сигналів, для якої: $R_{i,i+1} = 0; R_{i,i+1} = -1$. Сигнали MPSK при $M > 4$ втрачають властивості протилежності і ортогональності, що призводить до зниження завадостійкості

Природне бажання підвищити завадостійкість прийому сигналів за рахунок збільшення відстані між сусідніми сигналами $D_{i,i+1}$, привело до пошуку багатократних сигналів з більшим, ніж у MPSK модуляції відстанями. Тут виявляється більш привабливою QAM – модуляція. Відстань між сигналами:

$$D_{i,i+1} = \sqrt{2E} (\sqrt{M} - 1)^{-1}, \quad (10)$$

Спектральна густина потужності QAM – сигналу співпадає із спектром радіоімпульсу тривалістю:

$$T = T_0 \log_2 M, \quad (11)$$

де T_0 – тривалість інформаційного символу.

$$u_S(f) = \frac{A_{cp}^2}{2} \left(\frac{\sin \pi (f - f_c) \cdot T}{\pi (f - f_c) \cdot T} \right)^2, \quad (12)$$

де A_{cp} – середнє значення амплітуди КАМ.

Для зменшення займаної смуги частот в модуляторах сигналів з фазовою модуляцією і квадратурною модуляцією, як було показано вище, застосовуються згладжувальні фільтри. Однак аналіз застосування таких фільтрів приводить до того, що за рахунок згладжування зменшується відстань між сусідніми сигналами, що призводить до зниження завадостійкості і відповідно енергетичної ефективності. Тому вибір параметрів згладжування визначається компромісом між частотною і енергетичною ефективністю.

Проводячи аналогію з КАМ, MPSK – модуляцією, визначимо на основі представлених співвідношень основні характеристики MSK, FSK, GFSK – модуляцій які широко застосовуються в системах

передачі інформації типу DECT, Bluetooth тощо.

Для сигналів FSK – кореляційні функції системи сигналів визначаються виразом:

$$R_{ij} = \begin{cases} 1, i = j \\ 0, i \neq j \end{cases} \quad (13)$$

А отже, сигнали є ортогональними. Рознесення звичайно вибирають $\Delta f = \frac{1}{2T}$. Завадостійкість приймання FSK залежить від типу приймача (когерентний або не когерентний прийом).

Для сигналу MSK – сигнал із неперервною зміною фази (нагадаємо: індекс модуляції дорівнює 0,5):

$$u_S(t) = A \exp\left(j \frac{\pi}{2} \sum_{n=-\infty}^{K-1} x_n + \frac{\pi}{2} x_k \frac{t - kT}{T}\right). \quad (14)$$

Спектральна густина потужності MSK може бути представлена виразом:

$$U_s(f) = \frac{4E_c}{\pi^2} \frac{1 + \cos 2\pi\Delta f T_c}{(1 - 4T_c^2 \Delta f^2)^2}, \quad (15)$$

де $\Delta f = f - f_n$; $E = A^2 T$ – енергія сигналу.

Підвищення ефективності використання спектра, досягається використанням GMSK – модуляції, тобто модуляції з попередньою гаусівською фільтрацією. Тут важливим параметром виступає параметр $\beta = B \cdot T$ – параметр згладжування. Із зменшенням значення коефіцієнта β порушується ортогональність сигналів і відповідно збільшується вірогідність помилки на біт [2]. Крім того сигнали MSK і GMSK не дозволяють забезпечити високої спектральної ефективності в каналах передачі інформації, а сигнали з багатократною модуляцією будуть нестійкими до завмирань в каналах зв'язку. Тому в умовах міської забудови, при необхідності швидкісної передачі інформації, розробляються і застосовуються сигнали із ортогональною частотною модуляцією (OFDM), які знаменують перехід до четвертого покоління систем передачі інформації. Такі сигнали дозволяють боротись із між символною інтерференцією і є альтернативою еквалайзеру у випадку одночастотної модуляції [3].

Розглянемо особливості формування та демодуляції цифрової інформації.

Розгляд почнемо з FSK модуляції, яка знайшла широке застосування в системах передавання інформації із невеликими швидкостями рис. 2.



Рис. 2. Схема формування FSK модуляції

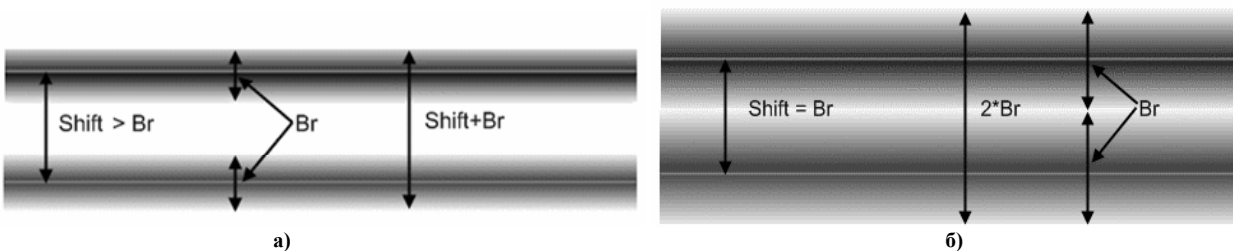


Рис. 3. Розподіл енергії в спектрі сигналу з FSK: а – стандартної, б – критичної

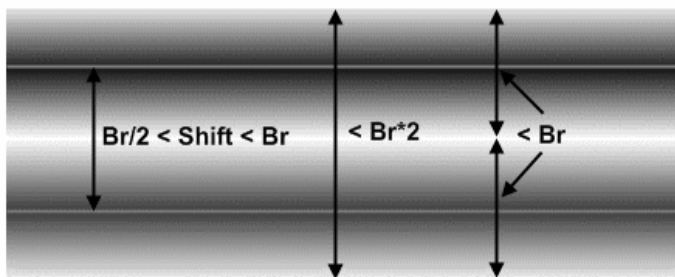


Рис. 4. Розподілення енергії в спектрі GFSK

прямокутності імпульсів модуляції і різкого перемикавання генератора в модуляторі в "невідповідні" моменти часу. Основна енергія рис. 3 зосереджена навколо частот маніпуляції і займає смугу рівну Br , що дає мінімально можливий спектр такого сигналу $2 \cdot Br$ при рознесенні рівному Br , або $Shift$ (рознесення частот маніпуляції) $+Br$ у більш загальному випадку. Гармоніки за межами цього спектру можуть бути ефективно

Прямокутний бітовий потік перетворений до рівнів ± 1 надходить на модулятор (генератор керований напругою), де рівню $+1$ відповідає одна частота, рівню -1 інша. Таким чином на виході модулятора отримуємо класичну модуляцію FSK. Отже, рознесення частот задається в модуляторі і може бути будь-яким, але не менше ніж Br (BaudRate – швидкість маніпуляції). Спектр такого сигналу містить безліч гармонік за рахунок

подавлені без проблем для успішної демодуляції.

Зверніть увагу, що спектр довкола частот маніпуляції при рознесенні рівному Br точно вкладається в простір між частотами без перекриття. Якщо частоти зближувати далі то буде перекриття спектрів "чужих" посилок і взаємні сильні завади. З графічної карти видно основну ідею для зменшення рознесення частот при тій же швидкості маніпуляції, і як наслідок підвищення ефективності самої FSK. Досить лише зменшити область основної енергії бічних частот маніпуляції, що дозволить зменшити рознесення. Ця ідея реалізується через попередню фільтрацію бітового потоку перед подачею на модулятор. Для FSK широке поширення набули фільтри Гауса, вони забезпечують досить ефективно звуження смуги за рахунок згладжування різких переходів напруги маніпуляції і хорошу керованість параметрами. Класична FSK з попередньою фільтрацією напруги маніпуляції фільтром Гауса отримала назва GFSK. Загальна схема модулятора залишається така сама як на рис. 2, але бітовий потік проходить через фільтр Гауса. Це дозволяє відійти від обмеження мінімального зсуву класичної FSK, $Shift \geq Br$ у бік зменшення. Від параметрів фільтру Гауса залежить наскільки сильно буде звужений основний спектр бічних і наскільки сильно можна зрушити частоти маніпуляції. На практиці ця величина завжди більш ніж $Br/2$. Це викликано тим, що зменшення бічних складових досягається сильною пологістю фронтів напруги маніпуляції, що приводить до наїзду одного імпульсу на інший, і як наслідок до неможливості демодуляції. Типове зменшення рознесення для GFSK складає на 30-40 % від класичного $Shift = Br$, тобто $Shift = (0.7-0.6) \cdot Br$. Подальший розвиток техніки FSK маніпуляції привів до появи MSK маніпуляції, маніпуляції з мінімальним частотним зсувом, маніпуляції з рознесенням частот $Br/2$, де відбулася відмова від генератора керованого напругою, і для формування MSK маніпуляції використовуються квадратурні маніпулятори рис 5.

Умови MSK маніпуляції вимагають, що б зміна біт відбувалася при екстремумах коливань генератора в маніпуляторі, або простіше в абсолютних піках синусоїди і/або в нулях. При виконанні всіх умов автоматично встановлюється рознесення частот маніпуляції рівне $Br/2$ і а ширина спектру виходить приблизно $1.5 \cdot Br$ рис. 6.

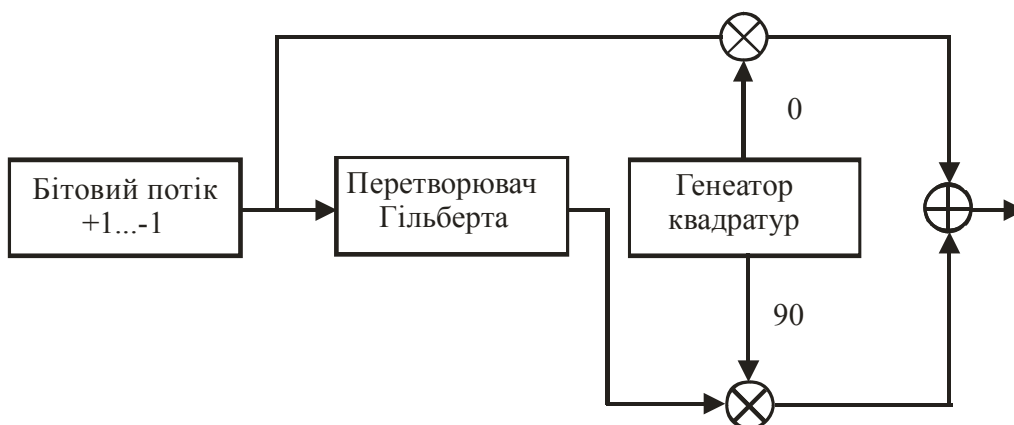


Рис. 5. Схема MSK – модулятора

Не складно зрозуміти, що маніпуляція представляє собою одну частоту яка має на різних послідовностях різну фазу, причому фаза має постійний різний набіг, що і дає дві частоти з мінімальним рознесенням.

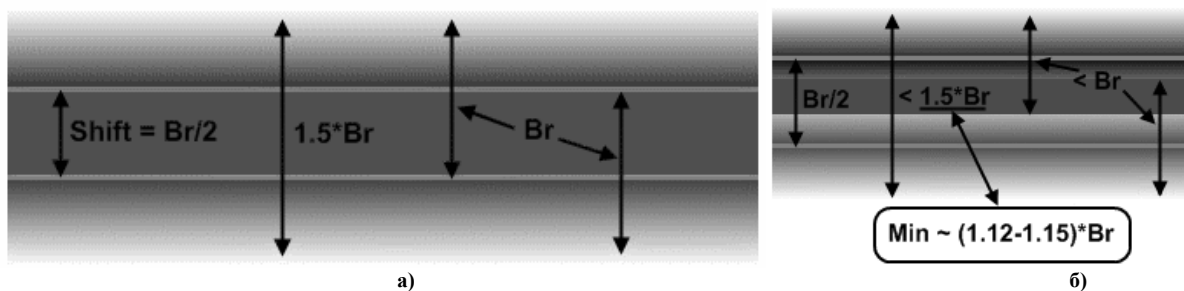


Рис. 6. Розподіл енергії в спектрі сигналу з: а – MSK, б – GMSK

Введення фільтру Гауса в схему MSK модулятора дозволяє зменшити ще більше загальний спектр сигналу, але платою за це буде деяке зниження завадостійкості. Подібна маніпуляція отримала назву GMSK, стандартно GMSK маніпуляція може мати спектр приблизно всього на 12-15 % більш ніж Br , менші значення призводять до суттєвої втрати завадостійкості.

Найбільшу завадостійкість має MSK маніпуляція при когерентному демодуляторі. Звуження смуги при FSK маніпуляції, дозволяє демодулювати сигнали з MSK, GMSK звичайними частотними детекторами. Крім того слід вказати, що MSK і GMSK, по-перше маніпулюють фазою несучого коливання, а по-друге вимагають для повної реалізації своїх потенційних можливостей когерентні демодулятори. Таким чином виходять наступні характеристики цих модуляцій: FSK – простота реалізації і відносно широкий спектр;

GFSK – простота реалізації менший спектр, але і декілька гірша завадостійкість по відношенню до FSK; MSK – дуже висока завадостійкість при відносно невеликому спектрі, але складна схема модулятора-демодулятора; GMSK – ширина спектру практично близька до теоретичної межі B_r , декілька гірша завадостійкість в порівнянні з MSK, складність модулятора-демодулятора така ж як в MSK.

Алгоритм квадратурної амплітудної модуляції QAM представляє собою різновид багатопозиційної амплітудно-фазової маніпуляції. Широке використання модифікації цього алгоритму набули при побудові сучасних модемів, в системах передачі інформації таких як системи дистанційного зондування Землі та супутникової метеоінформації тощо. При квадратурній модуляції змінюється як фаза, так і амплітуда сигналу, що дозволяє збільшити кількість інформації, що передається одним відліком сигналу. Формування та демодуляції QAM здійснюється із допомогою схем квадратурних модуляторів/демодуляторів. На сучасному етапі розвитку систем передачі інформації найбільше розповсюдження отримали декілька варіантів QAM: алгоритм модуляції QAM – 4, при якому інформаційний сигнал кодується зміною фази несучого коливання із кроком $\pi/2$. Цей алгоритм модуляції носить назву QPSK (Quadrature Phase Shift Keying – квадратурна фазова маніпуляція). Велике розповсюдження також отримали QAM – 16, 32, 64, 128 і 256. Алгоритм квадратурної амплітудної модуляції, по суті, є різновидом алгоритму гармонічної амплітудної модуляції і тому має наступні важливі властивості: ширина спектра QAM модульованого коливання не перевищує ширину спектра модулюючого сигналу; положення спектра QAM модульованого коливання в частотній області визначається номіналом частоти несучого коливання. Ці властивості QAM алгоритму модуляції забезпечують можливість побудови на його основі високошвидкісних систем передачі інформації і зокрема із частотним розділенням інформаційних потоків. Завадостійкість QAM оберно пропорційна до його спектральної ефективності.

Дослідження параметрів цифрових методів модуляції засобами Matlab

Кожен тип модуляції для передачі символу з рівнем помилок, який не перевищує певного максимального значення, вимагає певного мінімального значення відношення рівня сигналу до шуму Signal/noise Ratio (SNR або S/n). Крім відношення SNR часто використовується практично ідентичне поняття Cnr Carrier/noise Ratio або C/n. Кожен тип модуляції характеризується необхідним рівнем відношення сигналу до шуму SNR, необхідного для передачі біт інформації з помилками Bit Error Rate (BER) не вище деякого допустимого рівня.

Використаємо середовище Matlab оцінемо завадостійкість частотної маніпуляції у випадку когерентної та некогерентної демодуляції. Порядок моделювання буде проходити наступним чином: змодельуємо випадковий інформативний сигнал, далі частотноманіпульований, додамо до нього шум та виведемо ефективність різних методів модуляції. Повторивши цю процедуру при різних відношеннях сигналу до шуму отримаємо графіки завадостійкості. Наведемо М-файл та результат дослідження рис. 7.

```
s = dmod (x, Fc, Fd, Fs, 'fsk', M, tone); % маніпульований сигнал
snr = -10: 10; % вектор відношення С/Ш (в децибелах)
for k = 1: length (snr)
sn = awgn (s, snr (k), 'measured'); % додавання шуму
% когерентна демодуляція
y_c = ddemod (sn, Fc, Fd, Fs, 'fsk', M, tone);
% некогерентна демодуляція
y_nc = ddemod (sn, Fc, Fd, Fs, 'fsk/noncoherence', M, tone);
% проведення розрахунку вірогідності помилки
[n_err, er_c (k)] = symerr (x, y_c);
[n_err, er_nc (k)] = symerr (x, y_nc);
end
% графік
semilogy (snr, er_c, snr, er_nc)
```

Приведений графік показує залежність вірогідності помилки від відношення сигнал/шум (у децибелах). Перша крива відповідає когерентній демодуляції, друга – некогерентній. Видно, що програш некогерентного варіанту когерентному складає від 1 до 2,5 дБ.

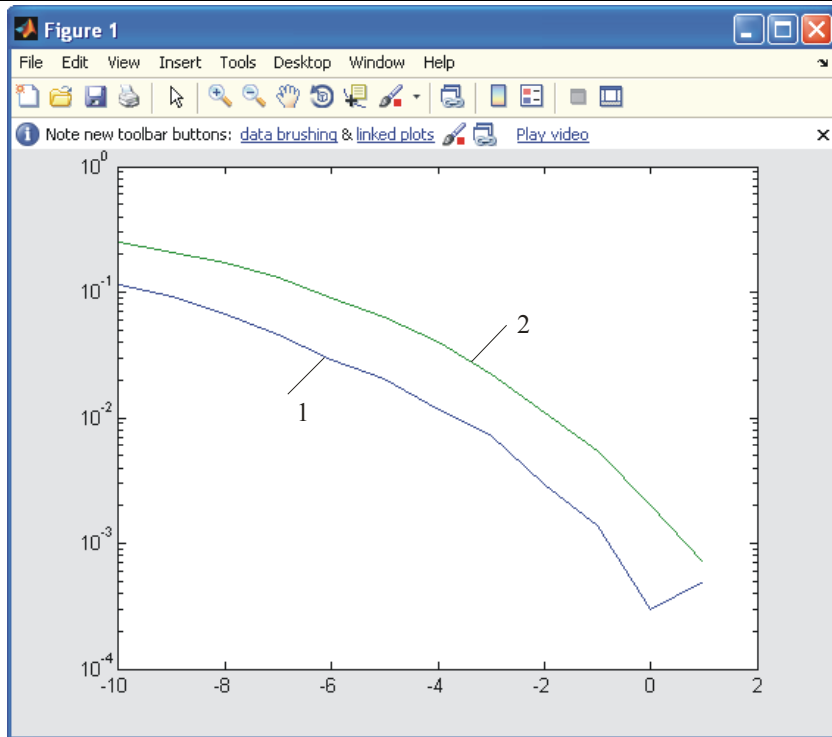


Рис. 7. Графік завадостійкості частотноманіпульованого сигналу

З графіка також видно, що завадостійкість даного виду маніпуляції дуже висока навіть при рівності середніх потужностей сигналу і шуму (відношення сигнал/шум 0 дБ) вірогідність помилки складає приблизно $2 \cdot 10^{-4}$ для когерентного варіанту і приблизно $1,5 \cdot 10^{-3}$ для некогерентного. Платою за це в даному випадку є низька швидкість передачі даних вибрана при модулюванні.

Використаємо інструмент BERTool середовища Matlab та проведемо розрахунок зміни бітової помилки BER в системі зв'язку з BPSK модуляцією від відношення сигналу до шуму E_b/N_0 у дБ. Використавши засоби Matlab Simulink отримуємо симуляційну модель рис. 8.

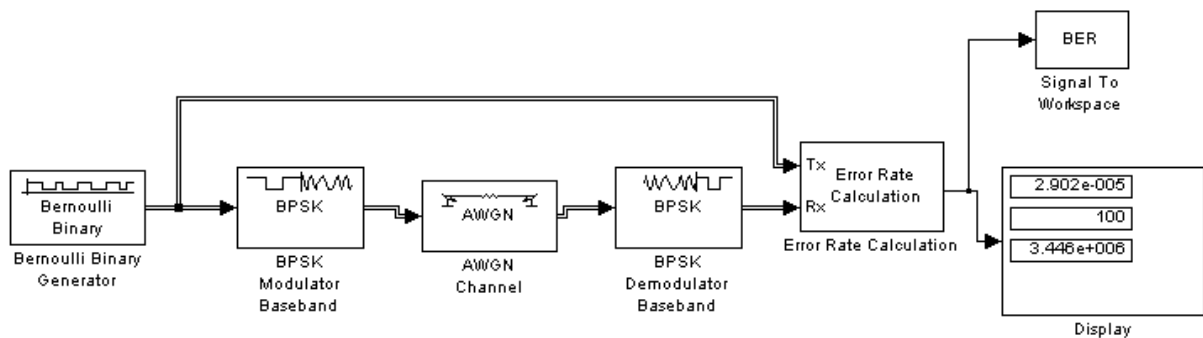


Рис. 8. Simulink – модель системи передачі інформації з BPSK модуляцією

Ініціалізація параметрів моделі здійснюється в MATLAB Command Window командою:

```
set_param('New 1','preLoadFcn',...
'EbNo = 0; maxNumErrs = 100; maxNumBits = 1e8;');
```

В якості каналу зв'язку використано AWGN канал який додає білий шум Гауса до реального або складного вхідного сигналу. Вікно інструменту BERTool та результати отриманої теоретичної кривої та кривої отриманої в результаті симуляції залежності відношення сигналу до шуму при зміні бітової помилки BER зображено на рис. 9.

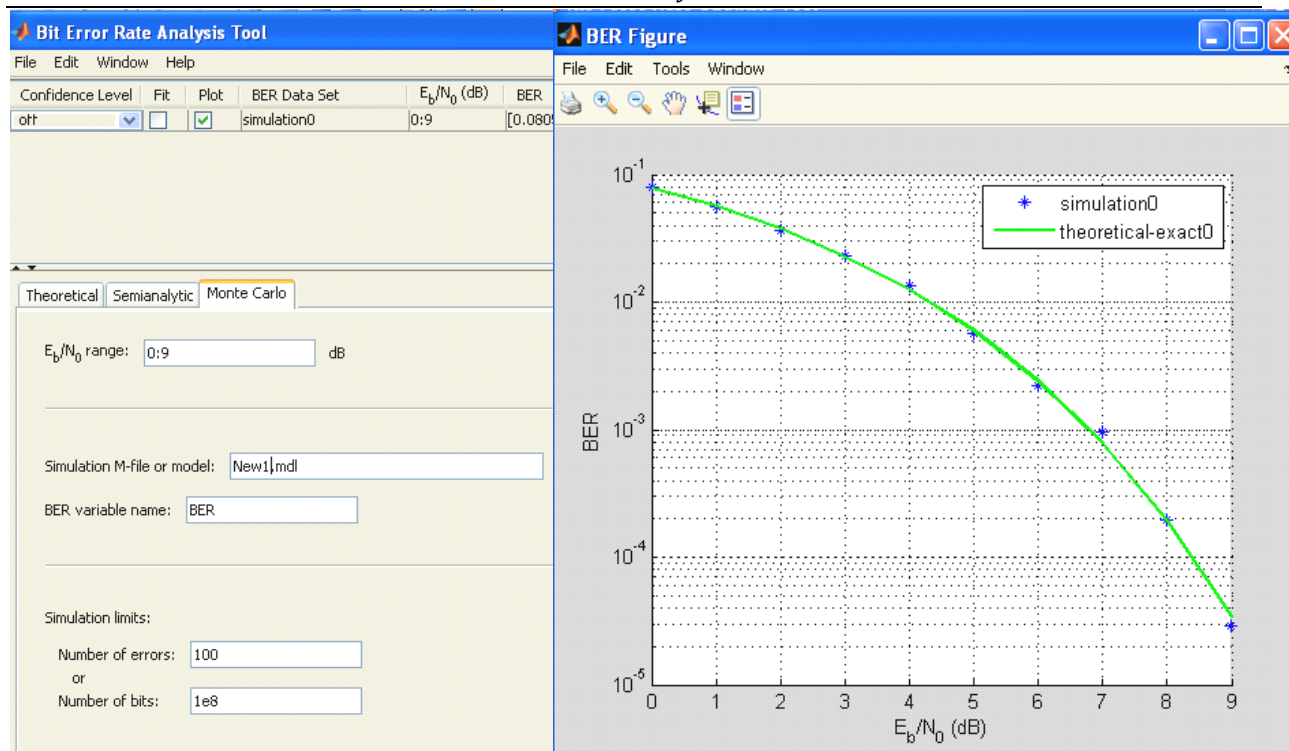


Рис. 9. Вікно інструменту BERTool

Результати симуляції характеризуються стрімкою зміною бітової помилки при прийманні сигналу BPSK, від відношення сигнал до шуму.

Висновки

- 1) сучасні системи зв'язку та передавання інформації характеризуються широким застосуванням в них цифрових методів модуляції;
- 2) порівняння цифрових видів модуляції з метою використання їх в системах передачі інформації здійснюються з допомогою кореляційної функції, спектральної густини та енергетичної відстані між сигналами;
- 3) перехід на високошвидкісні та спектрально-ефективні методи модуляції пов'язаний з застосуванням при формуванні та детектуванні інформації квадратурних та когерентних методів модуляції/демодуляції;
- 4) Matlab Simulink – дуже потужний інструмент, який може використовуватися для моделювання в телекомунікаційних системах. Шляхом побудови імітаційних моделей вдається зручно оцінювати основні головні показники систем зв'язку та цифрових методів модуляції/демодуляції.

Література

1. Бойко Ю.М. Концептуальні особливості реалізації безпроводних сенсорних мереж / Ю.М. Бойко, В.В. Мішан // Вісник Хмельницького національного університету. – Технічні науки. – Хмельницький. – 2010. – №2. – С. 94–98.
2. Помехоустойчивость и эффективность систем передачи информации / А.И. Фалько, В.Л. Банкет, П.В. Иващенко; [под. ред. А.Г. Зюко]. – М.: Радио и связь, 1985. – 304 с.
3. Григорьев В.А. Сети и системы радиодоступа / Григорьев В.А., Лагутенко О.И. – М: Экотрендз, 2005. – 375 с.
4. Boyko J., Babiy J., Karpova L. Conceptual Features of Application of Facilities of Adaptive Filtration are in the Tasks of Authentication of Noise of Communication Channels / J. Boyko // Proceeding of the Xth International Conference TCSET 2010. – Lviv – 23.02.2010. P. 299

Надійшла 11.1.2011 р.

ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЦИФРОВЫХ СХЕМ ДЛЯ МНОГОЯДЕРНЫХ СИСТЕМ

В статье предлагаются практические подходы к адаптации параллельных генетических алгоритмов генерации идентифицирующих последовательностей цифровых схем для рабочих станций с многоядерными процессорами. Выделены три подхода к построению таких алгоритмов. Распараллеливанию подвергаются процедуры моделирования работы цифровой схемы на заданной входной последовательности, которые либо сами формируют процедуру оценки особи, либо являются её частью. Программная реализация основана на многопоточном программировании. Приведены результаты машинных экспериментов на схемах ISCAS-89.

The article offers a practical approach to the adaptation of the parallel genetic algorithms of the identifying sequences generation of digital circuits for workstations with multi-core processors. Highlighted are three approaches to constructing such algorithms. Paralleling procedures are modeling digital circuits on a given input sequence, which either by themselves form a procedure for evaluating an individual or is a part of it. The software implementation is based on many-threaded programming. The results of experiments on the circuits ISCAS-89 are given.

Ключевые слова: генетический алгоритм, параллельные вычисления, многоядерные процессоры.

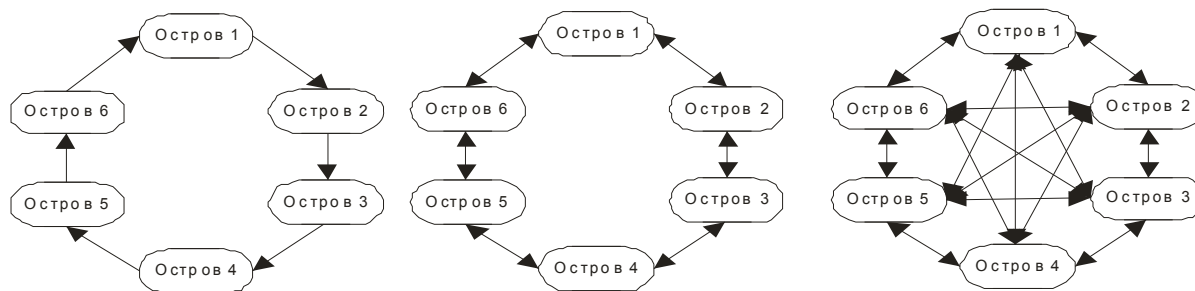
Введение

В настоящее время средства автоматизированного проектирования позволяют эффективно разрабатывать цифровые схемы, содержащие десятки и сотни тысяч логических вентилей, а также тысячи элементов состояний. В последнее время в этом направлении получили широкое распространение генетические алгоритмы (ГА) [1–3]. Их преимущество над структурными методами построения идентифицирующих последовательностей заключается в способности обрабатывать схемы очень большой размерности. Это связано с тем, что для оценки строящейся последовательности они используют информацию, полученную из процедур моделирования. Фактически, при этом происходит подмена задачи синтеза задачами анализа.

Недостатком такого подхода является скорость работы алгоритмов. Причина кроется в том, что основная вычислительная нагрузка ложится на процедуры оценки качества потенциальных решений, которые в ГА построения тестов представлены процедурами моделирования. Это заставляет искать пути выхода из ситуации. Например, в работе [4] предложен ГА построения тестов для многопроцессорной вычислительной системы. Эксперименты проводились на дорогостоящем кластере, состоящем из 16 рабочих станций Dec Alpha 3000/500. Авторы данной статьи также ранее описывали параллельные генетические алгоритмы, которые основаны как на модели «островов» [5], так и на модели «рабочий-хозяин» [6], которые ориентированы на кластер, построенный на обычной топологии Ethernet.

В данной работе предлагается иной подход к повышению быстродействия генетических алгоритмов. Он основан на доступности многоядерных процессоров [7]. Массовое их внедрение в рабочие станции не влечёт за собой автоматического увеличения быстродействия при использовании существующего программного обеспечения. Система мониторинга загрузки процессора покажет либо 100% загрузки одного из ядер, либо неравномерную загрузку всех ядер. Это связано с тем, что существующее программное обеспечение САПР разработано в эпоху одноядерных процессоров и базируется на последовательных алгоритмах. Очевидно, что для более полного использования вычислительных возможностей современных процессоров программное обеспечение также должно быть адаптировано. Возможны два пути развития:

- создание принципиально новых алгоритмов, позволяющих эффективно использовать всю вычислительную мощь современных процессоров;
- модификация уже существующих алгоритмов под актуальную аппаратную платформу.



а) обмен по кольцу

б) двунаправленный обмен по кругу

в) обмен каждый с каждым

Рис. 1. Различные топологии взаимодействия компонент распределенных ГА

Для реализации авторы выбрали второй подход. В данной статье будут описаны способы адаптации для многоядерных вычислительных систем описанных ранее параллельных алгоритмов построения идентифицирующих последовательностей.

На первый взгляд такая адаптация кажется очевидной, поскольку для этого достаточно каждому компьютеру кластера в существующем параллельном алгоритме поставить в соответствие ядро процессора для нового алгоритма. Однако такое прямое копирование, скорее всего, не даст приемлемого результата. Это связано со структурой вычислительных сред. В первом случае параллельная структура представлена системой с распределённой памятью, тогда как во втором – с общей и к тому же с ограниченной кэш-памятью. Поэтому авторы предлагают другой подход. Поскольку самыми трудоёмкими процедурами в генетическом алгоритме являются функции оценки особей, то именно они становятся узким местом в повышении производительности. Оптимизация данного фрагмента алгоритма для работы на многоядерных процессорах позволит существенно повысить скорость работы всего ГА. Все предлагаемые подходы основаны на понятии многопоточности, которая является основным инструментом построения приложений для многоядерных процессоров.

Данная статья имеет следующую структуру. Во введении обоснована актуальность проводимых исследований. Во втором разделе мы описываем адаптацию к многоядерным системам параллельных ГА по схеме «островов». В следующем разделе для таких систем описаны ГА, которые построены на модели «рабочий–хозяин». В заключении делаются выводы и указываются возможные дальнейшие исследования в данном направлении.

Схема «островов» локальных параллельных ГА

В этом разделе описывается адаптация к многоядерным системам параллельных ГА построения идентифицирующих последовательностей, которые основаны на схеме «островов». Обычно такие распределённые ГА разрабатываются для кластерных архитектур, которые состоят из нескольких независимых рабочих станций со своей локальной памятью. На каждой из таких систем выполняется своя копия ГА (построение новых поколений популяций). При этом генетические параметры работы этих алгоритмов должны несколько отличаться друг от друга. Это позволит направить поиск на каждом таком «острове» в отличном от других направлении. Через заданное количество итераций (достаточно редко) острова производят обмен лучшими особями, что позволяет корректировать направление поиска для менее удачных островов.

Эффективность параллельных ГА, построенных по такой схеме, определяет именно взаимодействие компонент. Можно выделить основные характеристики такого обмена:

- топология, которая определяет, какие подпопуляции будут считаться соседними и, соответственно, между какими островами будет возможен обмен особями (рис.1);
- время изоляции, которое определяет, сколько эпох ГА не будет производиться миграция;
- степень миграции, которая определяет количество особей, участвующих в миграции;
- стратегия отбора особей для миграции;
- стратегия удаления особей из подпопуляции при проведении миграции;
- стратегия репликации мигрирующих особей.

Заметим также, что хотя популяции развиваются независимо и равноправно, в реализациях такого вида алгоритмов выделяется сервер, который инициализирует работу и реализует топологию обмена данными. Более того, синхронизация работы копий ГА на островах требует способа их взаимодействия. Точная и корректная реализация такого взаимодействия различных копий ГА в модели островов является сложной задачей [8]. Для этого реализуются протоколы, в которых фиксируются точки обмена информацией между островами и сервером.

Адаптация алгоритма заключается в организации многопоточного приложения, в котором каждый поток реализует ГА для своего острова. Также выделяется один управляющий поток. Каждому потоку назначается одно ядро процессора. На этом ядре реализуется как основной цикл ГА острова, так и процедуры моделирования для оценки особей, которые развиваются на этом острове.

Такая схема адаптации имеет целый ряд недостатков:

- несмотря на то, что популяции развиваются на одной вычислительной системе с общей памятью, приходится реализовывать протоколы взаимодействия островов, которые как усложняют реализацию, так и замедляют её; более того, синхронизация работы копий ГА влечёт к росту простоя ядер процессора;
- число ядер в современных процессорах существенно ниже, чем число островов в реализации параллельных ГА;
- ограничения структуры процессоров, когда общий кэш выделяется на группу ядер.

Последнее замечание является существенным. Каждая копия ГА должна иметь доступ к полному описанию схемы, которая в памяти инструментальной ЭВМ представлена совокупностью таблиц [9], размер которых прямо зависит от размерности схемы. Возможно два способа предоставить копии ГА доступ к описанию схемы: 1) каждый «остров» имеет свою копию таблиц описания схемы; 2) все «острова» за данными обращаются к одной общей копии структуры данных. В первом случае каждый остров будет генерировать обращение к своей области данных, однако проходить они будут через общий кэш. Во втором

случае обращения будут производиться к одному участку памяти, однако гораздо чаще. Таким образом, узким местом в обоих подходах становится пропускная способность подсистемы кэш-основная память.

Отмеченные недостатки заставляют искать другие практические пути адаптации параллельных ГА к многопроцессорным рабочим станциям.

Схема «рабочий–хозяин» локальных параллельных ГА

Схема «рабочий–хозяин» предполагает, что в параллельном ГА существует только один основной цикл построения популяций, который соответствует процессору «хозяину». Все остальные процессоры являются «рабочими» и они реализуют процедуры вычисления оценок особей.

Как было отмечено выше, именно эти процедуры несут наибольшую вычислительную нагрузку в ГА построения входных идентифицирующих последовательностей, и лишь незначительную – процедуры построения популяций. Это связано с тем, что вычисление оценки основано на моделировании работы схемы на данной входной последовательности. Для решения проблемы в распределённых вычислительных средах авторами был предложен алгоритм моделирования, ориентированный на кластерную среду [6]. Реализация данного алгоритма для многоядерных систем [10] показывает, что можно добиться существенного увеличения быстродействия за счёт организации параллельного моделирования на системах такого класса.

Описываемый в данной реализации подход к адаптации заключается в распараллеливании процедур моделирования оценки особей. В этом случае главный цикл ГА реализуется потоком-«хозяином», который поручает другим вычислительным потокам-«рабочим» производить такую оценку. Таким образом, построение ГА соответствует схеме «хозяин–рабочий».

Для распараллеливания процедур вычисления оценочных функций авторы выделили три подхода. Как отмечено выше, все они основаны на многопоточном программировании.

Первый подход предназначен для многоядерных систем и тех алгоритмов, которые допускают распараллеливание внутри процедуры оценки одной особи. Авторы реализовали его для алгоритма построения верифицирующих последовательностей [11]. В данном алгоритме оценочная функция входной последовательности строится на основании моделирования и сравнения поведения двух верифицируемых схем. Последовательная реализация фрагмента кода вычисления оценочной функции в терминах потоков имеет вид:

```
Вычисление_Фитнесс(схема_1, схема_2, последовательность)
{
    Поток_1=СоздатьПотокМоделирования(схема_1, последовательность);
    Поток_1->ЖдатьЗавершения();
    Поток_2=СоздатьПотокМоделирования(схема_2, последовательность);
    Поток_2->ЖдатьЗавершения();
    Фитнесс=СравнениеСхем(схема_1, схема_2);
}
```

Видно, что моделирование второй схемы в последовательном алгоритме не начинается до завершения моделирования первой, что и даёт в результате загрузку одного ядра и простой второго. Это не позволит получить общую загрузку процессора выше 50% для любой системы с более чем двумя вычислительными ядрами.

Ситуация легко исправляется, если оба потока моделирования заставить выполняться одновременно на разных вычислительных ядрах. Псевдокод такой процедуры вычисления фитнес-функции в терминах потоков приведён ниже.

```
Вычисление_Фитнесс(схема_1, схема_2, последовательность)
{
    Поток_1=СоздатьПотокМоделирования(схема_1, последовательность);
    Поток_2=СоздатьПотокМоделирования(схема_2, последовательность);
    Поток_1->ЖдатьЗавершения();
    Поток_2->ЖдатьЗавершения();
    Фитнесс=СравнениеСхем(схема_1, схема_2);
}
```

В данной реализации создаются сразу два вычислительных потока, каждый из которых выполняет моделирование одной схемы. После этого происходит сравнение результатов моделирования и вычисление оценки. Поскольку предполагается, что схемы имеют одинаковую последовательную структуру, а отличаются в реализации комбинационных блоков, то сложность процедур их моделирования примерно одинакова и для разных ядер время моделирования будет также примерно одинаковым. Поскольку в нашем примере реализуется два параллельных потока, то наибольшее ускорение должно быть получено для двухядерных систем.

Для проверки эффективности предложенной модификации алгоритма были проведены эксперименты на контрольных схемах из международного каталога ISCAS-89 [12]. Здесь и далее программная реализация алгоритмов проводилась в среде C++ Builder 6 с использованием потоковых

классов TThread. Апробация проводилась на четырёх платформах с разным количеством ядер процессора. Стратегия экспериментов (как и в двух дальнейших случаях) заключалась в фиксации некоторого числа поколений в генетическом алгоритме. Это, с одной стороны, позволяло исследовать зависимость от оптимизации процедур моделирования, а с другой стороны учитывала, что в генетическом алгоритме помимо моделирования есть «накладные расходы», которые выражаются в процедуре построения популяций. Поскольку платформы не являлись эквивалентными, то для каждой из них измерялось время работы как последовательной, так и параллельной версий алгоритма. Результаты экспериментов приведены в табл.1. На основании этих данных были вычислены средние для всех схем значения ускорений для каждой платформы. Диаграмма на рис.2 показывает сравнение этих значений. Видно, что наилучшее ускорение 1.88 раза получено для платформы с двухядерным процессором. Дальнейшее увеличение числа ядер не улучшает ситуации. Этот факт является очевидным, поскольку описанная модификация является двухпоточной.

Таблица 1

Время работы модификаций алгоритма на различных инструментальных платформах

модификация	схема											
	s3271	s3330	s3384	s4863	s5378	s6669	s9234	s13207	s15850	s35932	s38417	s38584
2-ядерный процессор Intel Core 2 Duo E-4500 2,2Ghz, выключено 1 ядро, время работы, сек.												
последовательное	102	73	89	232	63	276	60	111	187	827	517	599
параллельное	102	74	90	232	63	280	59	114	181	812	512	587
2-ядерный процессор Intel Core 2 Duo E-4500 2,2Ghz, время работы, сек.												
последовательное	100	73	88	226	62	278	54	98	165	780	468	561
параллельное	53	39	47	119	34	146	29	48	75	402	289	345
4-ядерный процессор Intel Core Quad Q6600 2,4Ghz, выключено 1 ядро, время работы, сек.												
последовательное	103	79	91	229	72	270	73	99	155	689	414	487
параллельное	55	44	52	122	44	149	59	84	116	420	325	350
4-ядерный процессор Intel Core Quad Q6600 2,4Ghz, время работы, сек.												
последовательное	106	80	95	232	76	280	77	103	159	702	412	498
параллельное	58	48	54	122	48	154	69	95	128	436	391	363

Для параллельной версии алгоритма принято вычислять параметры ускорения, эффективности и доли последовательного кода [13]. Ускорение, рассчитываемое для параллельной реализации алгоритма, определяется формулой:

$$S_p(n) = \frac{T_1(n)}{T_p(n)}, \quad (1)$$

где p – число процессоров в параллельной реализации алгоритма, n – параметр вычислительной сложности алгоритма, $T_i(n)$ – время выполнения параллельного алгоритма на системе с i процессорами.

Эффективность использования процессоров при параллельной реализации алгоритма рассчитывается по формуле:

$$E_p(n) = \frac{T_1(n)}{p \cdot T_p(n)} = \frac{S_p(n)}{p}. \quad (2)$$

Для нашего подхода под числом процессоров будем понимать число ядер процессора. Тогда параметр $E_p(n)$ будет выражать эффективность использования ядер процессора.

Доля последовательного кода (доля последовательных вычислений) f служит для оценки свойств алгоритма к распараллеливанию и определяется из закона Амдаля:

$$f = \frac{p/S_p - 1}{p - 1}. \quad (3)$$

Для системы с лучшим значением среднего ускорения мы вычислили данные характеристики в соответствии с формулами 1–3, которые приведены в табл. 2. Заметим, что среднее значение эффективности загрузки ядер равно 0.94, что является очень высоким показателем.

Второй подход можно применять для тех алгоритмов, в которых вид оценочной функции не допускает явного распараллеливания вычислений внутри неё. В этом случае в виде отдельных исполняемых потоков можно оформить полностью процедуру вычисления оценочной функции отдельных особей. Привязав потоки к

ядрам моделирования, мы получим ситуацию, когда на первом ядре вычисляется оценка первой особи, на втором ядре – для второй и т.д. Число особей в генетическом алгоритме обычно велико (100 и

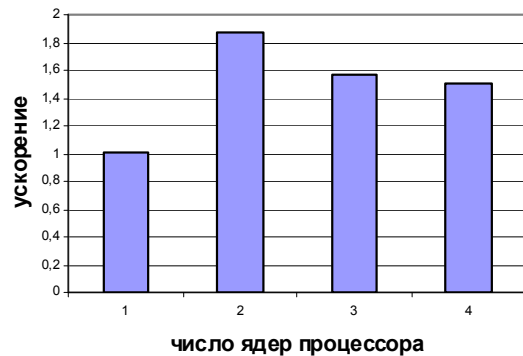


Рис. 2. Среднее увеличение быстродействия для различных экспериментальных платформ

более) в сравнении с числом ядер инструментальной ЭВМ, и поэтому необходимо дополнительное исследование, которое должно показать количество одновременно выполняемых потоков с наилучшей загрузкой вычислительных ядер.

Таблица 2

Значения параметров ускорения, эффективности использования ядер и доли последовательных вычислений для контрольных схем ISCAS-89

	s3271	s3330	s3384	s4863	s5378	s6669	s9234	s13207	s15850	s35932	s38417	s38584	средн.
S_p	1,87	1,87	1,87	1,90	1,82	1,90	1,86	2,00	2,20	1,94	1,62	1,63	1,88
E_p	0,94	0,94	0,94	0,95	0,91	0,95	0,93	1,00	1,10	0,97	0,81	0,82	0,94
f	0,07	0,07	0,07	0,05	0,10	0,05	0,08	0,00	0,00	0,03	0,23	0,23	0,06

Вычисление оценок особей популяции осуществляется в функции «ОценитьПопуляцию». В первоначальной реализации данного генетического алгоритма [11] эта процедура имела следующий вид:

```
ОценитьПопуляцию (Популяция, ЧислоОсобей)
{
    for( int i=0 ; i<ЧислоОсобей ; i++ ){
        ОценитьОсобь (Популяция->Особь [i]);
    }
}
```

Видно, что такая организация процесса является полностью последовательной: вычисление оценки последующей особи (индекс $i + 1$) будет начато только после окончания вычислений для текущей особи (индекс i). Построенные таким образом вычисления, как и в первом случае, будут давать загрузку только одного ядра, а остальные ядра процессора будут простаивать. На самом же деле ситуация выглядит ещё хуже. Процессор не направит всю вычислительную нагрузку в одно ядро, а распределит её между всеми имеющимися ядрами. Например, для четырёхядерного процессора будет выделено одно ядро с большей нагрузкой ($\approx 70\%$), остальные ядра будут иметь загрузку меньше 10%.

Чтобы избежать данного недостатка, предлагается изменить работу процедуры вычисления оценок особей. Для этого необходимо вычислять оценки особей в популяции параллельно. Причём число параллельно работающих процедур «ОценитьОсобь» должно соответствовать числу вычислительных ядер процессора. Изменённая процедура оценки особей популяции для произвольного заранее заданного числа потоков (переменная *ЧислоПотоков*) приведена ниже.

```
ОценитьПопуляцию (Популяция, ЧислоОсобей, ЧислоПотоков)
{
    for( int i=0 ; i<ЧислоОсобей/ЧислоПотоков ; i++ ){
        j=i*ЧислоПотоков;
        выполнять_параллельно_для j, j+1, ... , j+ЧислоПотоков-1
        {
            ОценитьОсобь (Популяция->Особь [j]);
        }
        ЖдатьОкончанияПотоков j, j+1, ... , j+ЧислоПотоков-1;
    }
}
```

Реальное повышение производительности будет сильно зависеть от механизма переключения потоков операционной системы и механизма доступа процессора к памяти, который должен обеспечивать вычислительные ядра необходимыми для работы данными.

Для проверки эффективности предложенной модификации алгоритма авторы проводили эксперименты с программной реализацией на системе с 4-ядерным процессором Intel Core2Quad. Мы изменяли число одновременных потоков от одного до четырёх (число ядер в инструментальной ЭВМ). Также для сравнения мы провели эксперименты с числом потоков, которое заведомо (и существенно) больше числа ядер в системе. Числовые результаты приведены в табл.3. Строка, в которой для выполнения указана одна функция, соответствует последовательному коду и берётся в качестве эталона. Значения среднего ускорения для всех схем приведены на сравнительной диаграмме (рис. 3, столбец «подход 2»). Эксперименты показали, что ускорение работы алгоритма растёт и стабилизируется на отметке 2.05. Для некоторых контрольных схем получено ускорение 3.30 раза. Существенную отрицательную роль играет тот факт, что чип Intel Core2Quad не является чисто четырёхядерным процессором, а содержит два двухядерных процессора, причём каждая пара содержит свой кэш данных.

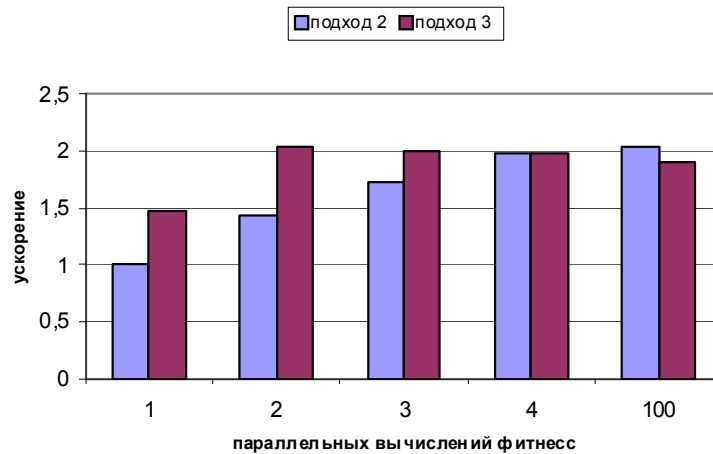


Рис. 3. Среднее ускорение работы модификаций алгоритма

Таблица 3

Время работы модификаций алгоритма для контрольных схем ISCAS-89

параллельных функций	параллельных потоков	время работы, сек.											
		s3271	s3330	s3384	s4863	s5378	s6669	s9234	s13207	s15850	s35932	s38417	s38584
1	1	106	78	94	225	74	300	72	101	158	711	416	491
2	2	63	47	56	131	49	173	69	108	135	446	345	370
3	3	47	38	44	97	43	127	73	111	132	343	319	319
4	4	39	33	37	79	38	103	75	119	129	302	304	389
по числу особей	100	33	30	32	68	41	91	74	127	151	359	358	367

Третий подход является комбинацией первых двух. В этом случае в качестве параллельных потоков оформляются процедуры вычисления оценочных функций, которые сами внутри являются дополнительно распараллеленными. В такой реализации в псевдокоде выше процедура «ОценитьОсобь» также будет содержать параллельный код, который соответствует модернизированному псевдокоду первого подхода. В данной реализации также необходим выбор оптимального числа одновременных потоков моделирования. Для экспериментов также использовался генетический алгоритм верификации эквивалентности цифровых схем. Инструментальная платформа и проводимые эксперименты соответствуют предыдущему случаю. Результаты экспериментов приведены в табл.4. Среднее значение ускорения и сравнение с предыдущим методом приведены на диаграмме (рис. 3, столбец «подход 3»). Лучшее ускорение 2.06 раза достигнуто для случая, когда параллельно вычисляются две процедуры «ОценитьОсобь». При этом реальное число вычислительных потоков равно четырём в силу дополнительной параллельности самой функции. Также эта модификация оказалась лучшей в сравнении с предыдущим подходом. Поэтому для неё мы также вычислили характеристики параллелизации. Они приведены в табл. 5. Заметим, что в данном случае наблюдается существенный разброс значений. Например, лучшее достигнутое ускорение равно 3.15 раза, однако в двух худших случаях наблюдается даже замедление работы. Все такие «провалы» соответствуют труднотестируемым схемам, в которых трудно проявить различие в поведении схем и распространить его влияние на внешние выходы. Это сильно снизило среднее значение ускорения до 2.06 раза. Однако и такие результаты показывают, что утилизация ядер вырастает более чем в два раза в сравнении с исходной немодифицированной версией алгоритма.

Таблица 4

Время работы модификаций алгоритма для контрольных схем ISCAS-89

параллельных функций	параллельных потоков	время работы, сек.											
		s3271	s3330	s3384	s4863	s5378	s6669	s9234	s13207	s15850	s35932	s38417	s38584
1 поток	2	57	45	53	121	47	148	71	105	137	477	374	400
2 потока	4	38	33	35	72	39	95	79	119	132	287	304	285
3 потока	6	38	32	36	77	38	103	77	122	132	292	308	297
4 потока	8	35	30	33	71	36	98	77	124	191	288	322	301
по числу особей	200	36	35	36	70	46	97	80	133	154	362	359	368

Таблица 5

Значения параметров ускорения, эффективности использования ядер и доли последовательных вычислений для контрольных схем ISCAS-89

	s3271	s3330	s3384	s4863	s5378	s6669	s9234	s13207	s15850	s35932	s38417	s38584	средн.
S_p	2,79	2,36	2,69	3,12	1,90	3,15	0,91	0,85	1,20	2,48	1,37	1,72	2,06
E_p	0,70	0,59	0,67	0,78	0,47	0,79	0,23	0,21	0,30	0,62	0,34	0,43	0,51
f	0,14	0,23	0,16	0,09	0,37	0,09	1,13	1,24	0,78	0,20	0,64	0,44	0,46

Выводы

В работе исследуется задача построения параллельных версий генетических алгоритмов генерации идентифицирующих последовательностей цифровых схем. Отмечено два возможных направления решения задачи: реализация новых алгоритмов, либо разработка новых параллельных модификаций существующих алгоритмов, в которых распараллеливаются наиболее ресурсоёмкие процедуры. Во втором направлении выделено и реализовано три подхода. Они заключаются в многопоточной реализации процедур вычисления оценочных функций, которые являются процедурами моделирования поведения схем на заданной входной последовательности. Проведённые машинные эксперименты показали, что можно добиться существенного ускорения работы алгоритмов, несмотря на то, что структура самого генетического алгоритма не является параллельной. При этом дополнительным ограничивающим фактором для повышения быстродействия является внутренняя структура современных многоядерных процессоров.

Литература

1. Goldberg D.E. Genetic Algorithm in Search, Optimization, and Machine Learning / D.E. Goldberg. - N.-Y.: Addison-Wesley, 1989. – 432p.
2. Скобцов Ю. А. Основы эволюционных вычислений / Скобцов Ю. А. – Донецк : ДонНТУ, 2008. – 326 с.
3. Иванов Д. Е. Генетические алгоритмы построения идентифицирующих последовательностей для цифровых схем с памятью / Д. Е. Иванов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: “Обчислювальна техніка та автоматизація”. – Донецьк : ДонНТУ. – 2008. – Випуск 14(129). – С. 97–106.
4. Corno F. A Parallel Genetic Algorithm for Automatic Generation of Test Sequences for Digital Circuits / F. Corno, P. Prinetto, M. Rebaudengo, M. Sonza Reorda // Proc/ of International Conference on High-Performance Computing and Networking, Brussels (Belgium), April, Lecture Notes In Computer Science.- 1996. – Vol.1067.- P.454-459.
5. Skobtsov Y.A. Distributed Genetic Algorithm of Test Generation For Digital Circuits/ Y.A. Skobtsov, El-Khatib, D.E. Ivanov // Proceedings of the 10th Biennial Baltic Electronics Conference. – Tallinn Technical University,2006. – P.281-284.
6. Skobtsov Y.A. Distributed Fault Simulation and Genetic Test Generation of Digital Circuits / Y.A. Skobtsov, El-Khatib, D.E. Ivanov // Proceedings of IEEE East-West Design&Test Workshop (EWDТ’06). – 2006. – P.89-94.
7. Wirt R. Intel® Software Insight. Multi-core Capability.- USA: Intel Corporation, 2005. – July. – 11 p.
8. Иванов Д. Е. Взаимодействие компонент в распределённых генетических алгоритмах генерации тестов / Д. Е. Иванов, П. А. Чебанов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: “Обчислювальна техніка та автоматизація”. – Донецьк : ДонНТУ. – 2009. – Випуск 16(147). – С. 121–127.
9. Иванов Д. Е. Система моделирования и генерации тестов цифровых схем / Д. Е. Иванов, Ю. А. Скобцов // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія “Обчислювальна техніка та автоматизація». – Донецьк. – 1999. – Випуск 12. – С. 143–150.
10. Ivanov D.E. Parallel fault simulation on multi-core processors / D.E. Ivanov // Радіоелектронні і комп’ютерні системи.- 2009.- №6 (40).- С.109-112.
11. Иванов Д. Е. Генетический подход проверки эквивалентности последовательностных схем / Д. Е. Иванов // «Радіоелектроніка. Інформатика. Управління». – Запоріжжя, ЗНТУ. – 2009. – № 1(20). – С. 118–123.
12. Brgles F. Combinational profiles of sequential benchmark circuits / F. Brgles, D. Bryan, K. Kozminski // International symposium of circuits and systems, ISCAS-89.- 1989.- P.1929-1934.
13. Гергель В. П. Основы параллельных вычислений для многопроцессорных вычислительных систем : учебное пособие / В. П. Гергель, Р. Г. Стронгин. – Нижний Новгород : Изд-во ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2003. – 184 с.

Надійшла 18.1.2011 р.

ВИВЕДЕННЯ ЗНАЧЕНЬ ЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМАХ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Представлено формально-логічний апарат для використання коефіцієнтів впевненості при побудові запитів і їх модифікацій в інтелектуальних системах дистанційного навчання на основі баз даних і баз знань, що дозволяє здійснювати вивід дійсних значень логічних параметрів, базуючись на суб'єктивних оцінках групи експертів (викладачів, лекторів, модераторів, адміністраторів).

The formal-logical apparatus for using of certainty factors by construction of users queries and their modification in intelligible systems of distance learning supported by data and knowledge bases is introduced, that allow inference of verified logical parameters values based on subjective evaluations of expert group (teachers, lectors, moderators, administrators).

Ключові слова: дистанційне навчання, інтелектуальні системи, логічний висновок, предикатні запити, коефіцієнт впевненості.

Вступ. Одним із ключових питань з точки зору моделювання процесу побудови інтелектуальної системи дистанційного навчання [1] є спосіб представлення знань, на основі якого система повинна приймати рішення в певній ситуації, наприклад виконуючи зворотній зв'язок з користувачем. Дане питання є особливо актуальним з точки зору впровадження концепції *Semantic Web* як засобу інтелектуалізації існуючих систем, так і платформи для створення нових з використанням існуючих рішень в області баз даних та баз знань. Побудова запитів та їх модифікація [2] є формально-логічним апаратом опису і вивчення процесів оновлення і модифікації не тільки самих запитів, але також і баз даних та знань, формування логічного висновку на основі баз даних і знань. Всі рішення в інтелектуальній системі дистанційного навчання приймаються на основі аналізу висновків експертів (лекторів, викладачів, модераторів, адміністраторів дистанційних курсів). Згідно з роботою [2] база знань системи дистанційного навчання може розглядатися як набір інформаційних сутностей атомарних предикатів з деякого скінченного інформаційного простору \mathcal{R} . Всі зміни, що відбуваються в базі знань, розглядаються, як наслідок модифікаційних предикатних запитів Q_m . Основою самих запитів є набір модифікаційних предикатних правил:

$$Q_M \{LocalQueries, OutwardQueries\} \longleftrightarrow (DLK_B)^{\ll} \left\| \begin{array}{l} DLK_{B-}(u_feat) \\ DLK_{B+}(u_feat) \end{array} \right\| \ll, \quad (1)$$

де $u_feat, u_feat_n \in \mathcal{R}$ і є характеристиками профілів користувачів. Основна ідея такого запису правил полягає в тому, що 1) $DLK_{B+}(u_feat)$ означає, що атомарний предикат u_feat повинен бути включений в базу знань системи дистанційного навчання (*distance learning knowledge base*) DLK_B , а DLK_{B-} означає, що u_feat повинен бути виключений з бази знань; 2) $(DLK_B)^{\ll}$ означає модифікацію бази знань на рівні логічної зв'язаності предикатних правил як наслідок виконання операцій додавання і вилучення правил. Проте **недослідженим** залишається питання опису процесу прийняття рішення групою експертів (лекторів, викладачів, модераторів, адміністраторів) в інтелектуальній системі дистанційного навчання. Тому **ціллю даної роботи** є питання введення коефіцієнтів впевненості при побудові запитів в інтелектуальній системі дистанційного навчання на основі баз даних і знань та їх модифікації. При роботі в системі дистанційного навчання (*DLS – distance learning system*) однією з базових операцій виконуваних студентами та викладачами є формулювання та переформулювання (модифікація) запитів в інтерактивному середовищі дистанційного навчання. В нашому підході ми розглядаємо процес формулювання запитів як комплексний процес одержання інформації користувачами на двох рівнях. На першому рівні запити виконуються по локальних ресурсах системи дистанційного навчання згідно з формулою:

$$LocalQueries \text{ in } \{CSL, CST\}, \quad (2)$$

де *CSL – Computer Supported Learning* є поєднанням методів, що базуються на досвіді використання комп'ютерної техніки в процесі навчання; *CST – Computer Supported Training* є процесом виконання навчальних вправ, що підтримуються та забезпечуються комп'ютером, що дозволяє впроваджувати матеріали передачі змісту навчального матеріалу без прив'язки до часу та місця. Прикладами таких реалізацій є навчання за допомогою CD – та DVD, навчальних фільмів, навчальних аудіо та відеофільмів в форматах mp3, mpeg4, avi та ін. Основний ресурс для виконання запитів цього рівня – це контент навчального матеріалу. Можливість ефективного виконання запитів обмежується локалізацією контентно-орієнтованих ресурсів. На другому рівні запити виконуються за Web-орієнтованими ресурсами системи дистанційного навчання згідно з формулою:

$$OutwardQueries \text{ in } \{WOL, OL\}, \quad (3)$$

де WOL – *Web Oriented Learning* – це навчальні технології на базі Internet, Intranet та Extranet; OL – *Online Learning* – сукупність навчальних методів виключно на основі платформи Internet.

Нехай O – скінчений простір, елементи якого вважатимемо атомами. Зокрема в нашому випадку ми спочатку розглядаємо $O = \{in^+\}$, а потім $O = \{u_feat_1, u_feat_2\}$, де u_feat_i характеристика профілю i -го користувача системи дистанційного навчання. Вирази виду $DLK_{B+}(u_feat_1)$, $DLK_{B-}(u_feat_1)$, де $u_feat_1 \in O$ називатимемо модифікаційними атомами. Модифікаційним атомам присвоюються мітки. Всі мітки належать множині M . Будемо вважати множину M частково впорядкованою, із введеними операціями \cup , \cap . Для кожного елемента $u_feat_1 \in M$ введемо доповнення де-Моргана, яке будемо позначати через $\overline{u_feat_1}$. Модифікаційним атомом з міткою будемо вважати вираз виду: $(DLK_{B+}(u_feat_1):C_F)$ або $(DLK_{B-}(u_feat_1):C_F)$, де $u_feat_1 \in O, C_F \in M$. Модифікаційним правилом із мітками вважатимемо вираз виду:

$S_M \ll R_M^1, \dots, R_M^1$, де S_M, R_M^1, \dots, R_M^1 – модифікаційні атоми із мітками. Під модифікаційним предикатним запитом із мітками, будемо розуміти множину модифікаційних правил із мітками. Можна також виконати запис модифікаційних правил із мітками, в формі простих модифікаційних правил (без міток), якщо ввести додаткові атомарні предикати $(in^+ _e _n)$, де $1 \leq n \leq m$, m – кількість експертів, що приймають участь в дискусії. Розглядатимемо випадок, коли мітки задані у вигляді чисел з діапазону $[0;1]$.

Нехай тепер ми маємо дві характеристики профілю користувача системи дистанційного навчання $DLUserProfile$ u_feat_1 і u_feat_2 . У вихідній базі знань дані характеристики представлені з певним коефіцієнтом впевненості. Будемо розглядати та оперувати з деякими виділеними значеннями коефіцієнтів впевненості, які матимуть виражену граничну інтерпретацію $\{cf^{\min}, cf^1, cf^2, cf^3, cf^4, cf^6, cf^7, cf^8, cf^9, cf^{\max}\}$: наприклад, якщо коефіцієнт впевненості в характеристиці $u_feat_1 \in C_F^1$, $(cf^{\min} \leq C_F^1 \leq cf^{\max})$, тоді $DLK_B^{noc}(in^+) = \langle C_F^1, cf^{\max} - C_F^1 \rangle$, де in^+ – атомарний предикат. Ми можемо інтерпретувати перший і другий елементи в кортежі

$(C_F^1, cf^{\max} - C_F^1)$ як степені впевненості і невпевненості в надійності інформації. Задача, яка виникає в даній ситуації є вивід дійсного значення характеристики, виходячи із суб'єктивної оцінки експерта. Таким чином всі Q_m – модифікації для вихідної бази знань DLK_B^{noc} , $DLK_B^{Q_m}$ повинні представляти реальні значення логічних параметрів системи дистанційного навчання. Припустимо тепер, що перешкода H_1 не може занизити значення характеристики більше чим на cf^1 . Тоді ми можемо припустити, що характеристика u_feat_1 є присутньою, коли коефіцієнт впевненості в даному факті є cf^9 і більше. Припустимо тепер, що перешкода H_2 не може впливати на характеристику u_feat_2 більше ніж на cf^3 . Тому, якщо коефіцієнт впевненості у відсутності характеристики є, принаймні, cf^7 , дана характеристика повинна бути відсутньою. Ці передпосилки, разом із фактом, що для кожної характеристики беруться до уваги два значення $\{присутня, відсутня\}$, можуть бути представлені:

$$\begin{aligned} & \{(DLK_{B+}(u_feat_1):cf^{\max}) \ll (DLK_{B+}(u_feat_1):cf^9), (DLK_{B-}(u_feat_1):cf^7), \\ & (DLK_{B-}(u_feat_2):cf^{\max}) \ll (DLK_{B+}(u_feat_1):cf^9), (DLK_{B-}(u_feat_2):cf^7), \\ & (DLK_{B+}(u_feat_2):1) \ll (DLK_{B+}(u_feat_2):0.9), (DLK_{B-}(u_feat_1):0.7), \\ & (DLK_{B-}(u_feat_1):1) \ll (DLK_{B+}(u_feat_2):0.9), (DLK_{B-}(u_feat_2):0.7)\}. \end{aligned} \quad (4)$$

Перших два правила стверджують, що якщо впевненість в наявності характеристики u_feat_1 є, принаймні, cf^9 , а впевненість у відсутності u_feat_2 , принаймні, cf^7 , тоді характеристика u_feat_1 присутня із коефіцієнтом впевненості cf^{\max} , а характеристика u_feat_2 відсутня з коефіцієнтом впевненості cf^{\max} . Нехай тепер коефіцієнт впевненості в присутності характеристик u_feat_1 і u_feat_2 складає відповідно cf^4 і cf^8 . Тоді $DLK_B^{noc}(u_feat_1) = \langle cf^4, cf^6 \rangle$, $DLK_B^{noc}(u_feat_2) = \langle cf^8, cf^2 \rangle$. Після виконання Q_m – модифікації для DLK_B^{noc} ми одержимо

реальні значення характеристики в базі знань, а саме:

$$DLK_{B+}^{Q_m}(u_feat_1) = \langle cf^{\min}, cf^{\max} \rangle, DLK_{B-}^{Q_m}(u_feat_2) = \langle cf^{\max}, cf^{\min} \rangle. \quad (5)$$

Для M введемо оціночну функцію Θ , яка буде описувати наявну інформацію про належність елементів O деякій множині T , $T \subseteq O$. Тому $\Theta(DLK_{B+}(u_feat_1)) = C_F$ будемо інтерпретувати як факт того, що $u_feat_1 \in T$ з впевненістю C_F . Оціночна функція Θ задовольняє модифікаційний атом $(DLK_{B+}(u_feat_1): C_F)$, якщо $\Theta(DLK_{B+}(u_feat_1)) \geq C_F$. Подібним чином будемо говорити, що Θ задовольняє $(DLK_{B-}(u_feat_1): C_F)$, якщо $\Theta(DLK_{B-}(u_feat_1)) \geq C_F$. В загальному випадку будемо вважати, що Θ задовольняє множину модифікаційних атомів, якщо вона задовольняє кожен елемент множини. Будемо вважати, що оціночна функція Θ задовольняє модифікаційне правило з мітками, якщо вона задовольняє заголовок правила в усіх випадках, коли задовольняє тіло правила. І нарешті будемо говорити, що Θ задовольняє модифікаційний предикатний запит з мітками, або є моделлю запиту, якщо вона задовольняє всі правила в запиті. Для даного модифікаційного предикатного запиту із мітками, введемо оператор Λ_{Q_m} на множині значень оціночної функції Θ . Нехай $\Lambda_{Q_m}(\Theta)$ – множина заголовків всіх правил в Q_m , тіла яких задовольняються оціночною функцією Θ . Таким чином оператор Λ_{Q_m} введемо

наступним чином $\Lambda_{Q_m}(\Theta) = \bigcup_n \{C_F \mid (r_n : C_F) \in \Lambda_{Q_m}(\Theta)\}$, $n \geq 0$, де, r_n – модифікаційне правило.

Очевидно, що при побудові оціночних функцій $\Theta(M)$, для кожного елемента $u_feat_1 \in O$, можна поставити у відповідність пару елементів з M , що відповідають модифікаційним атомам $DLK_{B+}(u_feat_1)$ і $DLK_{B-}(u_feat_1)$. Таким чином ми повинні розглянути структуру $M^2 = M \times M$, із введеною операцією \leq_l , яку означимо так:

$$(C_{F_1}^1, C_{F_2}^1) \leq_l (C_{F_1}^2, C_{F_2}^2), \text{ якщо } C_{F_1}^1 \leq_l C_{F_1}^2 \text{ і } C_{F_2}^1 \leq_l C_{F_2}^2. \quad (6)$$

Якщо пару $(C_{F_1}^1, C_{F_2}^1)$ розглядати як міру нашого знання про належність об'єкта o множині T , тоді якщо ми маємо, що $C_{F_1}^1 \leq_l C_{F_1}^2$ і $C_{F_2}^1 \leq_l C_{F_2}^2$ тоді пара $(C_{F_1}^2, C_{F_2}^2)$ більш точно характеризує об'єкт u_feat_1 . Тому операцію \leq_l можна розглядати, як відношення порядку задане на множині коефіцієнтів впевненості для тверджень бази знань. Оскільки структура M є повною і дистрибутивною, то M^2 теж є повною і дистрибутивною структурою по відношенню до операції \leq_l . Як правило рішення приймається групою експертів. Розглянемо початкову групу, що складається із трьох експертів: $G^3 = \{\langle e_1 \rangle, \langle e_2 \rangle, \langle e_3 \rangle\}$. Нехай перед даною групою стоїть завдання прийняти рішення. Дану ситуацію можна описати як процес співставлення атомарному предикату in^+ структурованого кортежу $\{\langle e_x \rangle, \langle e_y \rangle\}$, де перший елемент кортежу відповідає множині експертів, яка виступає за прийняття пропозиції, а другий елемент – відповідає множині експертів, яка виступає проти даної пропозиції. Будемо вважати, що цей процес полягає в проведенні дискусії із голосуванням, в результаті якого приймається рішення. Кожний експерт має свою думку, щодо пропозиції винесеної на голосування, причому частина експертів із самого початку налаштована на прийняття пропозиції, а частина категорично проти винесеної пропозиції. Будемо також вважати, що думки експертів можуть також змінюватися під час дискусії. Можливі варіанти зміни їх думок опишемо наступною послідовністю модифікаційних правил із мітками.

$$\begin{aligned} & \{(DLK_{B+}(in^+) | \langle e_1 \rangle) \ll (DLK_{B+}(in^+) | \langle e_2 \rangle), (DLK_{B-}(in^+) | \langle e_1 \rangle) \ll (DLK_{B-}(in^+) | \langle e_3 \rangle), \\ & (DLK_{B+}(in^+) | \langle e_2 \rangle) \ll (DLK_{B+}(in^+) | \langle e_1 \rangle), (DLK_{B+}(in^+) | \langle e_2 \rangle) \ll (DLK_{B+}(in^+) | \langle e_3 \rangle), \\ & (DLK_{B-}(in^+) | \langle e_3 \rangle) \ll (DLK_{B-}(in^+) | \langle e_1 \rangle), \\ & (DLK_{B-}(in^+) | \langle e_3 \rangle) \ll (DLK_{B-}(in^+) | \langle e_2 \rangle)\}. \end{aligned}$$

Перше правило означає, що якщо *експерт_2* приймає пропозицію, то тоді *експерт_1* також повинен прийняти пропозицію, оскільки його переконає в цьому *експерт_2*. Друге правило означає, що

якщо *експерт*₃ проти пропонованого рішення, тоді він може переконати також і *експерта*₁. Таким чином введені правила описують експертів як in^+ – схильних, або in^+ – несхильних і вказують також можливий вплив одного експерта на іншого, що в кінцевому підсумку може призводити до зміни переконань експертів і впливати на кінцевий результат голосування:

$$DLK_{B_1}^{Q_m}(in^+) = \{<e_{-1}>, <e_{-2}>, <e_{-3}>, <>\}, DLK_{B_2}^{Q_m}(in^+) = \{<>, <e_{-2}>, <e_{-3}>\}. \quad (7)$$

На M^2 можна ввести іншу операцію впорядкування; можна означити $(C_{F_1}^1, C_{F_2}^1) \leq_m (C_{F_1}^2, C_{F_2}^2)$, якщо $C_{F_1}^1 \leq C_{F_1}^2$ і $C_{F_2}^1 \geq C_{F_2}^2$. Таке впорядкування множини коефіцієнтів впевненості будемо називати впорядкуванням за істинністю. Оскільки M є повною дистрибутивною структурою, M^2 з введеними операціями впорядкування \leq_l і \leq_m формує повну дистрибутивну біструктуру. Крім того означимо операцію згладжування, $-(C_{F_1}^\bullet, C_{F_2}^\bullet) = (\overline{C_{F_2}}, \overline{C_{F_1}})$. Елемент $u_feat_1 \in M^2$ будемо вважати несуперечливим, якщо $u_feat_1 \leq_l -u_feat_1$; іншими словами пара коефіцієнтів $(C_{F_1}, C_{F_2}) \in M^2$ буде несуперечливою, якщо C_{F_1} є меншим або рівним доповнення до C_{F_2} і C_{F_2} є меншим або рівним доповнення до C_{F_1} . Введена операція задовольняє закони де-Моргана.

$$\begin{aligned} & -((C_{F_1}, C_{F_2}) \circ (C_{F_3}, C_{F_4})) = -(C_{F_1}, C_{F_2}) \bullet -(C_{F_3}, C_{F_4}) \\ & -((C_{F_1}, C_{F_2}) \bullet (C_{F_3}, C_{F_4})) = -(C_{F_1}, C_{F_2}) \circ -(C_{F_3}, C_{F_4}), \text{ де } C_{F_1}, C_{F_2}, C_{F_3}, C_{F_4} \in M. \end{aligned} \quad (8)$$

Оціночна функція Θ для M є відображенням $O \rightarrow M^2$. Якщо $DLK_B^1(u_feat_1) = (C_{F_1}, C_{F_2})$, згідно з функцією $\Theta(DLK_B)$, ми можемо твердити, що атомарний предикат u_feat_1 належить K_B^1 , з впевненістю C_{F_1} і не належить DLK_B^1 , з впевненістю C_{F_2} . Будемо говорити, що оціночна функція $\Theta(M^2)$ є несуперечливою, якщо вона описує деякий несуперечливий елемент з M^2 для кожного атому в O . Ми будемо використовувати $\Theta(M^2)$ для представлення поточної інформації про базу знань, а також інформації про характер необхідних модифікацій для бази знань. Нехай $I = \Theta(M^2)$ – представлення наших знань про поточний стан бази знань DLK_B , а $J = \Theta(M^2)$ – наявні знання про множину необхідних модифікацій для I . Означимо модифікацію I засобами J , як I' . Тоді $I' = (I \bullet -J) \circ J$. Після виконання модифікації нове застосування оціночної функції повинно дати, принаймні, стільки ж інформації про застосування модифікаторів $DLK_{B+}()$, $DLK_{B-}()$ до атомарних предикатів, як її містилося в J . З другого боку, об'єм такої інформації не повинен перевищувати явні границі в становленні для J , і виражені через $-J$. Підсумовуючи сказане, маємо, що якщо $J(u_feat_1) = (C_{F_1}, C_{F_2})$, тоді підтвердження для $DLK_{B+}(u_feat_1)$ не повинні перевищувати $\overline{C_{F_2}}$ до тих пір, доки $C_{F_2} \geq C_{F_1}$. Оскільки із самого початку ми надавали перевагу явним підтвердженням для J , на протигагу явним підтвердженням, що виражалися через $-J$, то бажаний шлях модифікації полягає в почерговому використанні $-J$, а потім вже застосуванні J . Але наведений порядок модифікації має значення лише у випадку, коли J є несуперечливою, тоді $(I \bullet -J) \circ J = (I \circ -J) \bullet J$. Всі наведені зауваження щодо способу виконання модифікації бази знань будуть відігравати ключову роль в означенні Q_M – модифікації для баз знань. Побудова семантики для модифікаційних предикатних L – запитів [2] буде базуватись на послідовних уточненнях початкової моделі. Введемо твердження, що описують деякі властивості моделей L – запитів. Для заданого модифікаційного предикатного L – запиту множина його необхідних модифікацій $\Lambda_{nm}(Q_m^L)$ задовольняє рівність $\Lambda_{nm}(Q_m^L) = \Lambda_{Q_m^L}^i(\Lambda_{nm}(Q_m^L))$ [2]. Звідси слідує, що $\Lambda_{nm}(Q_m^L)$ є також моделлю для

Q_m^L . Проте слід відмітити, що не всі моделі підходять до опису особливостей модифікаційних предикатних L – запитів. Проблема полягає в тому, що $\Theta(M_2)$ може давати суперечливу інформацію про об’єкти з O . В ході дослідження властивостей модифікаційних L – запитів, особливий інтерес представлятимуть ті моделі, для яких суперечливі фрагменти інформації не виходитимуть за рамки накладених обмежень на бази знань. Розглянемо модифікаційний запит $Q_m = \{(DLK_{B+}(u_feat_1):e_2) \ll \langle \rangle\}$, де $e_2 \in M_{e_1, e_2}$. Такий запис для Q_m можна інтерпретувати як факт того, що характеристика u_feat_1 присутня, згідно з думкою експерта e_2 . Відповідно експерт e_1 стверджує, що характеристика u_feat_1 відсутня. Якщо $I = \Theta(M^2)$, то $I(u_feat_1) = \{\langle e_1 \rangle, \langle e_2 \rangle\}$ є моделлю для Q_m , але не задовольняє обмеження, що накладається на $K_{B-}(u_feat_1)$. Нехай тепер Q_m^L – модифікаційний предикатний L – запит, а $I = \Theta(M^2)$ є моделлю для Q_m^L . Під явним підтвердженням ми маємо на увазі підтвердження, що забезпечуються заголовками правил, що можуть бути застосовані по відношенню до I , тобто тіла яких задовольняються I . Мова йде саме про $\Lambda_{Q_m}^i(I)$. Фіксоване верхнє значення множини підтверджень для модифікаційного атому a , що генерується модифікаційним запитом є C_F , тоді всі підтвердження для оберненого модифікаційного атому $a^{-1} \in DLK_{B-}(u_feat_1)$, якщо $a = DLK_{B+}(u_feat_1)$, або $DLK_{B+}(u_feat_1)$ у випадку, коли $a = DLK_{B-}(u_feat_1)$ не повинно перевищувати C_F , або доки інакше не задано явно в модифікаційному запиті. Таким чином, наявні підтвердження задаються через $-\Lambda_{Q_m}^i(I)$, а модель I для модифікаційного запиту Q_m містить не більше підтверджень, чим явно слідує із $Q_m|I$, і з того що не прямо слідує із $Q_m|I$, якщо $I \leq_l \Lambda_{Q_m}^i(I) \circ (-\Lambda_{Q_m}^i(I))$, скільки прямих підтвердження постачаються через $\Lambda_{Q_m}^i(I)$, а непрямі через $-\Lambda_{Q_m}^i(I)$. Наведені міркування підводять нас до необхідності введення уточнюючих означень стосовно моделей модифікаційних предикатних L – запитів в інтелектуальних системах дистанційного навчання.

Висновки. В даній статті представлено формально-логічний підхід для використання коефіцієнтів впевненості при побудові запитів та їх модифікації в інформаційних інтелектуальних системах дистанційного навчання. Подальші дослідження даного напрямку будуть направлені на побудову конкретних імплементацій одержаних моделей запитів.

Література

1. Мельник В. Д. Використання продукційного підходу для інтелектуалізації діалогів з користувачем в системах дистанційного навчання / В. Д. Мельник // Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке : материалы XIII Международного молодежного форума (30 марта – 1 апреля 2009 г., Харьков). – Х. : ХНУРЭ, 2009. – Ч. 2. – С. 468–469.
2. Шекета В. І. Модифікаційні предикатні запити / В. І. Шекета // Проблеми програмування / Інститут програмних систем НАН України. – 2004. – № 2–3. – С. 339–343.

Надійшла 17.1.2011 р.

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНО-ОСВІТНЬОГО СЕРЕДОВИЩА В МЕЖАХ СТВОРЕННЯ КОРПОРАТИВНОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РЕГІОНАЛЬНОГО ОСВІТНЬОГО ЦЕНТРУ

Розглядаються задачі формалізації організаційного та освітнього середовища в межах створення корпоративної автоматизованої системи управління регіонального освітнього центру. З позицій сучасного системного управління розглядається корпоративна управлінська система як керована система та корпоративна автоматизована система управління як керуюча система. Розглянуто структурно-функціональну схему корпоративної автоматизованої системи управління.

The article considers organizational and educational environment formalization problem for the development process of the Corporate Automated Control System for a regional education center. The Corporate Management System as a controlled system and the Corporate Automated Control System as a controlling system are considered from the system management prospective. The article shows structural and functional scheme of the Corporate Automated Control System.

Ключові слова: інформаційно-освітнє середовище, регіональний освітній центр, корпоративна автоматизована система управління.

Вступ

У відповідності з активним розвитком інформаційних та телекомунікаційних технологій сьогодні відбувається формування поняття інформаційно-освітнього середовища. В окремих дослідженнях воно звужується до предметного оточення студента і викладача, розширеного за рахунок інформаційного середовища. Таке розуміння характеризує обмежений за можливостями процес тимчасового занурення в середовище учасників для поточного використання інформації. Більш коректним є інше тлумачення інформаційно-освітнього середовища (ІОС), яке включає можливості для реалізації педагогічного процесу на основі забезпечення інформаційного обміну, динамічний розвиток самого середовища. Становлення ІОС на новій технологічній основі використання інформаційних та комунікаційних технологій дозволяє будувати процес навчання з урахуванням диференціації творчої діяльності студентів, їх можливостей і бажання, забезпечує досягнення рівності соціального старту кожного, призводить до розширення педагогічних методів і прийомів, зміни характеру всього навчального процесу.

Поняття середовища не є строгим з системної точки зору. Цей термін припускає просто сукупність умов, у яких протікають процеси. В умовах інформаційно-освітнього середовища, відповідно, протікають інформаційні й освітні процеси. Тому в роботі [1] для визначеності використовується більш коректний термін «інформаційно-освітня система», який в даному випадку є синонімом терміна «інформаційно-освітнє середовище». Інформаційно-освітню систему, таким чином, можна розглядати як певний інформаційний еквівалент об'єкта, що вивчається, в якому базові властивості цього об'єкта надані в формі, максимально зручній для засвоєння. При цьому під об'єктом тут будемо розуміти певну предметну область (дисципліну, курс тощо), так і всю фахову підготовку спеціаліста.

В наукових дослідженнях [2– 8] запропоновано модель комплексного інформаційно-освітнього середовища вищого навчального закладу на верхньому рівні ієрархії (ректорату) як композицію двох освітніх підсистем: підсистеми управлінської діяльності та підсистеми керування процесом навчання і контролю знань.

Структурна формалізація процесів стратегічного управління в корпоративній автоматизованій системі управління

Для розв'язання задач формалізації організаційного та освітнього середовища в межах створення корпоративної автоматизованої системи управління (КАСУ) регіонального освітнього центру (РОЦ) пропонується розглядати КАСУ як складну організаційно-технологічну систему. З позицій системного управління РОЦ розглядається як керована система, а КАСУ – як керуюча система [9, 10]. Структурно-функціональна схема КАСУ наведена на рис. 1.

Стан керованої системи характеризується: $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – n -вимірним вектором вхідних впливів (абітурієнти і всі, хто потребує освітніх послуг, трудові й матеріальні ресурси, організаційний вплив (накази, розрядження, усні вказівки) і т. ін.); $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ – m -вимірним вектором вихідних складових керованого процесу (продуктивність, прибуток, якість надання освітніх послуг, попит на випускників, соціальні показники, конкурентоспроможність і т. ін.); $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_s\}$ – s -вимірним вектором випадкових впливів зовнішнього середовища (випадкові зміни на ринку праці, поява конкурентів, накопичуваний збиток від несвоєчасного введення інновацій і т. ін.).

Процес оперативного управління керованою системою здійснюється через КАСУ, яка вносить корективи в процес управління за допомогою k -вимірного вектора $U = (u_1, u_2)$ керуючих впливів, де u_1 – l -вимірний складова вектора U , що визначає додавання (вилучення) у функціональний процес корпоративної системи та у надання освітніх послуг – матеріальних і трудових ресурсів; u_2 – p -вимірний складова вектора U ($p + l = k$), яка визначає організаційні впливи на керовану систему, що реалізуються через систему

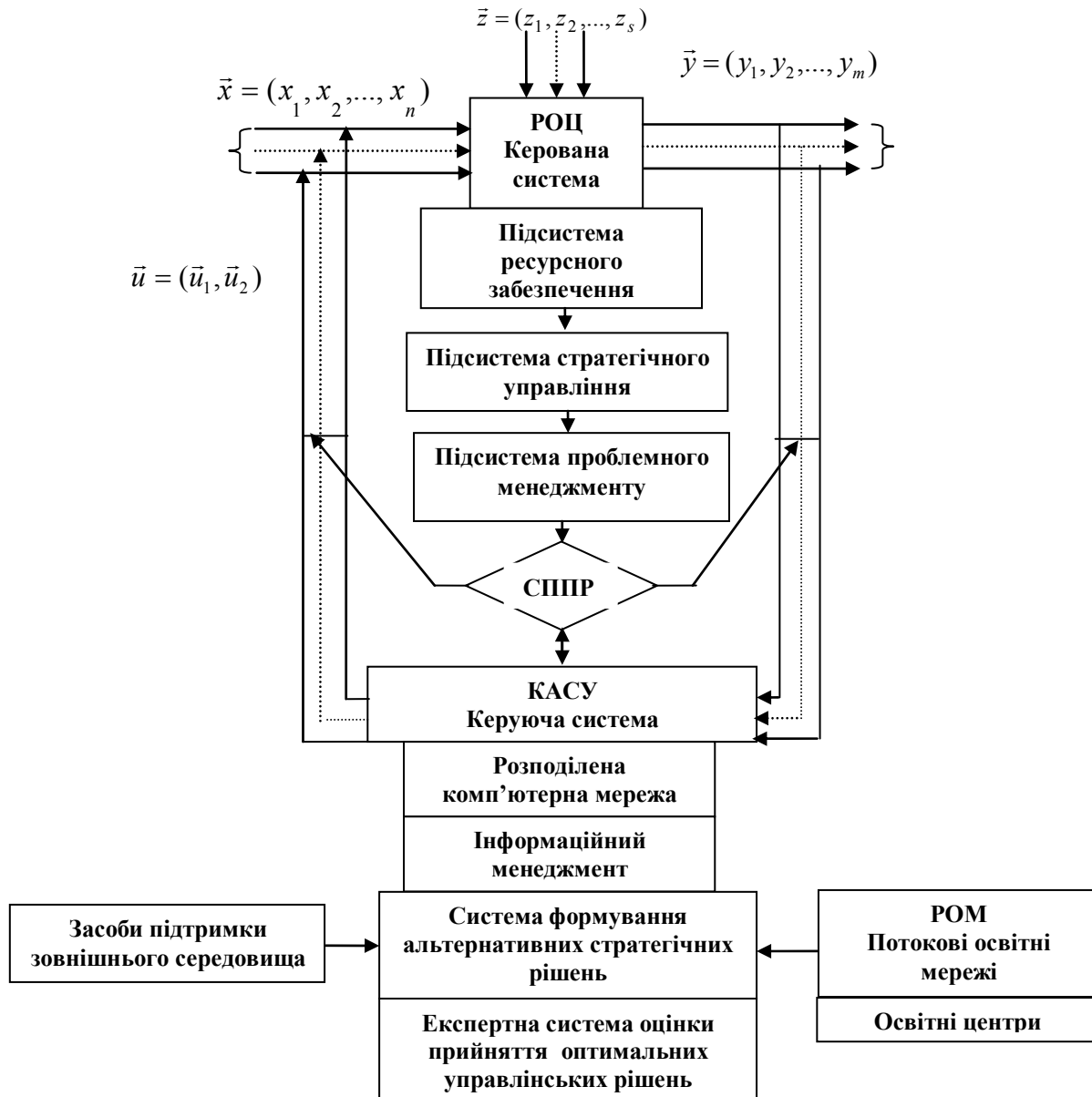


Рис. 1. Структурно-функціональна схема КАСУ

Вихідні складові вектора керованого процесу $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ містять також критерії досягнення цілей, які зумовлюються умовами стратегічного управління. Зазвичай, ці критерії аналітично не пов'язані між собою і мають різний фізичний смисл (критерії, що мають смисл нормативних обмежень; критерії, які зумовлені фінансовими витратами на надання навчальних, наукових, виробничих послуг тощо). Тому аналітичними блоками КАСУ (блоками інформаційного менеджменту, системи прийняття альтернативних рішень, експертної системи оцінки прийняття рішень) розв'язується задача екстремізації цих критеріїв, а особи, що приймають рішення (ОПР), виставляють систему критеріїв у пріоритетному порядку.

Підсистема СППР є обчислювальним, координуючим і системопов'язуючим блоком КАСУ. Моделюючи підсистема СППР базується на системі моделей, методів і технологій прийняття рішень на рівні функціонування стратегічного управління.

Конфігурацію інформаційної моделі КАСУ визначає структура керованої системи (РОЦ та його підрозділи), ІОС, інформаційно-функціональні особливості стратегічного планування і контролінгу, аналітичні інструменти стратегічного менеджменту.

Надамо ІОС як сукупність P інформаційних подань – типів потоків інформації:

$$P = \{p_i\}, \quad i = \overline{1,7},$$

де p_1 – підсумкові показники (фактори) стратегічного управління – критеріальні характеристики (якісні і кількісні) діяльності керованої системи; p_2 – показники (фактори) стратегічного управління, які надаються у вигляді обмежень для вихідних цілей стратегічного планування і змістовно узагальнюють підсумкові (розрахункові) показники блоків проблемного менеджменту. Показники стратегічного управління

відповідають умовам (засобам, ресурсам) досягнення керованої системи її стратегічного потенціалу; p_3 – вхідні показники (фактори) блоків проблемного менеджменту, що відповідають впливам управління для реалізації свого функціонального призначення в рамках цілей стратегічного управління; p_4 – вихідні показники (фактори) блоків проблемного менеджменту, що характеризують ступінь реалізації свого функціонального призначення в рамках цілей стратегічного управління; p_5 – інструментальні змінні, які змістовно відповідають тій чи іншій характеристиці керованого процесу, але прямо не обумовлені задачами керованої системи (змінні величини, що визначають ефективність реалізації того чи іншого математичного методу, евристичного прийому при розв’язанні цільових задач стратегічного управління (розрахункових задач, задач аналізу, задач управління); p_6 – кількісні змінні, які визначають кількісні показники (фактори), що є апіорною інформацією про вихідний стан керованої системи; p_7 – кількісні змінні, які апіорно відсутні в потоках інформації на рівні стратегічного й (або) проблемного менеджменту в числовій формі, але отримані з інших змістовних характеристик експертними методами перетворення вербальної інформації в числову на основі відповідних шкал виміру.

Прототипом інформаційного подання вважатимемо «інформаційний документ» заданого типу, який визначає сутність предметної області ІОС щодо інформаційних дій проблемних менеджментів:

$$S = \{S_k (S_{k, \text{вх.}}, S_{k, \text{вих.}}) \rightarrow p_i, i_j \rightarrow p_i\}, \quad k = \overline{1,6}, \quad j = \overline{1,7}, \quad (1)$$

де i_j – кількість інформації, яка супроводжує потік $s_k, s_{k, \text{вх.}}$ – вхідні показники, $s_{k, \text{вих.}}$ – вихідні показники.

Зазначені типи показників охарактеризуємо стосовно стратегічного управління: показники (фактори) (ресурси – матеріальні, фінансові, трудові, інформаційні, інтелектуальні, організаційні); підсумкові показники (пропозиція освітніх, наукових та виробничих послуг).

s_1 – для менеджменту маркетингу: $s_{1, \text{вх.}}$ – вхідні показники (якісні і кількісні показники ринку послуг); $s_{1, \text{вих.}}$ – вихідні показники – вартісні характеристики ефективності маркетингової діяльності на рівні інформаційних документів щодо розширення ринку послуг;

s_2 – для фінансового менеджменту: $s_{2, \text{вх.}}$ – вхідні показники (фінансові кількісні характеристики здійснення послуг та адміністративних дій); $s_{2, \text{вих.}}$ – вихідні показники (аналітичні фінансові характеристики на рівні інформаційних документів);

s_3 – для менеджменту персоналу: $s_{3, \text{вх.}}$ – вхідні показники (якісні характеристики навчального, наукового, виробничого персоналу, мотивація його діяльності); $s_{3, \text{вих.}}$ – вихідні показники (характеристики якісної діяльності персоналу на рівні інформаційних документів щодо успішності студентів, аспірантів тощо);

s_4 – для інноваційного менеджменту: $s_{4, \text{вх.}}$ – вхідні показники (характеристики (чисельні) у вартісному вираженні) якісної оцінки потреби ринку у навчальних, наукових і виробничих послугах, оцінка існуючого та планованого (прогнозованого) інтелектуального і технологічного потенціалу керованої системи; $s_{4, \text{вих.}}$ – вихідні показники – чисельні оцінки ефективності віддачі від впровадження сучасних технологій навчання, наукових і виробничих розробок на рівні інформаційних документів щодо задоволення попиту на випускників, наукову та виробничу продукцію;

s_5 – для операційного менеджменту: $s_{5, \text{вх.}}$ – вхідні показники – кількісні оцінки фінансових, матеріальних, інтелектуальних, інформаційних ресурсів; $s_{5, \text{вих.}}$ – вихідні показники – вартісні характеристики ефективності здійснення стратегій розвитку на рівні інформаційних документів щодо розподілення «прибуткових» ресурсів;

s_6 – для інформаційного менеджменту: $s_{6, \text{вх.}}$ – вхідні інформаційні характеристики – характеристики, обумовлені станом векторів X, Y, Z на певний термін функціонування РОЦ; $s_{6, \text{вих.}}$ – вихідні змінні – характеристики ефективності функціонування інформаційного забезпечення КАСУ, тобто характеристики, що визначають стан вектора Y в процесі впливу вектора U на обраному дискретному кроці управління, на рівні інформаційних документів, що визначають вихідний стан ІОС.

Отже, постає задача узгодження показників як за рівнем інформаційного відображення (виміру), так і за балансом інтересів (наприклад, при багатокритеріальному виборі постає питання переважаючої пріоритетності).

Прототипи $s_k, k = \overline{1,6}$ інформаційного подання $p_i, j = \overline{1,7}$ заповнюються в процесі реалізації інформаційних функцій:

$$F_0 = \{f_{0i}\}, \quad s = \overline{1,7}, \quad (2)$$

де f_{0i} – інформаційні функції, які реалізуються на верхньому рівні організації (ректорату) РОЦ.

Реалізація інформаційної функції F_0 полягає у відображенні заданого функцією відношення на прототипи інформаційного подання S . Виходячи зі структурно-функціональної схеми КАСУ здійснюється таке інформаційне відображення:

$$F_0: X \times Y \times Z \rightarrow Y, \quad (3)$$

де \times – знак декартового добутку.

Будемо вважати, що реалізація інформаційних функцій F_0 формує загальне інформаційне наповнення ІОС. Тоді складові його є результатами дії інформаційних функцій F_j на нижніх організаційних рівнях (дирекцій підрозділів) РОЦ, тобто має місце інформаційне відображення:

$$F_j: X_i \times Y_i \times Z_i \rightarrow Y_i, \quad (4)$$

де $F_j = \{f_{jt}\}$, $i = \overline{1, l}$, $j = \overline{1, t}$ – кількість підрозділів на нижніх рівнях організації РОЦ.

Отже, під інформаційно-освітнім середовищем РОЦ будемо розуміти формальну інформаційну четвірку:

$$IOС \subset P \times S \times F_0 \times F_j. \quad (5)$$

В межах здійснення стратегії розвитку РОЦ зведемо формальну теоретичну модель (5) до прототипів стратегічного потенціалу освітніх, наукових і виробничих послуг; контролінгу та інформаційних технологій їх реалізації.

При такому підході виділяються п'ять рівнів: організаційно-функціональний – реалізація функцій стратегічного менеджменту в межах ІОС РОЦ; аналітичного забезпечення задач організаційно-функціонального рівня; ресурсного – як кількісного і якісного рівня розвитку послуг РОЦ за рахунок його «прибуткової» діяльності (оптимізація регіональної освітньої мережі); розподілення «прибуткових» ресурсів на розширення та якість послуг РОЦ; інформаційно-апаратного забезпечення – рівня розробки концептуальної моделі КАСУ з розвиненою СППР.

Узгодження показників за рівнем інформаційного відображення досягається математичними і евристичними (експертними) методами, які дезагрегують інформацію при переході від показників стратегічного управління до показників проблемних менеджментів і навпаки. Узгодження показників за балансом інтересів досягається погодженням (координацією) інтересів центральних блоків стратегічного управління й периферійних блоків проблемних менеджментів.

Одержання оптимальних управлінських рішень у рамках стратегічного планування або його корегування в рамках контролінгу стратегічного управління досягається аналітичною особливістю обчислювальних блоків КАСУ, яка полягає в стабілізації інформації в прямих і зворотних каналах зв'язку між математичними чи евристичними (експертними) моделями стратегічного й проблемного менеджментів.

Висновки

Інформаційні технології впливають на процес навчання і систему освіти в цілому. Як результат, сьогодні має місце становлення і розвиток інформаційно-освітніх систем, технологічною базою яких є освітні, інформаційні та телекомунікаційні технології. Розглянуто концепцію формалізації інформаційно-освітнього середовища в межах створення КАСУ РОЦ за умов його стратегічного розвитку.

Література

1. Мальгин Е. Н. Информационно-образовательная среда для подготовки специалистов инженерного профиля [Электронный ресурс] / Е. Н. Мальгин, М. Н. Краснянский. – Режим доступа : <http://gcon.pstu.ac.ru/pedsovet/cat/obsh/konf/Tezis/razd2/45.html/>.
2. Білошицький А. О. Використання корпоративної комп'ютерної мережі в діяльності вищого навчального закладу / А. О. Білошицький, П. П. Лізунов // Вісник Львівського університету. – 2004. – № 8. – С. 182–188.
3. Білошицький А. О. Розробка і використання комп'ютерної мережі для забезпечення навчального процесу / А. О. Білошицький, П. П. Лізунов // Матеріали Всеукр. наук.-метод. конф. [“Проблеми та зміст фундаментальної освіти сучасного інженера”], 2004 р. – Х., 2004. – С. 60–61.
4. Білошицький А. О. Использование сети Internet в деятельности технического университета / А. О. Білошицький, П. П. Лізунов, О. О. Макаруч // Збірник наукових праць Національної академії Прикордонних військ України ім. Богдана Хмельницького. – 2004. – Ч. 2, № 26. – С. 146–147.
5. Білошицький А. О. Створення фонду програмних продуктів КНУБА / А. О. Білошицький, П. П. Лізунов, О. О. Макаруч // Матеріали 64 Наук.-практ. конф., 2003 р. – К., 2003. – С. 4–6.
6. Лізунов П. П. Моделі та засоби формування комплексного інформаційно-освітнього середовища навчального закладу / П. П. Лізунов, А. О. Білошицький // Системи обробки інформації. – 2007. – Вип. 5(63). – С. 2–7.
7. Проектування комп'ютерних мереж з розподіленими базами даних / [А. О. Білошицький, В. Б. Задоров, П. П. Лізунов та ін.] // Матеріали 63-ї Науково-практ. Конф. Київського національного університету будівництва і архітектури. – 2002. – С. 4–5.
8. Рач В. А. Инновационная деятельность: системные аспекты / В. А. Рач // Вісник Східноукраїнського державного університету. – 1997. – № 2. – С. 120–127.
9. Колпаков В. М. Методы управления / Колпаков В. М. – К. : Наук. думка, 1997. – 133 с.
10. Корчагин В. П. Новый хозяйственный механизм в здравоохранении / Корчагин В. П. – М. : ИПУ РАН, 1990. – 32 с.

Надійшла 11.1.2011 р.

НЕОБХІДНІСТЬ ТА ПРИНЦИПИ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЗАКЛАДУ ОСВІТИ

У статті визначено необхідність використання нових технологій у роботі навчальних закладів, окреслено основні принципи побудови інформаційно-комунікаційної інфраструктури та її характеристики. Визначено ряд проблем, які постають в процесі використання комп'ютерних технологій та шляхи вирішення цих проблем. Описано роботу діючої інфраструктури навчального закладу.

The paper identified the need for new technology in the schools, the main principles of information and communication infrastructure and its characteristics. A number of problems encountered during the use of computer technologies and solutions to these problems. Described the operation of the existing infrastructure of the institution.

Ключові слова: інформаційно-комунікаційна інфраструктура, електронні засоби навчання, автоматизована система управління, комп'ютерні технології.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. У ХХІ столітті людство стрімко розвивається і час від часу долає нові вершини науково-технічного процесу. Освіта також повинна встигати за розвитком науки і техніки для забезпечення своєї ефективності та виконання покладеної на неї місії. Тому постала проблема переходу освіти на якісно новий рівень свого розвитку та подальшого функціонування. А цей перехід можливий лише за умови впровадження інформаційно-комунікаційних технологій в освітній процес. Питаннями впровадження інформаційних технологій в діяльність закладів освіти займається Інститут інформаційних технологій і засобів навчання академії педагогічних наук України.

Ті зміни, які переживає українська освіта у намаганнях відповідати новим умовам, вимагають нових рішень щодо реалізації принципів, управління закладами освіти та їхнього технічного забезпечення. Основою таких рішень є впровадження сучасних інформаційно-комунікаційних технологій, що забезпечать доступність та ефективність освіти, переосмислення та вдосконалення навчально-виховного процесу, підготовку нових поколінь до життєдіяльності у новому інформаційному суспільстві; підготовка освітніх кадрів для роботи в нових умовах та підготовка фахівців технічних напрямів, які зможуть забезпечити підтримку і розвиток цих умов.

Перехід країни до інформаційного суспільства призвів до визначення пріоритетності інформаційної діяльності і тепер передбачає перегляд професійно-кваліфікаційних вимог до учасників навчального процесу.

Необхідність впровадження інформаційних технологій затверджена у Національній доктрині розвитку освіти України у ХХІ столітті:

- інформатизація середньої освіти спрямована на задоволення освітніх, інформаційних, обчислювальних та комунікаційних потреб учасників навчально-виховного процесу шляхом створення єдиної інформаційної структури;
- побудова індивідуальних модульних програм навчання різних рівнів складності; видання електронних підручників;
- створення в Україні індустрії сучасних засобів навчання, що відповідають сучасному науково-технічному рівню і є передумовою для реалізації ефективних стратегій досягнення мети освіти.

Інформаційне управління навчальним закладом є новим етапом в його розвитку і передбачає використання:

- автоматизованих інформаційно-пошукових систем;
- автоматизованих інформаційно-довідкових систем;
- інформаційних систем управління;
- телекомунікаційних технологій;
- систем управління базами даних та звітністю;
- систем правової документації;
- доступу до глобальної мережі Інтернет та освітніх мереж;
- мультимедійних технологій навчання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор. Питання впровадження інформаційно-комунікаційних технологій управління загальноосвітнім закладом освіти шляхом систематизації інформаційного забезпечення управлінської діяльності дослідили В.В. Гуменюк, В.П. Дрогун, В.І. Маслов; якість програмного забезпечення досліджували О.В. Поморова, Т.О. Говрущенко, С.Я. Тарасек. Вищезазначені праці різносторонньо висвітлюють проблематику і показують дієві шляхи вирішення ситуації згідно з темами своїх досліджень. В той же час вони не розкривають необхідність та труднощі впровадження інформаційно-комунікаційних технологій у вигляді діючої інфраструктури на прикладі існуючих закладів освіти. Зокрема не висвітлено

зміст проблеми, не проведене теоретичне обґрунтування принципів роботи, не представлено практичних прикладів поетапного розвитку комп'ютерної інфраструктури до моменту, коли будуть задоволені всі інформаційні потреби кожного користувача.

Виділення невіршених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Актуальність створення та використання інформаційно-комунікаційної інфраструктури, заснованої на принципах новітньої освіти, є очевидною та беззаперечною, тому ця проблема потребує глибинного дослідження. Необхідно з'ясувати:

- напрямки діяльності освітнього закладу, в яких доцільно або необхідно застосовувати інформаційні технології; визначити вплив таких технологій на підвищення ефективності та покращення результативності роботи навчального закладу;
- цілі та вимоги, які ставляться користувачами до комп'ютерних технологій;
- структуру та характеристики інформаційно-комунікаційної інфраструктури, які повинні розроблятися окремо для кожного навчального закладу, із врахуванням специфіки його роботи.

Діяльність закладів освіти в сучасних умовах полягає у розробці інформаційної політики, шляхом створення програми комплексної інформатизації діяльності навчального закладу; формуванні відповідного середовища та інформаційної інфраструктури; створенні і розвитку автоматизованих систем управління (повністю автоматичних або напівавтоматичних); розробці та використанні комп'ютерних, інформаційних і телекомунікаційних технологій у всіх напрямках діяльності.

Постановка завдання. Розкрити основні напрями ефективного використання комп'ютерних технологій у складі спеціалізованої інформаційної інфраструктури; показати на практиці можливості використання комп'ютерних технологій для автоматизації процесів, що забезпечують діяльність навчального закладу; визначити рівні і вимоги, яким повинна відповідати інформаційна інфраструктура; розвиток професійної компетентності директорів навчальних закладів, викладачів, учнів і технічного персоналу, відповідно до сучасних вимог, шляхом використання новітніх технологій.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Виходячи із завдань інформатизації освіти інформаційно-комунікаційна інфраструктура закладу освіти повинна створюватись для комплексного вирішення таких завдань і цілей:

- створення єдиного інформаційного простору навчального закладу;
- автоматизація організаційно-розпорядчої діяльності;
- використання інформаційних технологій для безперервної професійної освіти педагогів і обслуговуючого персоналу та оптимізації навчального процесу;
- забезпечення умов для формування інформаційної культури учнів;
- створення умов для взаємодії сім'ї та навчального закладу через єдиний інформаційний простір.

Одна із тенденцій розвитку освіти – порівневий підхід до використання інформаційних технологій у навчальному процесі, які повинні охопити всі сторони освітньої діяльності:

- перший рівень (мінімальний) – для роботи використовується стандартне офісне програмне забезпечення для роботи з документами, таблицями, презентаціями, особливих умінь персоналу не потрібно, автоматизація процесу є низькою;
- другий рівень (найбільш розповсюджений) – рівень локальної мережі в межах одного закладу освіти, що передбачає повний перехід документообігу на електронну форму і дає змогу вести електронні класні журнали, створювати запити, проводити вибірку необхідних даних, генерувати звіти;
- третій рівень (найсучасніший) – рівень глобальних мережевих рішень, який дозволяє проводити документообіг з іншими організаціями, використовувати послуги Інтернет-банкінгу, спеціалізованих датацентрів та VPN підключення, спрощує доступ до нормативно-правових актів, навчальної та методичної інформації, але потребує глобальних і дорогих рішень.

Перший рівень вже не може задовольнити зростаючі інформаційні потреби сучасних навчальних закладів, другий та третій теж скоро втраять свою актуальність, тому інформаційно-комунікаційну інфраструктуру потрібно впроваджувати згідно з рівнем «3+» (можливість ефективно використовувати всі сучасні технології та безперешкодно вводити в дію на її базі прогнозовані розробки найближчих трьох-п'яти років, також така система повинна підтримувати всі системи попередніх поколінь). Характеристики, яким повинна відповідати сучасна інфраструктура:

- Функціональність – можливість виконувати якнайбільше функцій, які покладаються на цю систему концепцією автоматизації навчального процесу; скорочення впливу людського фактора.
- Надійність – система повинна надійно виконувати покладені на неї завдання у будь-яких ситуаціях, регулярно проводити резервне копіювання даних і налаштувань та самооновлюватись для запобігання накопиченню помилок; на надійність впливає і ступінь автономності системи. У багатьох випадках засобом підвищення надійності інфраструктури є її спрощення в плані технічного виконання. Система завжди повинна видавати лише вірні результати роботи, тому для контролю надійності потрібно закласти принципи її тестування.
- Ефективність – система повинна виконувати як можна більше операцій, а використовувати, якомога менше часу та ресурсів; у цьому випадку ефективність може бути представлена правильним співвідношенням продуктивності, швидкості роботи та економії ресурсів.
- Зручність – здавалось би, це не обов'язкова характеристика, але зручність інфраструктури для

користувача є визначальною у проблематиці автоматизації навчального процесу, адже якщо користувач проведе занадто багато часу для постановки задачі та отримання результату, через не ергономічний інтерфейс, незрозумілі настройки та інше, то переваги від автоматизації цього процесу нівелюються, а сама автоматизація стане просто втратою ресурсів і часу.

- Актуальність – навіть незважаючи на свою ефективність в минулому система повинна відповідати сучасним вимогам та вимогам, які можуть проявитись у найближчому майбутньому (наприклад: якщо кілька років тому перед системою навчання ставились завдання входу до європейського освітнього процесу і розробки, ідентичних європейським, засобів навчання, то зараз інформаційна інфраструктура повинна давати можливість педагогу запропонувати свій внесок і поділитись ним із колегами та випробувати свій передовий досвід).

- Еластичність – є важливою характеристикою, якій повинна відповідати інфраструктура, адже з часом вимоги до неї будуть змінюватись і потрібно буде замінювати деякі складові новішими та ефективнішими; також потрібно буде проводити профілактичні огляди та ремонти без вимикання системи; і сама інфраструктура повинна бути розрахована на оперативне перепрофілювання без втрати працездатності; еластичність інфраструктури потрібна і для найповнішого її розповсюдження та пристосування до навколишнього середовища, тобто враховується необхідність перенесення або встановлення техніки у різних місцях (на складах, у їдальнях, на вулиці, у господарських приміщеннях та ін.).

Розробка та подальша експлуатація інформаційно-комунікаційної інфраструктури навчального закладу повинна базуватися на засобах підвищення ефективності, які представлені на рисунку 1.

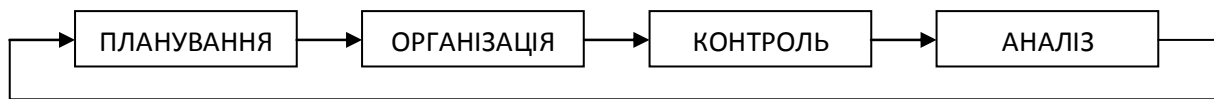


Рис. 1. Засоби підвищення ефективності інформаційно-комунікаційної інфраструктури

Під час впровадження інформаційних технологій в структуру закладів освіти необхідно визначити оптимальні умови автоматизації робочих місць учасників освітнього процесу, що допоможе систематизувати і підвищити продуктивність роботи керівників закладів, їхніх заступників, секретарів, учителів, психологічної служби, соціальних педагогів, бібліотекарів, та інших працівників і учнів.

Важливу роль у раціоналізації управління навчальним закладом, таким як школа, відводиться створенню автоматизованої системи управління школою (АСУ-Школа) на базі вже розробленої, впровадженої і налагодженої інформаційно-комунікаційної інфраструктури освітнього закладу. Така система створюється для:

- підвищення якості навчання, за рахунок контролю з боку директора та відповідальних посадових осіб;
- консолідації зусиль громадських організацій, навчальної, кадрової, господарської, методичної та фінансової діяльності за рахунок збору та обробки інформації;
- оптимального використання ресурсів навчального закладу за рахунок автоматизації розробки навчальних планів, складання розкладів, автоматизації рутинних процесів для вираховування різних показників;
- підвищення ефективності управління на всіх рівнях за рахунок своєчасного і повного забезпечення адміністрації і відповідальних посадових осіб необхідною інформацією, для прийняття оптимальних рішень.

Використання комп'ютерних технологій дозволяє ефективно проводити педагогічний аналіз уроків, що вдосконалює контроль над якістю освіти і дає можливість розробляти рекомендації щодо методики викладання.

Недостатнє фінансове та матеріальне забезпечення шкіл, консерватизм у використанні новітніх технологій, незадовільна якість програмного забезпечення, відсутність випробувального терміну і безкоштовного навчання компанією розробником стримують використання інформаційних технологій. Тому новітня інфраструктура повинна включати попереднє навчання і можливість отримання роз'яснень від довідкової системи або відповідальних технічних працівників.

Сьогодні використовується не багато автоматичних систем управління навчальним закладом, але характеристики основних із них представлені в таблиці 1.

Детальніше проаналізувати роботу реалізованої інформаційно-комунікаційної інфраструктури можна розглянути на прикладі навчально-виховного комплексу № 2 м. Хмельницького, який згідно наказу Міністерства освіти і науки України від 20.02.2002р. № 114 став експериментальним майданчиком академії педагогічних наук України із впровадження комп'ютерних технологій в освітній процес. Використання інформаційно-комунікаційних технологій формують комп'ютерно орієнтоване навчальне середовище, яке адекватно відображає сучасний стан технологічного, зокрема інформаційного розвитку суспільства.

Головною метою використання інформаційно-комунікаційних технологій в процесі вивчення дисциплін є підвищення якості навчально-виховного процесу, реалізація особистісно орієнтованих педагогічних технологій, формування в учнів навичок продуктивної навчальної діяльності.

Педагогічна практика та спеціальні психолого-педагогічні дослідження підтверджують, що

реалізація навчально-виховного процесу з використанням інформаційно-комунікаційних технологій сприяє виникненню нових організаційних форм та методів навчання і виховання, впливає на зміст та структуру навчальних планів та програм, викликає зміни в діяльності учасників навчально-виховного процесу.

Таблиця 1

Характеристики основних систем управління навчальними закладами

Назва	контроль фінансових витрат та матеріальних цінностей	планування навчально-виховної роботи	розклад уроків	аналіз діяльності закладу	Моніторинг			предметне та тестове програмне забезпечення	контроль роботи адміністративно-господарської частини та ідальні	Звітність	
					навчального процесу	учнів	класів			кадрів	внутрішня
Діагностично-проектуючий комп'ютерний комплекс «Універсальний»	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	-
Комплекс комп'ютерних програм «Ефективна школа XXI»	+	+	+	-	-	-	-	-	-	+	+
КСК «NET школа»	-	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+
Автоматизований комплекс «Школа»	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-
Комплекс програм «ІС-Хронограф Школа»	+	+	-	-	-	-	-	+	+	-	-
Комплекс програм «Ректор-3» та «АВТОР-Школа»	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-

Беручи до уваги, що широке використання у навчально-виховному процесі загальноосвітньої школи інформаційно-комунікаційних технологій, комп'ютерно орієнтованих засобів і систем навчання, створення на їх основі відповідного навчального середовища є невід'ємною складовою подальшої інформатизації освіти.

Топологія мережі змішана, але переважають рішення на базі топології «зірка» із резервними лініями зв'язку для забезпечення стабільної роботи системи. Мережа реалізована засобами витої пари інтерфейсу 10BASE-T із заземлюючим екраном. Ядром системи є два сервери:

- сервер доступу до Інтернет на базі системи FreeBSD;

- файловий сервер для зберігання даних користувачів, антивірусних баз, резервних копій, виконаний на базі Windows із застосованою ієрархією та паролем доступом до ресурсів кожного з користувачів.

Першочерговим у діяльності навчального закладу є розширення його інформаційного простору, для цього створено сайт, на якому розміщена інформація про останні новини, школу, адміністрацію, вчителів, учнів, традиції навчального закладу, самоврядування, медалістів та інше. Організація хостингу для сайту та сервера електронної пошти силами навчального закладу економічно не вигідно, тому використовується допомога спеціалізованих організацій.

Крім сайту в школі працює шкільне радіо. Воно було створене, як заміна для застарілої системи механічних дзвоників і представляє собою розвинену мережу акустичних колонок, які озвучують сигнал, що подає спеціально розроблена програма (із прописаним розкладом дзвінків), встановлена на комп'ютері. Але крім дзвінка можна відтворювати й інші мелодії, а також голос, за допомогою підключеного мікрофону.

Організована система автоматизованих робочих місць (АРМ) працівників, структура якої показана на рисунку 2. Для економії ресурсів деякі периферійні пристрої підключені одночасно до кількох АРМ.

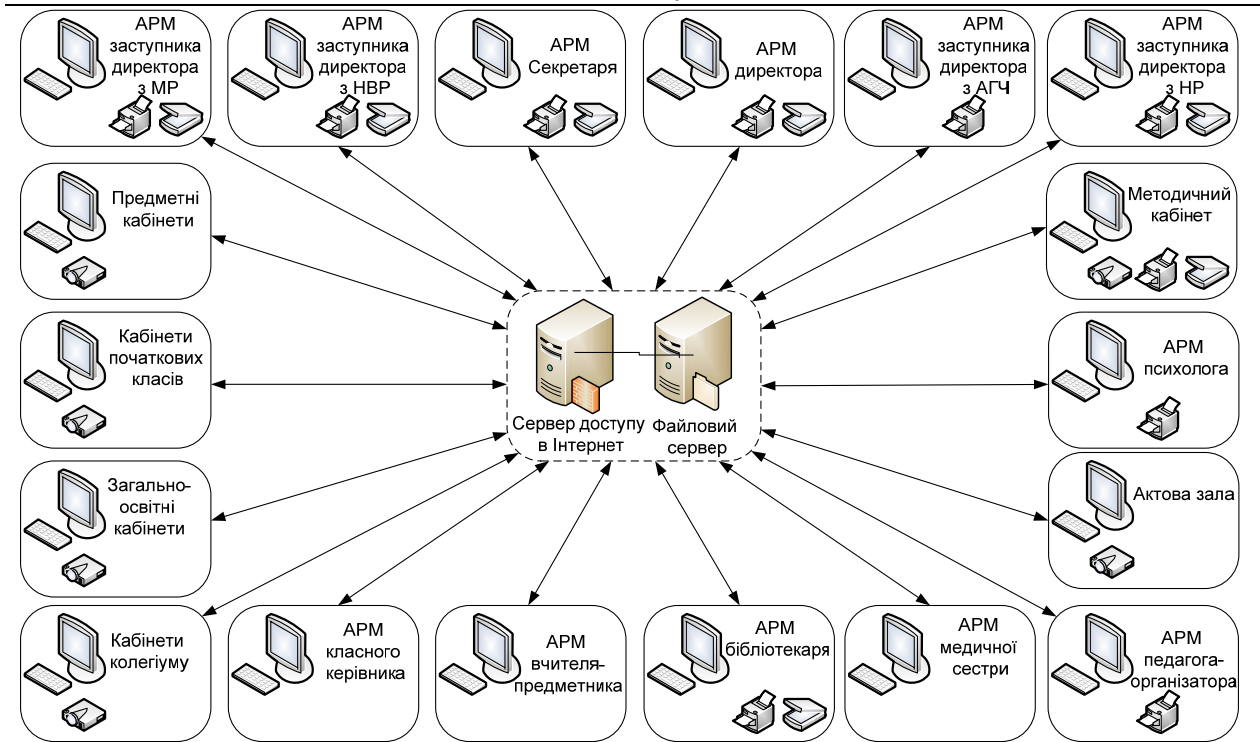


Рис. 2. Структура системи автоматизованих робочих місць в НВК № 2 м. Хмельницького

Для економії коштів у деяких аудиторіях встановлені термінальні сервери, на яких функціонує все необхідне програмне забезпечення для роботи у даному кабінеті, а малопотужні робочі станції підключаються до сервера термінально і виконують всі операції на ньому, отримуючи лише результат.

Ведення баз даних, документації, звітності, складання робочих і навчальних планів, розкладів та інших операцій проводиться з використанням стандартного пакету офісних програм, але вивчається можливість переходу на спеціалізоване програмне забезпечення комплексного управління всією школою.

У навчанні використовуються мультимедійні класи, за допомогою яких проводиться навчання за такими предметами, як фізика, хімія, географія, економіка, математика, українська мова, іноземна мова. Крім того ці програми мають вбудований конструктор уроків, який дозволяє вчителю, корегувати спосіб подання інформації учням, покладаючись на свій досвід та професійну компетентність. Крім цього проводиться апробація електронних засобів навчання і з інших предметів.

Окремо можна виділити технологію онлайн-семінарів, яка зараз часто використовується і дозволяє:

- використовувати спільний доступ до екрану або окремих програм;
- демонструвати презентації;
- синхронно переглядати веб-сторінки;
- транслювати зображення відкритих уроків у інше приміщення, установу, країну;
- моніторити присутність учасників;
- використовувати текстовий, голосовий та відео чат;
- застосовувати VoIP-телефонію та відеоконференцзв'язок;
- записувати хід конференції в режимі реального часу та багато іншого.

Робота таких технологій в школі просто необхідна, так як вони є економними, продуктивними і актуальними.

Висновки. Використання інформаційно-комунікаційних технологій в галузі освіти стало необхідним, так як їх впровадження забезпечить перехід цієї галузі на якісно новий рівень і дозволить вирішити складні проблеми педагогіки в проблемі розвитку особистості підростаючого покоління. Для розвитку інформаційних технологій у сфері освіти потрібна скоординована підтримка держави. Інформаційно-комунікаційна інфраструктура закладів освіти повинна впроваджуватись лише за можливості встановлення необхідного обладнання та програмного забезпечення, проведення телекомунікацій, професійної підготовки педагогів та обслуговуючого персоналу. Використання вільного програмного забезпечення у навчальних закладах не дає переваг, тому що викликає масу незручностей для користувачів та й обслуговувати його дорожче, а більшість навчального програмного забезпечення працює тільки на платформі Windows.

Важливу роль у роботі навчальних закладів відіграє глобальна мережа Інтернет. В умовах інформаційного суспільства компетентний директор повинен проявляти ініціативу у застосуванні новітніх технологій шляхом створення веб-сторінок, видання електронних джерел інформації, членства в міжнародних програмах інтерактивного обміну досвідом з колегами та підключення до освітніх мереж. Таким чином впровадження інформаційно-комунікаційної інфраструктури у закладах освіти знищить

стереотипи, сприятиме переосмисленню принципів роботи, підвищенню цілеспрямованості та працездатності учасників процесу, економії ресурсів, переходу до реального особистісно-орієнтованого навчання.

Література

1. Кондратов В. Т. Стратегічна теорія XXI століття / В. Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2001. – № 2. – С. 11–16.
2. Боюн В. П. Динамическая теория информации. Основы и приложения / Боюн В. П. – К. : Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова НАН України, 2001. – 326 с.
3. Савченко З. В. Використання інформаційно-комунікативних технологій в управлінській діяльності ЗНЗ / Савченко З. В. – К., 2000. – 180 с.
4. Колин К. Информатизация образования: новые приоритеты / Колин К. // *Almamater*. – 2002. – № 2. – С. 16–22.
5. Національна доктрина розвитку освіти у XXI столітті // Освіта України. – 2001. – № 1. – С. 22–25.
6. Калініна Л. М. Система інформаційного забезпечення управління загальноосвітнім навчальним закладом : [моногр.] / Калініна Л. М. – К. : Айлант, 2005. – 275 с.

Надійшла 24.1.2011 р.

УДК 519.7: 378.147

А.М. МЕЛЬНИК, Р.М. ПАСІЧНИК
Тернопільський національний економічний університет

МЕТОД АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ СТРУКТУРОЮ ПРОЦЕСУ НАВЧАННЯ

В статті запропоновано метод адаптивного управління структурою процесу навчання, який забезпечує суттєву економію часових затрат без втрати ефективності засвоєння навчальних матеріалів.

Method of adaptive control structure learning, which provides significant cost savings in time without loss of learning effectiveness are proposed in this article.

Ключові слова: адаптивне управління, інтелектуальні навчальні системи, часові затрати.

Вступ

В умовах становлення інформаційного суспільства зростають вимоги до ефективності процесів навчання та перепідготовки кадрів. Використання традиційних методів навчання та контролю знань не може забезпечити підвищення ефективності навчального процесу, тому особливої актуальності набувають методи автоматизованого навчання і контролю знань [1]. В дослідженнях ефективності навчання виділяють три основні компоненти: дидактичну, часову та економічну [2]. Рівень дидактичної компоненти може бути оцінений успішністю студента при розв'язанні контрольних завдань. Досягнення бажаної успішності обумовлюється початковим рівнем знань та здібностями студента, організацією процесу навчання, часовими та економічними обмеженнями.

Процес організації навчання включає створення форм подачі теоретичного матеріалу, зразків розв'язання проблемних ситуацій предметної області, а також методи контролю та самоконтролю правильності набутих знань та навичок. Цей процес включає інтелектуальні операції з різною насиченістю творчої компоненти: від авторського бачення структури теоретичного матеріалу до рутинної перевірки правильності розв'язання завдань. Виділення та формалізація нетворчих компонентів процесу навчання із наступною їх автоматизацією дозволяє вивільнити час викладача на посилення творчої компоненти, що посилює розвиток творчих задатків студентів.

Також варто відзначити, що посилення інформатизації суспільства посилює попит на висококваліфікованих вузьких спеціалістів із хорошим рівнем загальнотеоретичних знань та знань в суміжних областях. Це вимагає активізації зусиль студента по самостійному засвоєнню знань із правильною диференціацією їх рівня. Часові та економічні обмеження процесу навчання визначаються конкретним рівнем розвитку суспільства і для певного історичного періоду розвитку конкретної країни можуть вважатися постійними. Таким чином, підвищення ефективності навчання на наш погляд полягає в автоматизації його складових із невисокою творчою насиченістю та активізацією процесів самостійної підготовки студентів.

Застосування тестів дозволило мінімізувати затрати часу викладача на процес контролю правильності знань та активізувати процес її самоконтролю. Комп'ютеризація процесу тестування додатково вивільняє ресурси, які затрачалися на тиражування завдань та співставлення поданих відповідей із вірними. В цьому випадку основні часові затрати пов'язані із формуванням альтернатив тестових завдань. Продуктивні підходи автоматизації цього процесу описані в роботах [3, 4] і розвинуті в [5]. Вони дозволяють звести затрати на формування тестових завдань до затрат на вибір вірних тверджень для контролю та фіксації типових помилкових при їх аналізі, якщо такі виникають. Затрати такого типу є

неусувними, а правдоподібність генерованих хибних альтернатив достатньо висока.

Якість самопідготовки студентів зростатиме якщо тестові завдання впорядковувати по наростанню складності. Питання оцінки складності завдань досліджувалося в роботах [6, 7]. Зокрема в роботі [6] запропоновано ефективний підхід до оцінки складності тестових завдань на основі мало-параметричної регресійної моделі, параметри якої ідентифікуються по невеликій вибірці тестів для конкретних студентських аудиторій та типів тестових завдань. Даний підхід дозволяє генерувати рівноцінні набори тестових завдань, а також забезпечувати адаптацію студентів до наростання їх складності. Однак диференціювання складності завдань дозволяє не тільки нарощувати складність завдань, але й управляти тривалістю підготовки по тестах для досягнення реально досяжного максимального рівня успішності по сукупності предметів при обмеженому ресурсі часу відведеного на підготовку. Актуальність цієї задачі впливає із потреби в забезпеченні вузької спеціалізації при достатньо високому загальному рівню підготовки та недостатньому їх висвітленню в наукових публікаціях. Серед близьких робіт до даної тематики варто відзначити роботи [8, 9]. Однак абстрактний класифікаційний підхід [8] не дозволяє врахувати індивідуальні особливості суб'єктів навчального процесу, а формування індивідуальної траєкторії навчання в [9] базується на врахуванні великої кількості суб'єктивних оцінок важко спостережуваних факторів.

Постановка задачі

В кредитно-модульній системі процес контрольного тестування рівня знань студента носить дискретний характер. Підсумкова успішність за курс є зваженою оцінкою успішності по залікових модулях, основна маса яких може бути отримана на основі тестового контролю. Залікові модулі значною мірою прив'язані до змістовних модулів, які розбивають навчальний семестр на періоди по 5-9 тижнів. Якщо тестування здійснюється по окремих темах, то часовий інтервал на їх вивчення ще більше скорочується. Протягом такого періоду раціонально можна отримати не більше 3-5 проміжних результатів тестувань. Модель залежності успішності студента від часових затрат на такій незначній вибірці може містити лише мінімальну кількість параметрів.

В результаті проведених експериментів із витратами часу на засвоєння матеріалу встановлено, що із ростом успішності витрати часу на її збільшення на 1% монотонно зростають. Це означає, що для моделювання залежностей необхідно використати монотонно зростаючі залежності: степеневу, експоненціальну, логарифмічну. Найбільш адаптивною до результатів експериментів виявилася степенева функція.

Оскільки процес навчання носить динамічний характер, його раціонально організувати на матеріалі наростаючої складності. Ідентифікація може бути здійснена на основі адаптивно-структурного методу [6]. Також важливо встановити моменти часу для підвищення рівня складності пропонованих тестів, які б дозволили мінімізувати загальний час досягнення бажаної успішності. Однак функція, що оцінює часові затрати для досягнення заданої успішності важко ідентифікується. Цей недолік невластивий функції прогнозованої успішності при заданих часових затратах. Тому функцію часових затрат слід будувати як обернену до функції успішності, представленої за допомогою степеневої функції.

Ідентифікація функції успішності та функції часових затрат

Нехай матеріал в навчальній системі згруповано по темах tm . При ознайомленні із матеріалом кожної теми студент s виконує навчальні тести рівнів складності k , що стимулюють процес засвоєння навчального матеріалу. Після освоєння матеріалу розділу студент складає контрольні тести по темі [10]. Задачу управління ефективністю навчання розглядаємо як мінімізацію часу на досягнення бажаного рівня успішності за окремою темою. При початковому тестуванні $nt=1$ студентів пропонуються тести всіх рівнів складності. Отримані значення успішності дозволяють оцінити її динаміку лінійною функцією по кожному рівню. При отриманні наступної точки спостереження по вибраному рівні складності переходимо до двопараметричної степеневої апроксимації:

$$U_k^{s,tm,nt}(T) = \begin{cases} \frac{U_k^{s,tm,1}}{t_{nt,k}} T, & \text{коли } nt = 1 \\ \min \left\{ A_k^{s,tm,nt} T^{\gamma_k^{s,tm,nt}}, 1 \right\}, & \text{коли } nt > 1 \end{cases}, \quad (1)$$

де $U_k^{s,tm,t}$ – функція залежності успішності від часових затрат; t – поточний час навчання; T – прогноз часових затрат; $A_k^{s,tm,t}, \gamma_k^{s,tm,t}$ – параметри регресійної функції; nt – номер навчального тестового контролю.

На основі формули (1) будемо функцію часових затрат як обернену до функції успішності.

$$T_k^{s,tm,nt}(U) = \begin{cases} \frac{t_k^{s,tm,nt}}{U_k^{s,tm,1}} U, & \text{коли } nt = 1 \\ \left(\frac{U}{A_k^{s,tm,nt}} \right)^{1/\gamma_k^{s,tm,nt}}, & nt > 1 \end{cases}, 0 \leq U \leq 1, \quad (2)$$

На рис. 1 наведено графічне представлення результатів ідентифікації залежності успішності від часових затрат для різних студентів при диференціації рівнів складності.

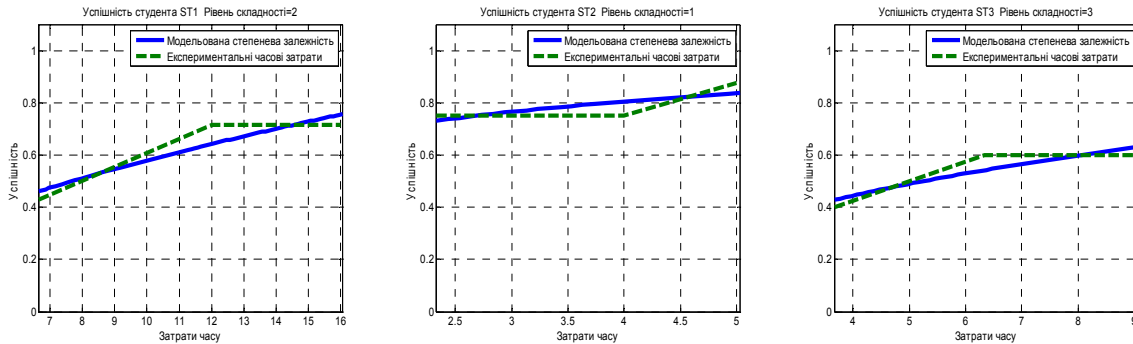


Рис. 1. Ідентифікація функцій успішності залежно від часових затрат

Як видно з представлених графіків, запропонована функція дозволяє проводити якісний прогноз успішності при заданих часових затратах. На наступному рисунку 2, представлено ідентифікацію функції часових затрат для наведених вище експериментів.

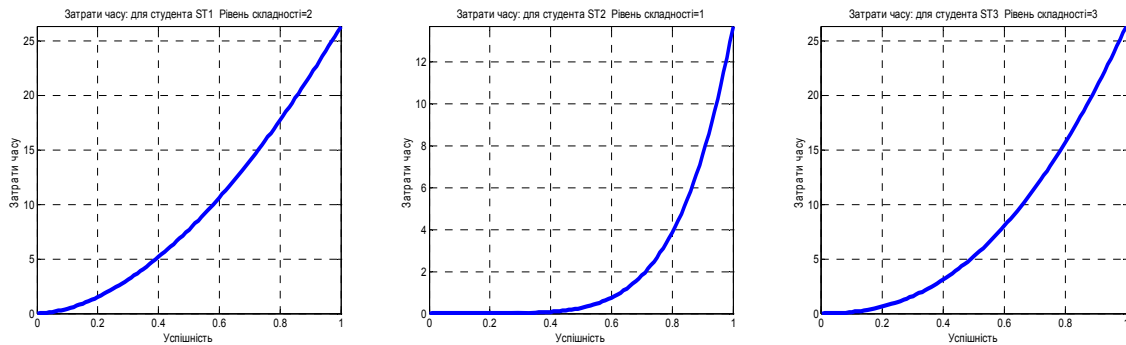


Рис. 2. Представлення функцій залежності часових затрат від рівня успішності

Варто відзначити, що при проведенні чисельних експериментів очевидна вимога не спадного характеру успішності навчання із ростом часових затрат не завжди виконується. Це можна пояснити нерівномірним освоєнням студентами різних аспектів теми навіть при формуванні тестових завдань однакового рівня складності. В цьому випадку експериментальні дані підлягають корекції. Зокрема при отриманні спадної ділянки в експериментальних даних вона змінюється на усередненні постійні значення.

Аналіз експериментальних досліджень підтверджує коректність процедури побудови функції залежності успішності від часових затрат. Оскільки функції успішності ідентифікуються для різних рівнів складності, то наведені графіки не дають можливості однозначно ідентифікувати відносні рівні підготовленості студентів $ST1, ST2, ST3$.

Метод мінімізації часу навчання для забезпечення необхідного рівня успішності

На основі ідентифікації функцій (1) та (2) можна побудувати наступний адаптивний метод мінімізації часових затрат для досягнення бажаного рівня успішності. Оптимізаційна задача управління ефективністю навчання окрім критерію включає обмеження на очікуваний рівень успішності із врахуванням часток тестових завдань відповідної складності в контрольному тесті, а також природне обмеження на рекомендовані успішності по рівнях складності тестів для конкретного студента та теми навчального матеріалу.

Складність цієї задачі полягає у високій мінливості функції часових затрат в процесі освоєння знань та навчального тестування. Тому для її розв'язання запропоновано покрокову процедуру (3)– (8), яка включає поетапну ідентифікацію функції часових затрат при отриманні нових результатів навчального тестування. Кожен етап навчального тестування містить тести одного рівня складності. Вибір цього рівня забезпечує використання рекомендацій щодо обсягів часу навчання, побудованих на попередньому кроці. На першому кроці етапу прогноуються успішності по рівнях складності, які б забезпечили бажаний рівень

очікуваної успішності із мінімальними затратами часу. При цьому компоненти цільової функції задають рекомендовані затрати часу на освоєння тестів по кожному рівню складності.

$$\text{Крок 1.} \begin{cases} z = \sum_k T_k^{s,tm,nt}(U) \rightarrow \min, & (3) \\ \sum_k c_k^{tm} \cdot U_k^{s,tm,nt} \geq U_{\min}^s, & (4) \\ 0 \leq U_k^{s,tm,nt} \leq 1 - U^*, & (5) \end{cases}$$

де c_k^{tm} – частка тестових завдань k-го рівня складності в тесті, що побудований для теми tm ; U_{\min}^s – успішність, якої прагне досягнути студент в процесі навчання при проходженні тестового контролю; U^* – рівень значущості (максимально можливу успішність понижуюємо на рівень значущості, оскільки максимальну успішність практично досягнути доволі складно).

$$\text{Крок 2. } k^* = \text{ArgMax}[(T_k^{s,tm,nt}(U_k^{s,tm,nt}) - t_k^{s,tm,nt}), k]; \quad (6)$$

$$nt(k^*) := nt(k^*) + 1; \quad (7)$$

$$\text{Крок 3. Якщо } \sum_k c_k^{tm} U_k^{s,tm,nt}(t_k^{s,tm,nt}) < U_{\min}^s \text{ то Крок 1.} \quad (8)$$

На другому кроці вибирається рівень складності пропонованих тестів, на якому рекомендовані часові затрати є найменш освоєними. На третьому кроці перевіряється умова завершення навчання при поточних часових затратах.

Чисельні експерименти

На основі запропонованого методу адаптивного управління структурою процесу навчання було проведено ряд чисельних експериментів. Оскільки аналізовані логіко-математичний метод та метод формування індивідуальної траєкторії навчання через абстрактність та суб'єктивізм застосовуваних показників не можуть бути застосовані в умовах експериментів щодо засвоєння матеріалу конкретних модулів, вираш в ефективності адаптивного методу порівнюємо із найпростішим недиференційованим підходом. Суть цього підходу полягає в досягненні бажаної успішності за всіма рівнями складності. Ріст ефективності, забезпечуваний адаптивним методом оцінювався відношенням заощадженого часу відносно недиференційованого підходу до загальних затрат часу останнього:

$$EG = \frac{\sum_k T_k^{s,tm,nt}(U_{\min}^s) - \sum_k T_k^{s,tm,nt}(U_k^{s,tm,nt})}{\sum_k T_k^{s,tm,nt}(U_{\min}^s)} \times 100\%. \quad (9)$$

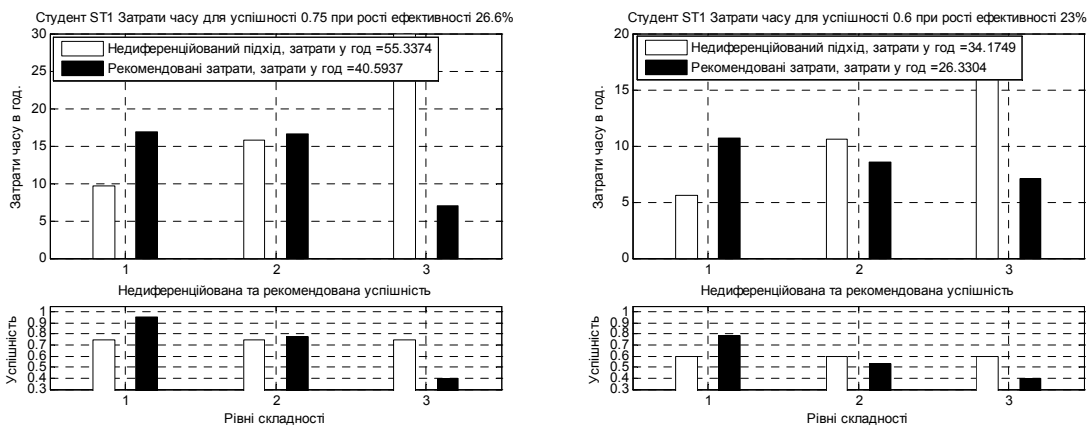


Рис. 3. Управління затратами часу навчання для студента 1 для досягнення успішності 0.75 та 0.6 при ефективності 26.6 та 23.0 %

Із наведених рисунків можна ідентифікувати рівні студентів $ST1$ як слабкий, $ST2$ – як високий, а $ST3$ – як середній. Відповідно до їх рівнів оцінювалися найбільш реальні альтернативні бажані рівні і успішності. У всіх випадках адаптивний метод забезпечив ріст ефективності. Як і очікувалося, в більшості випадків рекомендується досягнення вищої успішності на нижніх рівнях складності та зменшення успішності на вищих рівнях в порівнянні із недиференційованим підходом. Однак для студентів із високим рівнем підготовки для досягнення високої успішності рекомендовано збільшення часових затрат для освоєння завдань із високим рівнем складності.

Найбільші прирости ефективності метод демонструє для студентів із слабким та середнім рівнями підготовки.

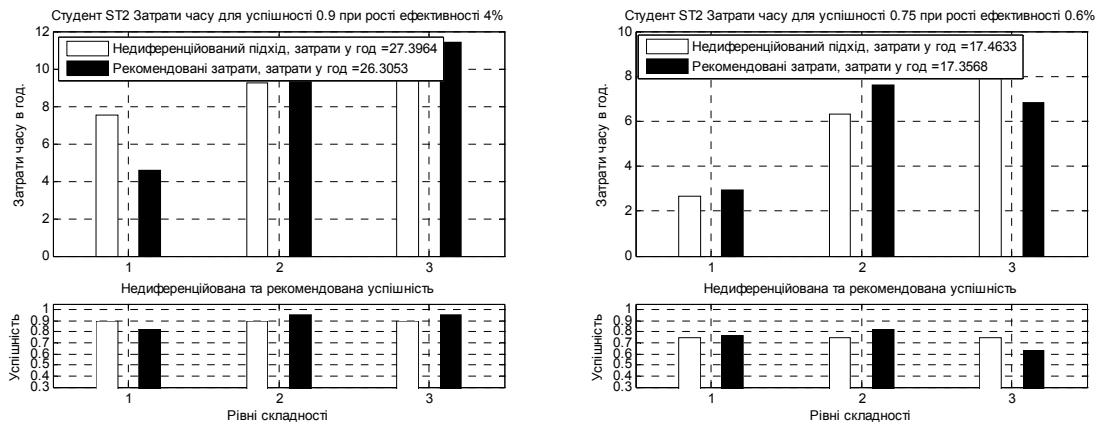


Рис. 4. Управління затратами часу навчання для студента 2 для досягнення успішності 0.9 та 0.75 при ефективності 4.0 % та 0.6 %

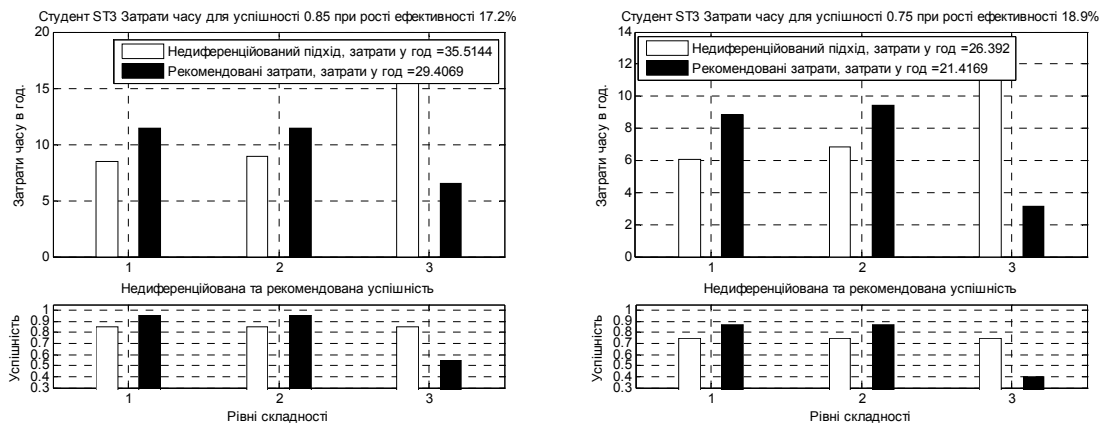


Рис. 5. Управління затратами часу навчання для студента 3 для досягнення успішності 0.85 та 0.75 при ефективності 17.2 % та 18.9 %

Висновки

В статті розглянуто особливості управління процесом навчання, проведено аналіз основних підходів, виділено їх основні недоліки. Запропоновано метод адаптивного управління структурою процесу навчання. В результаті застосування методу отримано наступні наукові та практичні результати: вперше показано, що адаптивне управління структурою навчального процесу при автоматичній генерації тестів із врахуванням їх складності забезпечує суттєву економію часових затрат без втрати ефективності засвоєння навчальних матеріалів, яка дозволяє будувати покращені оперативні навчальні стратегії в межах локальних тем або модулів.

Література

1. Оксамитна Л. П. Методи та засоби самоорганізації моделі знань в автоматизованих системах контролю знань та навчання : автореф. дис. на здобуття наук. ступення канд. техн. наук : 05.13.06 / Черкаський державний технологічний університет / Оксамитна Л. П. – Черкаси, 2003. – 18 с.
2. Сnižко Е. А. Методика применения экспертных систем для корректировки процесса обучения и оценки эффективности ППС : дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02 / Сnižко Е. А. – СПб, 1997. – 161 с.
3. Генерація тестових завдань у системі дистанційного навчання на основі моделі формалізації дидактичного тексту [Електронний ресурс] / С. В. Титенко // Наукові вісті НТУУ "КПІ". – 2009. – № 4. – С. 47–57. – Режим доступу : <http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/nvckpi/2009/01.pdf>
4. Мельник А. М. Метод генерації тестових завдань на основі системи семантичних класів / А. М. Мельник, Р. М. Пасічник // Вісник ТДТУ. – 2010. – Том 15. – № 1. – С. 187–193.
5. Автоматична генерація тестових завдань різних типів / А. М. Мельник // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 4. – С. 124–129.
6. Мельник А. М. Модель оцінки складності тестових завдань / А. М. Мельник, Р. М. Пасічник // Науковий вісник Чернівецького університету : збірник наук. праць. Комп'ютерні системи та компоненти. – 2009. – № 479. – С. 108–113.
7. Технология оценивания тестов в зависимости от типа и уровня сложности тестовых заданий на основе интегрированной модели / [Бондаренко М., Семенец В., Білоус Н. та ін.] // Proceedings of the Fourth International Conference "Modern (e-) Learning" MeL 2009, Varna, Bulgaria, June-July 2009, pp. 55–62.
8. Антоник М. С. Інформаційна технологія побудови автоматизованої системи управління

навчальним процесом : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.13.06 / Державний науково-дослідний інститут інформаційної інфраструктури Національна медична академія післядипломної освіти імені П. Л. Шупика / М. С. Антоник. – Львів, 2005. – 20 с.

9. Носов П. С. Інтелектуальне формування індивідуальної траєкторії навчання студента : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : 05.13.23 / Одеський національний політехнічний університет / П. С. Носов. – Одеса, 2007. – 17 с.

10. Мельник А. М. Моделювання результативності навчання в інтелектуальних адаптивних навчальних системах / А. М. Мельник, Р. М. Пасічник // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2009. – № 3. – С. 107–117.

Надійшла 13.1.2011 р.

УДК 519.21

А.Б. ГОРКУНЕНКО, А.М. ЛУЦКІВ, С.А. ЛУПЕНКО
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА СТАТИСТИЧНИЙ СУМІСНИЙ АНАЛІЗ ВЗАЄМОПОВ'ЯЗАНИХ ЕКОНОМІЧНИХ ЦИКЛІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

У роботі застосовано новий підхід до сумісного аналізу декількох взаємопов'язаних економічних процесів із використанням їх математичної моделі у вигляді вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів, що у методах їх аналізу та прогнозування дало можливість враховувати стохастичність, повторюваність у часі, змінність та спільність ритму досліджуваних економічних процесів.

The paper applies a new approach to joint analysis of several interrelated economic processes using their mathematical models as a vector of random cycle-related rhythmic processes that provided the possibility to take into account stochasticity, time repetition, variability and rhythm synchronism of the economical processes under investigation in the methods of their analysis.

Ключові слова: економічні циклічні процеси, математичне моделювання, методи аналізу та прогнозу, вектор циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів.

Вступ

Розробка сучасних математичних моделей, методів та програмних засобів підтримки прийняття рішень стосовно задач аналізу та прогнозу економічних процесів [1, 2], зокрема економічних циклічних процесів [3, 4], є важливою науково-прикладною задачею. Незважаючи на досить велику кількість наукових публікацій із цього приводу, наявності ряду програмних засобів аналізу та прогнозу циклічних економічних процесів, актуальним залишається підвищення точності, достовірності та глибини прогнозування циклічних економічних процесів. У роботах [5, 6], для аналізу та прогнозу економічного циклічного процесу обґрунтовано його математичну модель у вигляді циклічного випадкового процесу, що уможливило адаптацію статистичних методів аналізу та прогнозування цих економічних процесів до змін ритму (темпу) їх коливання. Однак даний підхід до математичного моделювання немає засобів врахування спільності ритму декількох взаємопов'язаних циклічних економічних процесів, що робить проблематичним проведення їх сумісного статистичного аналізу та прогнозу.

Дана робота присвячена математичному моделюванню та сумісному статистичному аналізу сукупності взаємопов'язаних економічних циклічних процесів з метою розробки методів їх прогнозування.

Основна частина

Математична модель сукупності взаємопов'язаних економічних циклічних процесів

Типовими прикладами взаємопов'язаних економічних циклічних процесів є індекс активності нерухомого майна та індекс активності рентного доходу. На рисунках 1 та 2 надано приклади реєстрограм цих економічних процесів, а саме, індекс активності нерухомого майна США та індекс активності рентного доходу США. Дані індекси є розрахованими компанією “Google” відносно відповідних значень цих величин станом на 1 січня 2004 року, що умовно прийняті за одиницю (тому реєстрограми надано в умовних одиницях).

Метод прогнозування безпосередньо базується на методі статистичного аналізу досліджуваних процесів, оскільки результати такого аналізу є вхідними даними для процедури побудови прогнозів (прогнозних рішень). Точність та достовірність аналізу суттєво залежить від обґрунтованої для задач прогнозування математичної стохастичної моделі сукупності взаємопов'язаних циклічних економічних процесів, оскільки основним етапом розробки статистичних сумісних методів аналізу та прогнозування циклічних економічних процесів є створення (чи обґрунтування) адекватної математичної моделі сукупності взаємопов'язаних циклічних економічних процесів.

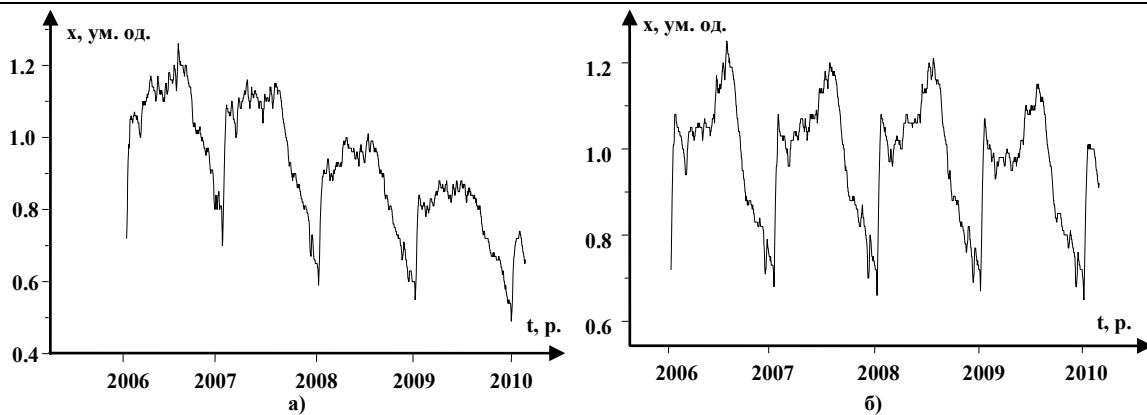


Рис. 1. Графіки реєстрограм взаємопов'язаних циклічних економічних процесів: а) індекс активності нерухомого майна США; б) індекс активності рентного доходу США

У даній роботі сукупність із N взаємопов'язаних циклічних економічних процесів у математичному сенсі трактується як вектор випадкових процесів $\mathbf{Y}_N(\omega, t) = \{y_i(\omega, t), i = \overline{1, N}, \omega \in \Omega, t \in \mathbf{W}\}$, кожна компонента якого, може бути подана у вигляді такої суми:

$$y_i(\omega, t) = f_i(t) + \xi_i(\omega, t), i = \overline{1, N}, \omega \in \Omega, t \in \mathbf{W}, \quad (1)$$

де $\{f_i(t), i = \overline{1, N}, t \in \mathbf{W}\}$ – сукупність трендових складових, а вектор випадкових процесів $\Theta_N(\omega, t) = \{\xi_i(\omega, t), i = \overline{1, N}, \omega \in \Omega, t \in \mathbf{W}\}$ є вектором циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів, для якого згідно роботи [7], його сумісні k -вимірні функції розподілу є інваріантними за сукупністю часових аргументів, а саме:

$$F_{k, \xi_{i_1} \dots \xi_{i_k}}(x_1, \dots, x_k; t_1, \dots, t_k) = F_{k, \xi_{i_1} \dots \xi_{i_k}}(x_1, \dots, x_k; t_1 + T(t_1, n), \dots, t_k + T(t_k, n)), \quad (2)$$

$$k \in \mathbf{N}, n \in \mathbf{Z}, i_1, \dots, i_k = \overline{1, N}, t_1, \dots, t_k \in \mathbf{W}.$$

Множина функцій $\Gamma = \{y(t, n) = t + T(t, n), n \in \mathbf{Z}\}$ є циклічною розривною зліченною групою перетворень (стосовно операції суперпозиції цих перетворень), де функція $T(t, n)$, яку названо функцією ритму, задовольняє таким умовам:

1.

$$\begin{aligned} \text{а) } T(t, n) &> 0, \text{ якщо } n > 0 \quad (T(t, 1) < \infty); \\ \text{б) } T(t, n) &= 0, \text{ якщо } n = 0; \\ \text{в) } T(t, n) &< 0, \text{ якщо } n < 0, t \in \mathbf{W}. \end{aligned} \quad (3)$$

2. Для будь-яких $t_1 \in \mathbf{W}$ та $t_2 \in \mathbf{W}$, для яких $t_1 < t_2$, для функції $T(t, n)$ виконується строга нерівність:

$$T(t_1, n) + t_1 < T(t_2, n) + t_2, \forall n \in \mathbf{Z}. \quad (4)$$

3. Функція $T(t, n)$ є найменшою за модулем $(|T(t, n)| \leq |T_\gamma(t, n)|)$ серед усіх таких функцій $\{T_\gamma(t, n), \gamma \in \Gamma\}$, які задовольняють умови (3) та (4).

Областю визначення випадкового вектора $\mathbf{Y}_N(\omega, t)$ є декартовий добуток множин \mathbf{W} та Ω , де \mathbf{W} є впорядкованою дискретною $\mathbf{W} = \mathbf{D} = \{t_{ml} \in \mathbf{R}, m \in \mathbf{Z}, l = \overline{1, L}, L \geq 2\}$ множиною або множиною $\mathbf{W} = \mathbf{R}$ дійсних чисел, що відображає часову змінну, а множина Ω є множиною елементарних випадкових подій. Якщо множина $\mathbf{W} = \mathbf{D}$ є дискретною, то для її елементів має місце такий тип лінійного упорядкування: $t_{m_1 l_1} < t_{m_2 l_2}$, якщо $m_2 > m_1$ або, якщо $m_2 = m_1$, $l_2 > l_1$, в інших випадках $t_{m_1 l_1} > t_{m_2 l_2}$ ($m_1, m_2 \in \mathbf{Z}$, $l_1, l_2 \in \overline{1, L}$, $0 < t_{m, l+1} - t_{m, l} < \infty$).

Використання даної моделі дає змогу одночасно врахувати наявність трендових складових, стохастичність, циклічність, мінливість та спільність ритму сукупності взаємопов'язаних економічних циклічних процесів та розширити сферу застосування стохастичного підходу до моделювання та сумісного аналізу циклічних процесів із однаковою ритмічною структурою.

Методи обробки сукупності взаємопов'язаних економічних циклічних процесів

Вилучення трендових складових

Першим етапом обробки сукупності взаємопов'язаних економічних циклічних процесів є процедура

розділення трендових складових $\{f_i(t), i = \overline{1, N}, t \in \mathbf{W}\}$ та сукупності циклічних компонент $\{\xi_i(\omega, t), i = \overline{1, N}, \omega \in \mathbf{\Omega}, t \in \mathbf{W}\}$, що дає змогу проводити їх аналіз та прогноз окремо. Оцінювання трендових складових загалом є нетривіальною задачею. У даній роботі ця задача вирішувалась за допомогою методу найменших квадратів, трендова крива вибиралася з класу поліномів третього порядку.

Циклічні компоненти визначались шляхом віднімання трендових складових із компонент вектора $\mathbf{Y}_N(\omega, t)$, а саме:

$$\xi_i(\omega, t) = y_i(\omega, t) - f_i(t), i = \overline{1, N}, \omega \in \mathbf{\Omega}, t \in \mathbf{W}. \quad (5)$$

Статистичне оцінювання ймовірнісних характеристик вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів

Оскільки згідно із математичною моделлю (1) вектор $\mathbf{\Theta}_N(\omega, t)$ є вектором циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів, то це уможливило використання для оцінювання ймовірнісних характеристик сукупності взаємопов'язаних економічних циклічних процесів розроблені в роботах [8, 9] статистичні методи. Згідно цих робіт запишемо формули для обчислення реалізацій відповідних статистичних оцінок ймовірнісних характеристик вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів.

Реалізація статистичної оцінки математичного сподівання:

$$\hat{m}_{\xi_i}(t) = \frac{1}{M} \sum_{n=0}^{M-1} \xi_{i\omega}(t + T(t, n)), t \in \mathbf{W}_{c_1} = [\tilde{t}_1, \tilde{t}_2), \quad (6)$$

де M – кількість зареєстрованих циклів, а \mathbf{W}_{c_1} – область визначення першого циклу економічного процесу.

Реалізація статистичної оцінки змішаної центральної моментної функції порядку $p = \sum_{j=1}^k R_j$:

$$\hat{r}_{p_{\xi_{i_1} \dots \xi_{i_k}}}(t_1, \dots, t_k) = \frac{1}{M - M_1} \sum_{n=0}^{M - M_1} \left(\xi_{i_1\omega}^{R_1}(t_1 + T(t_1, n)) - \hat{m}_{\xi_{i_1}}(t_1 + T(t_1, n)) \right)^{R_1} \dots \left(\xi_{i_k\omega}^{R_k}(t_k + T(t_k, n)) - \hat{m}_{\xi_{i_k}}(t_k + T(t_k, n)) \right)^{R_k}, t_1 \in \mathbf{W}_{c_1}, t_2, \dots, t_k \in \bigcup_{m=1}^{M_1} \mathbf{W}_{c_m}, i_1, \dots, i_k = \overline{1, N}. \quad (7)$$

При $p = 2$ та $k = 2$, функція $r_{2_{\xi_{i_1} \xi_{i_2}}}(t_1, t_2), t_1 \in \mathbf{W}_{c_m}, t_2 \in \mathbf{R}$ є взаємною кореляційною функцією циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів $\xi_{i_1}(\omega, t)$ та $\xi_{i_2}(\omega, t)$ на області $\mathbf{W}_{c_m} \times \mathbf{R}$. У формулі (7) множина \mathbf{W}_{c_m} є областю визначення m -го циклу досліджуваного економічного процесу, а M_1 – кількість економічних циклів, у рамках яких набирають значення аргументу t_2, \dots, t_k .

Використавши критерій згоди χ^2 з довірчою ймовірністю 0,95 встановлено несуперечність нормальному закону розподілу досліджуваних циклічних економічних процесів. Враховуючи встановлену несуперечність розподілу циклічних економічних процесів нормальному закону розподілу, слушним є проведення аналізу цих економічних процесів лише в рамках перших двох моментних функцій.

Таким чином, при проведенні статистичного оцінювання циклічних компонент сукупності взаємопов'язаних економічних процесів достатньо оцінити вектор їх математичних сподівань $\mathbf{M}_{\xi}(t) = \{m_i(t), i = \overline{1, N}\}, t \in [0, T_1)$ та матрицю їх кореляційних функцій $\mathbf{R}(t_1, t_2) = \{r_{ij}(t_1, t_2), i, j = \overline{1, N}\}$. Відзначимо, що на діагоналі матриці кореляцій $\mathbf{R}(t_1, t_2)$, при $i = j$, будемо мати автокореляційні функції компонент вектора $\mathbf{\Theta}_N(\omega, t)$, а при $i \neq j$ отримуються взаємні кореляційні функції.

З метою оцінювання функції ритму досліджуваних економічних процесів використано метод, який розроблено в роботі [10], що полягає у кусково-лінійній інтерполяції їх дискретної функції ритму $T(\tilde{t}_{m,i}, n)$, яка отримана на базі інформації про зонну (сегментну) структуру циклічних процесів. Інтерполяційна функція $\hat{T}(t, 1)$ має такий вигляд:

$$\hat{T}(t, 1) = \sum_{m \in \mathbf{Z}} \sum_{i=1}^N \hat{T}_{mi}(t), t \in \mathbf{R}, \quad (8)$$

де $\{\hat{T}_{mi}(t)\}$ – множина функцій, які дорівнюють:

$$\hat{T}_{mi}(t) = \begin{cases} k_{mi} \cdot t + b_{mi}, t \in \mathbf{W}_{mi}, \\ 0, t \notin \mathbf{W}_{mi}, m \in \mathbf{Z}, i = \overline{1, N} \end{cases} \quad (9)$$

Область $\mathbf{W}_{mi} = [\tilde{t}_{mi}, \tilde{t}_{m,i+1})$ відповідає i -й зоні в m -му циклі економічного процесу. Якщо $i = N$, то $\tilde{t}_{m,N+1} = \tilde{t}_{m+1,1}$. Звичайно, на практиці m набирає свої значення зі скінченної підмножини цілих чисел.

Коефіцієнти $\left\{ k_{mi}, m \in \mathbf{Z}, i = \overline{1, N} \right\}$ та $\left\{ b_{mi}, m \in \mathbf{Z}, i = \overline{1, N} \right\}$ визначаються за співвідношеннями:

$$k_{mi} = \frac{T(\tilde{t}_{m,i+1}, 1) - T(\tilde{t}_{m,i}, 1)}{\tilde{t}_{m,i+1} - \tilde{t}_{m,i}}, m \in \mathbf{Z}, i = \overline{1, N}, \quad (10)$$

$$b_{mi} = T(\tilde{t}_{m,i+1}, 1) - \frac{T(\tilde{t}_{m,i+1}, 1) - T(\tilde{t}_{m,i}, 1)}{\tilde{t}_{m,i+1} - \tilde{t}_{m,i}} \cdot \tilde{t}_{m,i+1}, m \in \mathbf{Z}, i = \overline{1, N}. \quad (11)$$

Результати статистичного аналізу сукупності взаємопов'язаних циклічних економічних процесів

З метою апробації обґрунтованих вище математичної моделі та методів обробки взаємопов'язаних циклічних економічних процесів проведено серію експериментів по їх обробці, зокрема індексу активності нерухомого майна США та індексу активності рентного доходу США зображених на рисунку 2, де вони зображені після вилучення тренду.

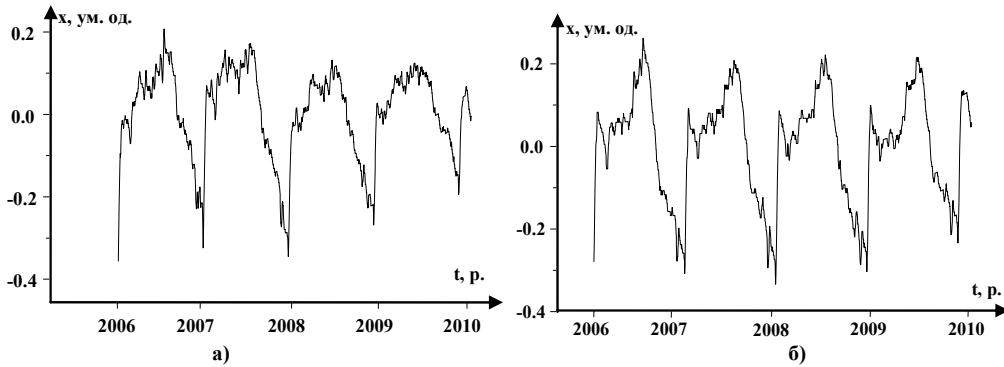


Рис. 2. Індекс активності нерухомого майна США (а) та індекс активності рентного доходу США (б) після вилучення тренду

На рисунку 3, надано графіки оцінок функцій ритму досліджуваних економічних циклічних процесів, з якого видно мінливість ритму досліджуваних економічних процесів.

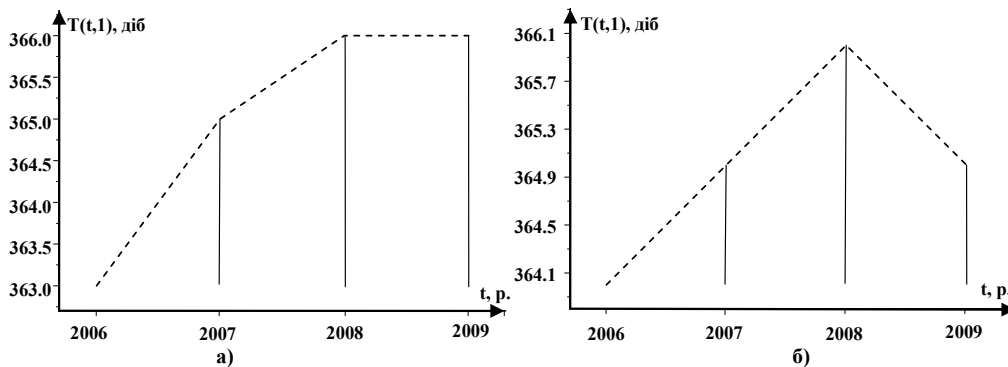


Рис. 3. Функції ритму індексу активності нерухомого майна США (а) та індексу активності рентного доходу США (б)

На рисунках 4– 7 надано графіки реалізацій оцінок ймовірнісних характеристик (математичних сподівань, дисперсій, автокореляційних функцій та взаємної кореляційної функції) індексу активності нерухомого майна США та індексу активності рентного доходу США при їх статистичній обробці.

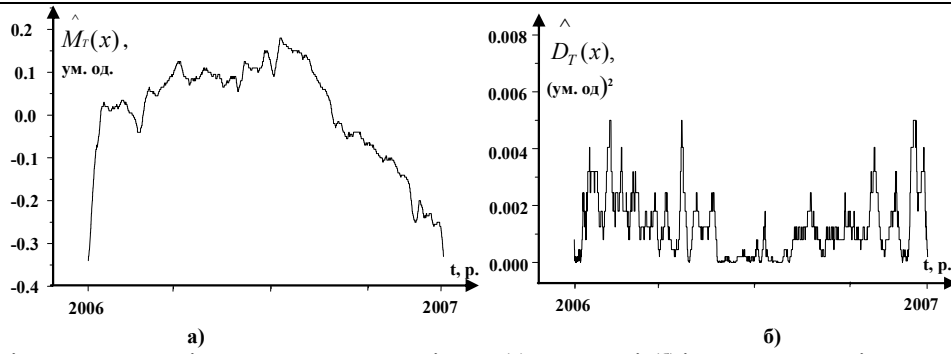


Рис. 4. Реалізації статистичних оцінок математичного сподівання (а) та дисперсії (б) індексу активності нерухомого майна США

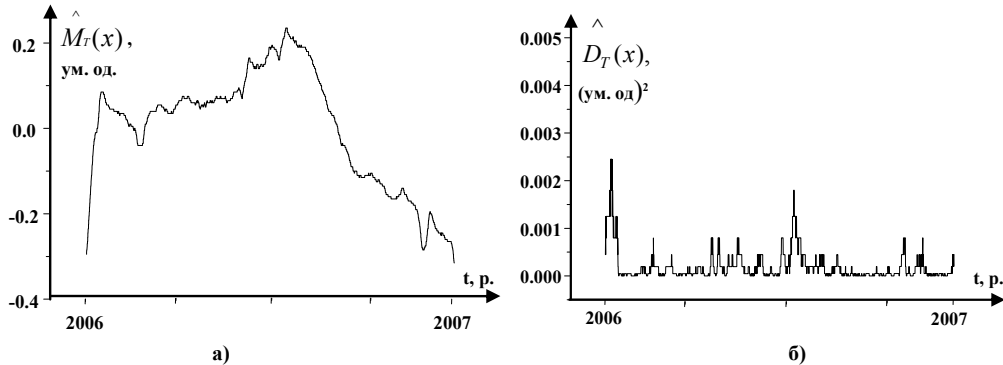


Рис. 5. Реалізації статистичних оцінок математичного сподівання (а) та дисперсії (б) індексу активності рентного доходу США

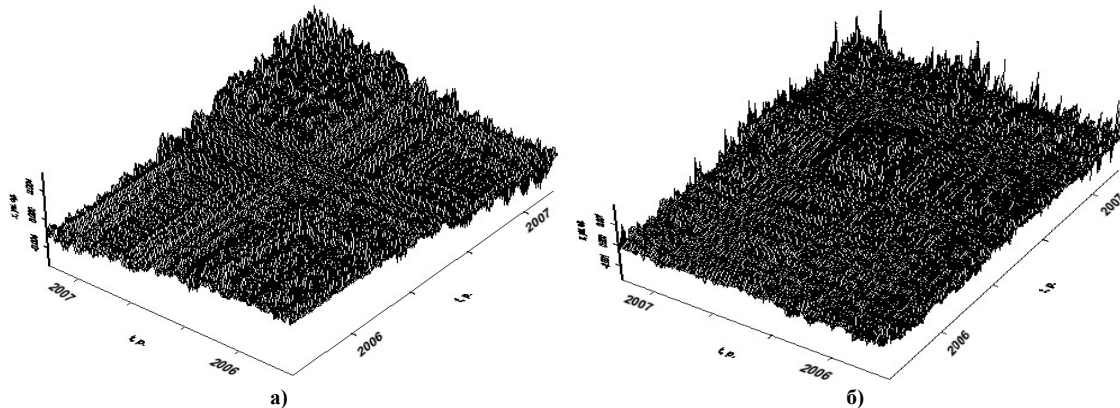


Рис. 6. Реалізації статистичних оцінок автокореляційних функцій індексу активності нерухомого майна США (а) та індексу активності рентного доходу США (б)

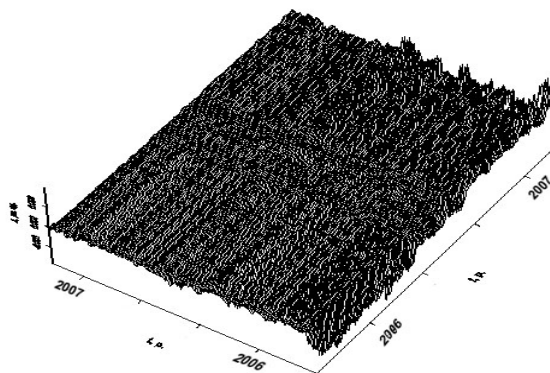


Рис. 7. Реалізація статистичної оцінки взаємної кореляційної функції індексу активності нерухомого майна США та індексу активності рентного доходу США

Отримані у даній статті результати служать основою для розробки процедури прогнозування циклічних економічних процесів. Вкажемо на можливі шляхи побудови методу автоматизованого прогнозування циклічних економічних процесів, які базуються на їх математичних моделях, що обґрунтовані в даній науковій статті та у роботі [6].

Будемо розрізняти прогнозування циклічних економічних процесів за їх передісторією та прогнозування фіксованої множини одних економічних циклічних процесів на основі відомостей про

поведінку сукупності інших циклічних економічних процесів. Окремо необхідно проводити прогноз трендових складових та складових, які описуються у вигляді циклічних випадкових функціональних відношень. Прогнозування циклічної складової економічного процесу необхідно здійснювати у два етапи:

- 1) прогнозування ритму (функції ритму) циклічного економічного процесу;
- 2) прогнозування морфологічних (ймовірнісних) характеристик циклічного економічного процесу.

Більш детальний та предметний розгляд питання побудови методу прогнозування циклічних економічних процесів, визначення точності, достовірності та глибини прогнозу потребує окремого ґрунтового дослідження.

Висновки

1. Обґрунтовано нову математичну модель сукупності взаємопов'язаних циклічних економічних процесів у вигляді суми векторів, що репрезентують трендові та циклічні складові досліджуваних процесів. Сукупність циклічних складових економічних процесів подано у вигляді вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів. Застосування такого математичного представлення сукупності взаємопов'язаних циклічних економічних процесів дало змогу одночасно врахувати наявність трендових складових, стохастичність, циклічність, мінливість та спільність ритму сукупності взаємопов'язаних економічних циклічних процесів та розширити сферу застосування стохастичного підходу до моделювання та сумісного аналізу циклічних процесів із однаковою ритмічною структурою.

2. Обґрунтовано статистичні методи сумісного аналізу взаємопов'язаних економічних циклічних процесів на базі їх моделі у вигляді вектора циклічних ритмічно пов'язаних випадкових процесів, що уможливило адаптацію методів їх аналізу та прогнозу з використанням засобів сучасної обчислювальної техніки. Розроблений підхід до статистичного аналізу взаємопов'язаних економічних циклічних процесів дає змогу оцінити ступінь їх взаємозалежності у вигляді взаємної кореляційної функції та уможливорює оцінювання характеру взаємозв'язку між економічними явищами, шляхом побудови регресії одного економічного процесу на інший.

3. Вказано на можливі шляхи побудови методу автоматизованого прогнозування циклічних економічних процесів, які ґрунтуються на їх математичних моделях, у вигляді циклічних випадкових функціональних відношень.

Література

1. Айвазян С. А. Прикладная статистика и основы эконометрики : [учебник для вузов] / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян. – М. : ЮНИТИ, 1998. – 1022 с.
2. Демиденко Е. З. Линейная и нелинейная регрессия / Е. З. Демиденко. – М. : Финансы и статистика, 1981. – 304 с.
3. Слуцкий Е. Е. Сложение случайных причин как источник циклических процессов / Е. Е. Слуцкий // Вопр. Конъюнктуры, 1997. – Т. 3, вып. 1. – С. 34–64.
4. Louca F. Turbulence in economic Cheltenham / F. Louca 1997.
5. Лупенко С. Математичне моделювання циклічних економічних явищ на базі циклічного випадкового процесу для задач їх автоматизованого аналізу та прогнозу / С. Лупенко, А. Горкуненко // Матеріали всеукраїнської наукової конференції Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя, Тернопіль, 13–14 травня 2009. – Тернопіль, 2009. – С. 122.
6. Горкуненко А. Б. Математичне моделювання економічних циклічних процесів для їх автоматизованого аналізу та прогнозу / А. Б. Горкуненко, С. А. Лупенко, А. М. Луцків // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 3. – С. 269–275.
7. Лупенко С. А. Детерминированные и случайные циклические функции как модели колебательных явлений и сигналов: определение и классификация / С. А. Лупенко // Электронное моделирование / Ин-т проблем моделирования в энергетике им. Г. Е. Пухова НАН Украины. – Киев, 2006. – Т. 28, № 4. – С. 29–45.
8. Лупенко С. А. Статистичні методи обробки циклічного випадкового процесу / С. А. Лупенко // Електроніка та системи управління / Національний авіаційний університет. – Київ, 2006. – № 2 (8). – С. 59–65.
9. Лупенко С. А. Статистичні методи сумісної обробки сукупності ритмічно пов'язаних циклічних випадкових процесів / С. А. Лупенко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. — Хмельницький, 2005. – № 2. – С. 80–84.
10. Лупенко С. А. Завдання інтерполяції функції ритму циклічної функції з відомою зонною структурою / С. А. Лупенко // Електроніка та системи управління / Національний авіаційний університет. – Київ, 2007. – № 2 (12). – С. 27–35.

Надійшла 5.1.2011 р.

РОЗРОБКА ЕВРИСТИЧНИХ АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ РОЗПОДІЛОМ ПОТОКУ ЗАЯВОК В СЕРВЕРНИХ СИСТЕМАХ

В статті сформульована концепція роботи розподіленої серверної мережі. Описані механізми взаємодії між об'єктами мережі, ієрархія керуючих об'єктів, а також як результат: розроблено евристичний алгоритм обміну даними клієнта з розподіленою серверною мережею. Описана ієрархічна модель розподіленої серверної мережі. Сформульовані загальні принципи взаємодії між об'єктами мережі, які дають узагальнену уяву про методи обміну даними в системі.

In this article the concept of a distributed server network. The mechanisms of interaction between objects of the network hierarchy of control objects and the following results: A heuristic algorithm for exchanging data with a distributed client server network. We describe a hierarchical model of a distributed server network. The general principles of interaction between network objects that give a generalized picture of the methods of data interchange.

Ключові слова: серверна система, розподіл навантаження, "Демон" серверів.

Вступ. Одним з головних факторів, що забезпечують успішне функціонування великої сучасної компанії, є впровадження в господарську діяльність досягнень в області інформаційних технологій. На сьогоднішній день особливо слід зазначити широке застосування електронних каналів передачі інформації (локальні мережі або глобальна мережа Інтернет). Проте, створення великих інформаційних систем сполучене з рядом проблем: можливість аналізу мережевого трафіка й очікуваного завантаження сервера; вибір архітектури розподіленої системи; маршрутизація пакетів усередині системи; функціональності розподільників навантаження; методи вибору сервера; розподіл збереженої інформації.

Існує декілька засобів підвищення швидкодії Інтернет ресурсу: можна збільшити смугу пропускання, установити високопродуктивне мережне устаткування, розробити ефективні мережеві додатки, оптимізувати й модернізувати програмні й апаратні компоненти сервера, а також взяти на озброєння технологію кешування.

Ще один спосіб підвищення продуктивності вузла полягає в тому, щоб збільшити кількість серверів і розміщувати на них "дзеркальні" копії матеріалів. Таким чином, можна розподілити загальне навантаження по всіх компонентах системи й скоротити час повернення інформації при виконанні сервером внутрішніх процедур обробки клієнтських запитів. При цьому зберігаються й існуючі сервери, оскільки виводити їх з експлуатації й замінити новими не доведеться.

Розподіл, або вирівнювання навантажень, що доводяться на кілька серверів, дозволяє уникнути такої ситуації, коли передані по мережі пакети перевантажують один сервер, у той час як інші простоюють. Для розподілу навантаження між серверами звичайно використовується функція DNS, іменована циклічною вибіркою (round-robin), яка передбачає можливість кругової передачі Ір-Адреси будь-якого сервера, що містить сайт, будь-якому клієнтові; як результат, навантаження рівномірно розподіляється між усіма серверами. Однак цей механізм недостатньо ефективний у тих випадках, де можливості апаратних і програмних компонентів окремих серверів нерівнозначні. З погляду процедури циклічної вибірки служби DNS між цими системами немає ніякої різниці. Крім того, дана функція не має уяви про доступність того або іншого сервера.

Постановка задачі. Задача даної роботи полягає в розробці засобу керування розподілом навантаження в неоднорідних інформаційних системах для підвищення продуктивності територіально розподілених серверних систем.

Огляд основних методів розподілу навантаження

Існує декілька способів розподілу навантаження:

- DNS із циклічним обслуговуванням (у більшості систем уже не використовується);
- кругове балансування навантаження, метод найменшого числа підключень;
- метод "зважених характеристик";
- алгоритм балансування навантаження, що одержав назва "найшвидший";
- метод найбільшого числа підключень;
- моніторинг за допомогою серверного "Демон"а.

Найбільш ефективний і гнучкий, на наш погляд, є метод розподілу навантаження з використанням серверного "Демон"а. Використання цього методу розподілу навантаження обумовлене можливістю, одержувати достовірну інформацію про стан інформаційних серверів і на підставі отриманих даних оперативно впливати на розподіл потоку даних.

Механізм розподілу навантаження між серверами мережі

Серверна мережа являє собою ряд розподілених серверів зв'язаних між собою каналами зв'язку. У якості каналів зв'язки використовується Internet і Ethernet з'єднання, VPN мережі або інші способи серверної комунікації. Якість з'єднання й пропускна здатність каналів зв'язки для кожного сервера індивідуальна, як і апаратне забезпечення, через що сервери мають різну продуктивність. Крім забезпечення

роботи мережі, сервери вирішують свої локальні завдання, що також впливає на їхню продуктивність.

Сервери мережі розділяються на два типи: інформаційні сервери й "Демон" серверів. Інформаційні сервери обслуговують заявки клієнтів, на кожному з них виконується завдання, яке ми будемо йменувати "агентом" інформаційного сервера. "Демон" серверів виконує збір даних про систему й ухвалює рішення щодо адміністрування розподіленої серверної мережі. Схематично робота серверної мережі представлено на рис. 1.

Агенти інформаційних серверів – це самостійні одиниці розподіленої серверної мережі, кожен з них має власне уявлення про навколишнє його середовище, побудоване виходячи із власних даних і даних отриманих від інших агентів інформаційних серверів. На даному етапі розвитку розподілених систем немає єдиного визначення агента. Ми під інтелектуальним агентом будемо розуміти систему, що володіє рядом характеристик:

- автономність; дії агента визначаються тільки його внутрішнім станом, жодні зовнішні подразники не можуть директивно впливати на поведінку агента, якщо це не було передбачено його структурою;

- реактивність; агенти існують у рамках деякого оточення, з яким взаємодіють, тобто здатні сприймати зміни середовища й реагувати на них;

- проактивність; проявляють цілеспрямовану поведінку для розв'язку свого завдання, тобто агент намагається розв'язати поставлене перед ним завдання в умовах мінливого середовища, для чого планує свої дії самостійно;

- соціальні здібності; здатність взаємодіяти й кооперуватися один з одним для розв'язку поставлених завдань. [1].

Завданням агента є збір інформації про навантаження на свій інформаційний сервер і формування звітних даних у якій-небудь формі. Координатором роботи серверної системи виступає виділений сервер – "Демон" серверів. Даний сервер збирає інформацію від агентів інформаційних серверів, аналізує її й ухвалює рішення щодо розподілу потоку заявок клієнтів між інформаційними серверами мережі.

Клієнтами мережі виступають вилучені термінали. Зв'язок між клієнтами й серверами організовано засобами Інтернет з'єднання, можливі варіанти локальної або віртуально-локальної мережі з'єднання.

Наприклад, керуючий проектом може запустити або призупинити виконання завдань, але він не управляє агентами в системі, відмінними від себе самого як агента.

Крім менеджера проекту, передбачається відсутність централізованого керування завданнями. Підзадачі створюються, коли необхідно задовольнити деяких запит. У системі відсутнє глобальне планування, як централізоване, так і розподілене. Хоча, звичайно, існують заздалегідь певні послідовності виконання деяких підзадач. Якщо відомо, що деяку підзадачу найкраще виконувати саме в цьому порядку, то порядок буде застосований.

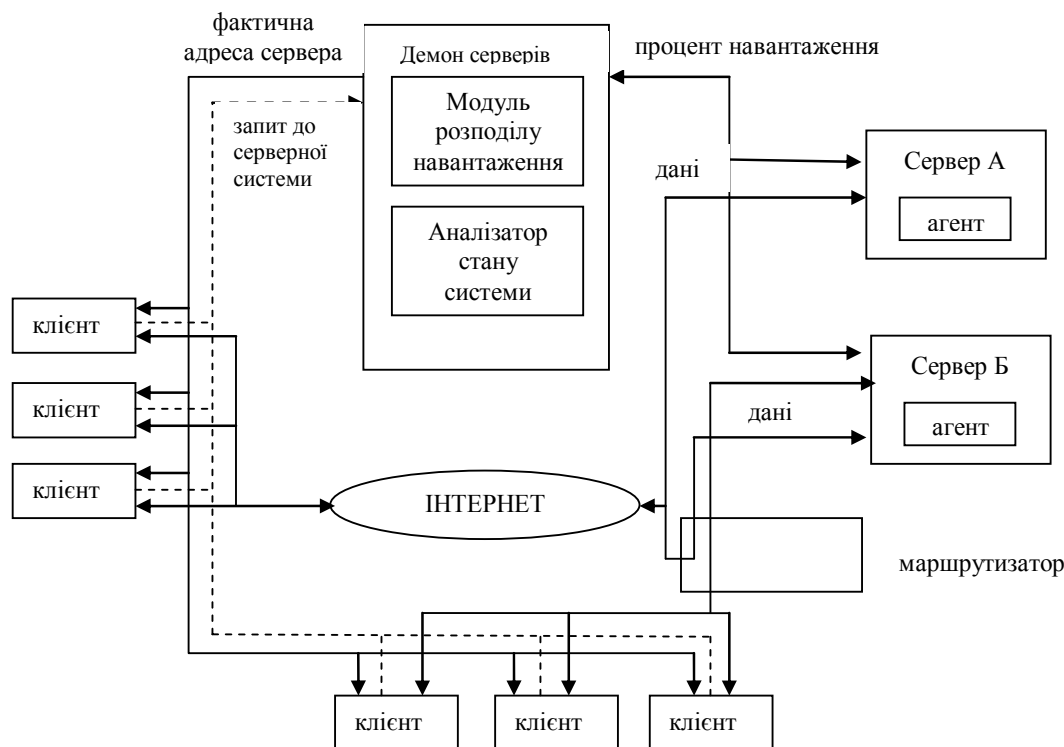


Рис. 1. Схема роботи системи розподілу навантаження

Важливим є питання глобальної цілісності мережі. У системі підтримується тільки мінімальний рівень цілісності. Передбачається, що кожен агент має локальну копію даних моделі, з якої він працює. У

деяких випадках, наприклад при проектуванні механізмів, є можливість організувати одночасну роботу декількох агентів над однією моделлю. Але навіть у цьому випадку різні версії проекту, створювані різними групами зберігаються окремо в окремих базах даних з різними версіями. Об'єднання версій проекту, що надходять від окремих груп, відбувається з деякою періодичністю на нарадах. За цей процес відповідальний менеджер продукту, який за допомогою відповідного об'єднуючого інструмента створює загальну версію проекту, з якої робота буде продовжена в рамках груп.

Клієнти є джерелом формування заявок. Потрапляючи в серверну систему, заявки обробляються "Демоном" серверів.

Наприклад, керуючий проектом може запустити або призупинити виконання завдань, але він не управляє агентами в системі, відмінними від себе самого як агента.

Крім менеджера проекту, передбачається відсутність централізованого керування завданнями. Підзадачі створюються, коли необхідно задовольнити деякий запит. У системі відсутнє глобальне планування як централізоване, так і розподілене. Хоча, звичайно, існують заздалегідь певні послідовності виконання деяких підзадач. Якщо відомо, що деяку підзадачу найкраще виконувати саме в цьому порядку, то порядок буде застосований.

Важливим є питання глобальної цілісності мережі. У системі підтримується тільки мінімальний рівень цілісності. Передбачається, що кожний агент має локальну копію даних моделі, з якої він працює. У деяких випадках, наприклад при проектуванні механізмів, є можливість організувати одночасну роботу декількох агентів над однією моделлю. Але навіть у цьому випадку різні версії проекту, створювані різними групами, зберігаються окремо в окремих базах даних з різними версіями. Об'єднання версій проекту, що надходять від окремих груп, відбувається з деякою періодичністю на нарадах. За цей процес відповідальний менеджер продукту, який за допомогою відповідного об'єднуючого інструмента, створює загальну версію проекту, з якої робота буде продовжена в рамках груп.

Клієнти є джерелом формування заявок. Потрапляючи в серверну систему, заявки обробляються "Демоном" серверів [2].

Даний сервер виконує ряд дій з аналізу стану системи й передає запит клієнта на один з інформаційних серверів мережі. Інформаційний сервер, у свою чергу, одержуючи переадресований запит клієнта, обробляє його, формує пакет звітних даних по запиту й відправляє його клієнтові. Надалі, якщо зв'язок клієнта з інформаційним сервером не переривалася, то всі запити, сформовані клієнтом, обробляються даним інформаційним сервером. На рис. 2 представлений алгоритм обміну даними клієнта із серверною системою.

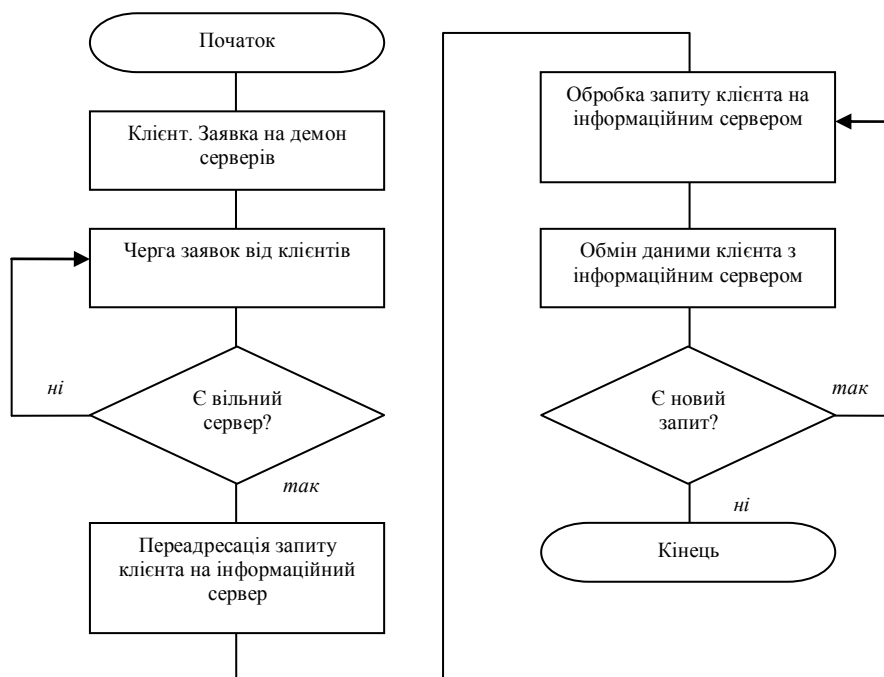


Рис. 2. Алгоритм обміну даними клієнта з інформаційною системою

Розглянутий евристичний алгоритм обміну даними клієнта із серверною системою ілюструє узагальнений механізм роботи серверної мережі (рис. 1). Далі більш докладно розглянемо механізми взаємодії окремих частин мережі.

Механізми роботи "Демона" серверів і інформаційного сервера

Розглянемо взаємодію як окремих частин серверної мережі, так і внутрішній пристрій об'єктів керування, таких як логічні модулі отримання розв'язків, об'єкти оцінки стану системи й інші об'єкти взаємодії серверної мережі.

Першим розглянемо об'єкт керування серверної мережі – "Демон" серверів за своєю суттю є

об'єктом розподілу навантаження всієї серверної системи. На нього покладений ряд функцій: розподіл потоку заявок, аналіз стану інформаційних серверів, формування таблиці пріоритетів, короткострокове прогнозування стану мережі. "Демон" серверів складається з логічних блоків: модуля розподілу навантаження й аналізатора стану системи (рис. 3).

Логічний модуль розподілу навантаження складається з декількох частин – блок вибору інформаційного сервера з таблиці пріоритетів, блок переадресації запиту клієнта інформаційному серверу й блок прогнозування стану системи.

Перші два блоки, як видно з їхніх назв, виконують функції безпосереднього розподілу заявок клієнтів між інформаційними серверами мережі. Блок прогнозування стану системи виконує наступні функції оцінка ємності вступників заявок, зіставлення заявки з можливостями обраного інформаційного сервера, формування короткострокового прогнозу щодо відсотку завантаження інформаційного сервера в момент потрапляння на нього заявки клієнта.



Рис. 3. Механізм роботи блоку прогнозування стану мережі

Механізм роботи блоку прогнозування стану серверної мережі досить простий. На вхід серверної мережі надходить потік заявок, "Демон" серверів пропускає через себе потік заявок клієнтів, формує статистичні дані, зібрані по параметрах клієнтських запитів і зіставляє їх з даними, що надходять від агентів інформаційних серверів. У результаті створюється оновлювана, статистична база даних утримуюча інформації про якусь частину вступників заявок клієнтів.

На підставі сформованої бази даних відбувається формування короткострокового прогнозу про стан серверної мережі.

На підставі виводів блоку прогнозування стану системи можна робити припущення щодо завантаження інформаційних серверів і вносити відповідні коректування в таблицю пріоритетів.

"Демон" одержує інформацію про завантаження інформаційних серверів від агентів розташованих на них:

- відсоток завантаження центрального процесора, якщо на інформаційному сервері розташовано кілька процесорів, то передається середнє завантаження;
- відсоток використання каналу зв'язки;
- відсоток завантаження жорсткого диска;
- відсоток використання оперативної пам'яті.

Аналізуючи стан серверів системи (блок аналізу стану системи), "Демон" динамічно формує таблицю пріоритетів відповідно до закономірності, по якій відбувається розподіл навантаження, обумовленого функцією розподілу, яка використовується в цей момент.

На підставі динамічно сформованої таблиці пріоритетів "Демон" вибирає фактичну адресу сервера й перенаправляє запит клієнта на нього, після цього "Демон" звертається до запиту наступного клієнта.

Формування таблиці пріоритетів відбувається щораз, коли "Демон" одержує звіти від агентів про стан інформаційних серверів. Одержання "Демоном" серверів запитів від клієнтів не впливає на формування таблиці пріоритетів.

Увесь зміст розподілу навантаження між серверами зводиться до рівномірного завантаження серверів [3].

Таким чином, порядок побудови інформаційних серверів у таблиці пріоритетів строго залежить від функції розподілу вхідного потоку заявок, яка використовується в модулі розподілу навантаження.

Важливим аспектом при побудові розподіленої серверної системи є питання синхронізації об'єктів серверної системи, для цього є кілька причин:

- одержання "Демоном" повної інформації про стан інформаційних серверів, про всі одразу або про декілька окремо, залежно від поточного завдання;
- виявлення не робочих ділянок мережі, або визначення ділянок, що знову підключилися до серверної мережі, після збою або з інших причин, що не відповідали на запити "Демон"а;

- визначення перевантажених ділянок, частин серверної мережі;
- Розглянуті механізми взаємодії об'єктів серверної мережі дають узагальнене поняття про методи обміну даними в системі у зв'язуваннях: клієнт – сервер, "Демон" – інформаційний сервер. Запропоновані механізми керування потоками в розподіленій серверній мережі, такі як:
- можливість використання кожної, найбільш підходящої функції розподілу вхідного потоку заявок;
 - формування зведеної таблиці пріоритетів серверної системи, яка надає можливість аналізу продуктивності як системи в цілому, так і окремих її частин;
 - передбачений блок прогнозування стану мережі.

Агенти системи й методи взаємодії між ними

Одним з важливих аспектів у роботі розподіленої серверної мережі є робота агента інформаційного сервера. Агенти інформаційних серверів крім участі в діалозі з "Демоном" серверів повинні взаємодіяти між собою. Це обумовлене необхідністю підтримки цілісності інформації, її актуальності. Для цього розглянемо методи взаємодії між агентами, протоколи обміну даними.

Перед початком розгляду механізмів взаємодії між агентами інформаційних серверів, звернемося до структури самого агента. У першу чергу представимо структуру агента інформаційного сервера.

Як видно зі схеми, представленій на Рисунку 4, агент інформаційного сервера складається з декількох функціональних частин:

- інтерфейсу;
- планувальника завдань;
- бази знань.

В інтерфейс входять служби забезпечення агента, які відповідають за його взаємодію з оточенням. Далі ми докладно опишемо роботу служб відповідальних за роботу агента, а поки зупинимось на загальному згадуванні.

База знань агента служить для зберігання всіх без винятку знань, отриманих у процесі життя агента. Сюди входять база моделей агентів, база знань про розв'язуване завдання й база накопичених знань.

У базі моделей агентів зберігаються знання про пристрій і інтерфейсах викликів інших агентів. Споконвічно, у базі є деяка інформація про пристрій інших агентів, яка потрібна для початку роботи. Знання містяться в цю базу в міру взаємодії з іншими агентами. Одержання й зберігання таких знань дуже важливо в агентній системі, оскільки загальна конфігурація системи (кількість, функції й состав агентів) може мінятися із часом без зупинки функціонування.

База знань про розв'язуване завдання містить умова завдання, а також знання, одержувані в процесі розв'язки. Вона зберігає проміжні результати розв'язку підзадач. Також, у базі даних зберігаються знання про способи розв'язку завдань і методи вибору цих способів.

Агент повинен мати рядом характеристик, які його описують як самостійну одиницю в системі. Для виконання роботи, агент повинен мати які-небудь можливості, які в нього закладає розроблювач. Але крім них кожний агент має ряд сервісів – служб агента, які забезпечують його роботу в системі, виконують ідентифікацію агента, забезпечують його зв'язок з "зовнішнім" світом.

Розгляд механізму взаємодії між агентами почнемо з того, що визначимо, яким образом агенти інформаційних серверів одержують інформацію про інших агентів, що входять до складу розподіленої серверної мережі.

Агенти інформаційних серверів можуть працювати в декількох режимах зв'язку:

- Синхронний. Являє собою такий порядок роботи, коли вторинний об'єкт передає відповіді на запити, що надходять від первинного об'єкта. Зміст даного режиму в тому, що викликуваний об'єкт після передачі відповіді на запит переходить у режим очікування й перш ніж зможе знову віддавати, повинен дочекатися вступу наступного запиту передачі;
- Асинхронний. У даному режимі роботи вторинний об'єкт самостійно ухвалює рішення щодо передачі даних і не повинен чекати для цього одержання запиту передачі від первинного об'єкта;
- Загальний (broadcast). Даний вид зв'язку передбачає можливість широкого вішання якогось агента. Тобто, надає йому можливість відправлення одного пакета всім об'єктам мережі.
- Груповий (multicast). Агент використовує такий режим для відправлення пакета даних обраній групі об'єктів мережі.

У розподіленій серверній мережі агент самостійно, без допомоги, зв'язується з потрібними йому об'єктами мережі. Фундаментальний аспект у зв'язках між об'єктами – це структура повідомлень, якими вони обмінюються, представлення цих повідомлень і їх транспортування [3].

Описані методи роботи агентів у складі розподіленої серверної мережі дають визначення структури взаємодії між агентами:

- специфікації, що визначають архітектуру елементів взаємодії (агенти);
- сформовані рекомендації зі специфікацій агентів розподіленої серверної мережі й комунікаційних технологій;

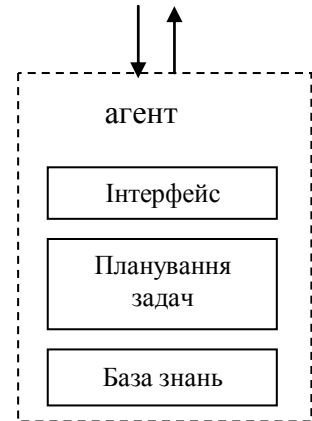


Рис. 4. Модель агента інформаційного сервера

- специфікації, що описують можливість взаємодії об'єктів у розподіленій серверній мережі й методи обміну інформацією в рамках розподіленої серверної мережі.

Висновки. Таким чином, в роботі сформульована концепція роботи розподіленої серверної мережі. Описані механізми взаємодії між об'єктами мережі, ієрархія керуючих об'єктів, а також отримані наступні результати: розроблено евристичний алгоритм обміну даними клієнта з розподіленою серверною мережею. Описана ієрархічна модель розподіленої серверної мережі. Сформульовані загальні принципи взаємодії між об'єктами мережі, які дають узагальнену уяву про методи обміну даними в системі у зв'язуваннях: клієнт – сервер, "Демон" – інформаційний сервер. Розглянуті механізми взаємодії об'єктів серверної мережі. Запропоновані механізми керування потоками в розподіленій серверній мережі, такі як можливість використання кожної, найбільш підходящої функції розподілу вхідного потоку заявок; формування зведеної таблиці пріоритетів серверної мережі; передбачений блок прогнозування стану мережі.

Література

1. Барфилд Э. Программирование клиент-сервер в локальных вычислительных сетях / Э. Барфилд, Б. Уолтере. – М.: Филинь, 1997. – 424 С.
2. Бройдо В.Л. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации / Бройдо В.Л. – Спб.: Питер, 2002. – 688 С.
3. Шадхін В.Ю. Оперативний розподіл навантаження на мережі передачі даних / В.Ю Шадхін., В.О. Компанієць, М.О. Каразія / Тези доповідей VII Всеукраїнська науково-практична конференція "Інформаційні технології в світі, науці і техніці". – Черкаси, 2010. – С. 8.

Надійшла 12.1.2011 р.

УДК 621.317.77

І.С. ПЯТІН, О.М. АДАБІР
Хмельницький національний університет

РОЗШИРЕННЯ ЧАСТОТНОГО ДІАПАЗОНУ ФАЗОВИХ ДЕТЕКТОРІВ РАДІОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ

Розглядаються алгоритми обробки вимірювального і опорного сигналів фазових детекторів без перетворення і з перетворенням частоти. Описано принцип роботи стробоскопічного перетворювача частоти. Проаналізовані дискретні сигнали на виході стробоскопічного ключа.

The algorithms of treatment of measuring and supporting signals of phase detectors are examined without transformation and with transformation of frequency. Described principle of work of stroboscopic transformer of frequency. Discrete signals are analysed on the output of the stroboscopic key.

Ключові слова: фазовий детектор, стробоскопічний перетворювач частоти, дискретна система.

Вступ

Використання інформації, що міститься в фазі сигналу, дозволяє одержати найбільш достовірну інформацію на тлі завад, забезпечити з найбільшою точністю визначення координат і елементів руху об'єктів, створити шумоподібні сигнали, що відрізняються найбільшою завадозахищеністю і прихованістю [1].

Вимір різниці фаз необхідний при дослідженні фазових характеристик електричних кіл, підсилювачів, фільтрів, трансформаторів. Найбільше поширення фазові методи знайшли у радіонавігаційній техніці для виявлення і визначення місця знаходження об'єктів, в системах автоматичного керування і наведення, пристроях виміру відстані, радіолокаторах, системах близького та далекого зв'язку, на телебаченні, а також в інших галузях науки і техніки. Дуже важливими показниками фазового детектора є похибка визначення фазового зсуву і діапазон робочих частот. Зі зростанням робочої частоти фазового детектора збільшуються його похибки. Тому задачею є вибір способів розширення частотного діапазону, що забезпечує менші похибки визначення фазового зсуву.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Можливості фазових методів реалізуються за допомогою засобів вимірювання, що працюють у широкому частотному діапазоні. При цьому використовують такі алгоритми обробки вимірювального і опорного сигналів [2]:

- векторне додавання або віднімання порівнюваних сигналів;
- перемноження порівнюваних сигналів;
- обробка сигналів різними ключовими схемами перетворення фази на часовий інтервал;
- масштабно-часове перетворення з переносом фазових співвідношень на сигнали однієї частоти.

Перша група алгоритмів реалізується за допомогою фазових детекторів, в яких здійснюється векторне додавання з наступним амплітудним детектуванням результуючого сигналу за допомогою

вентильних елементів; друга – детекторами, в яких перетворення різниці фаз сигналів на вихідну напругу здійснюють лінійні кола зі змінними параметрами.

Векторні фазові детектори відносно прості за конструктивним виконанням, широкополосні та мають високу розрізняючу здатність. Але через властиву їм нелінійність демодуляційної характеристики їх застосовують, в основному, при виділенні невеликих змін фазового зсуву відносно його номінального значення.

Третя група базується на використанні ключових фазових детекторів на тригерах або схемах збігу, що мають лінійну перетворювальну характеристику, часто їх застосовують для порівняння сигналів при значному розбігу їх амплітуд.

За способом керування ключовими фазовими детекторами розрізняють одно- та двополярні схеми. В однополярних схемах імпульси перемикання фазового детектора формуються за моментами переходу сигналу через нульове значення тільки в одному напрямку, наприклад у бік значень, що зростають. У двополярних схемах використовують переходи сигналу через нульові значення і в бік сигналів, що зменшуються. Це дозволяє зменшити вплив асиметрії рівнів обмеження у формувачах імпульсів на результат порівняння. Загальним недоліком фазовимірних схем з ключовими фазовими детекторами є похибки від неідентичності характеристик перетворювальних ланок на входах фазових детекторів, а також нестійка робота ключових елементів при вимірюванні фазових зсувів близьких до 0° (для однополярних схем) і 180° (для двополярних схем) через перекривання імпульсів кінцевої тривалості, які переключують ключовий елемент, наприклад, тригер, у протилежний стан.

Фазові детектори з перетворенням частоти

Перетворення частоти (аналогічно перетворювачам, що використовуються в супергетеродинних радіоприймачах) для вимірювання різниці фаз використовується на частотах вище 1 МГц. Найпростіші структурні схеми перетворювачів частоти (ПЧ) показані на рис. 1.

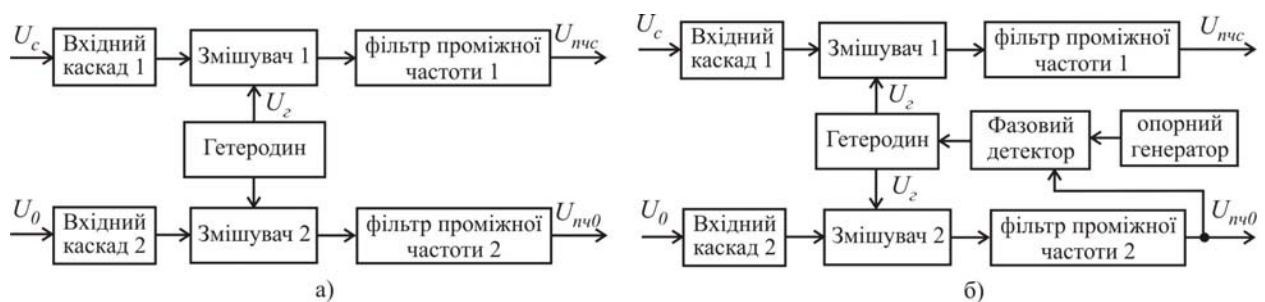


Рис. 1. Структурні схеми перетворювачів частоти

У схемі рис. 1, а нестабільності частоти гетеродина і сигналу переносяться на проміжну частоту, що призводить до значних похибок вимірювання через відмінності фазових зсувів в колах опорного і досліджуваного сигналів фазометра при зміні частоти. У схемі рис. 1, б гетеродин автоматично підлаштовується за частотою так, щоб проміжна частота була постійною, рівною частоті опорного генератора. Вимірювання різниці фаз в обох схемах проводяться на фіксованій проміжній частоті. При кожній зміні частоти досліджуваного сигналу потрібно перебудовувати гетеродин до одержання необхідного значення проміжної частоти, що викликає необхідність введення в фазометр схем автоматичної підстройки частоти. Серед фазометрів з перетворенням частот відзначимо американську модель 8405 фірми "Hewlett Packard" і прилад ФК2-12, які мають близькі схемні та конструктивні рішення, а також близькі технічні характеристики.

У зазначених, а також більш високочастотних фазометрах з перетворенням частоти ФК2-14 і ФК2-18 використовується стробоскопічне перетворення частоти, що дозволяє виключити ручні регулювання при зміні частоти вхідних напруг. Принцип стробоскопічного перетворення частоти заснований на вимірюванні миттєвих значень періодичних сигналів, що надходять на вхід ПЧ за допомогою коротких стробуючих імпульсів, які автоматично зсуваються в часі відносно сигналу при його повторенні і таким чином послідовно зчитують його по точках. У результаті зчитування в стробоскопічному перетворювачі відбувається модуляція стробуючих сигналів і зміни амплітуд вихідних імпульсів уповільнено повторюють зміни вхідної напруги. Виділяючи огинаючу вихідних імпульсів стробоскопічного перетворювача, можна отримати аналоговий сигнал, який ідентичний за формою досліджуваному, але трансформований (розтягнутий) у часі.

Відповідність між моделлю сигналу в області часу і його перетворенням Фур'є записується у вигляді:

$$s(at) \leftrightarrow \frac{1}{a} S\left(\frac{\omega}{a}\right),$$

де a – коефіцієнт розтягування сигналу, $0 < a < 1$.

Якщо $a = 0,1$, то $s(0,1t) \leftrightarrow 10S(10\omega)$. Спектр сигналу зужується і модуль спектральної густини зростає.

Стробоскопічний перетворювач частоти

При вимірюванні різниці фаз необхідно використовувати два стробоскопічних перетворювача – один в колі досліджуваного сигналу, інший в колі опорного сигналу. Структурна схема найпростішого ПЧ показана на рис. 2 [3].



Рис. 2. Спрощена структурна схема перетворювача частоти (ПВЗ – пристрій вибірки-зберігання; АЦП – аналого-цифровий перетворювач)

Стробуючі імпульси з генератора подаються на два стробоскопічних ключа, на які подаються вхідні напруги: досліджуваний сигнал, що визначається виразом:

$$U_c = U_{mc} \cos(\omega t + \varphi), \tag{1}$$

і опорна напруга, що визначається виразом:

$$U_0 = U_{m0} \cos \omega t. \tag{2}$$

Часові діаграми цих напруг зображені на рис. 3 (перша і друга часові діаграми).

На третій часовій діаграмі показані стробуючі імпульси, які на час тривалості імпульсу відкривають стробоскопічні ключі. Для зменшення похибки перетворення і розширення частотного діапазону перетворювача стробуючі імпульси повинні мати можливо меншу тривалість. Частота повторення стробуючих імпульсів вибирається з умови отримання допустимих спотворень сигналу на виході стробоскопічного перетворювача. При цьому період дискретизації визначається виразом: $T_\delta = T + T_0$,

частота дискретизації $f_\delta = \frac{1}{T_\delta}$, кутова частота $\omega_\delta = \frac{2\pi}{T_\delta} = 2\pi f_\delta$, де T – період сигналу; T_0 – час зсуву

імпульсу строба по відношенню до попереднього відліку.

На четвертій і п'ятій часових діаграмах показані імпульси, відповідно до амплітуд миттєвих значень вхідних напруг в моменти стробування. Значення амплітуди кожного імпульсу запам'ятовується схемою вибірки – зберігання (ПВЗ) для зчитування її за допомогою АЦП.

З рис. 3 видно, що чим менше буде час T_0 зсуву імпульсу строба по відношенню до попереднього відліку, тим менша буде проміжна частота фазового детектора. Значення проміжної частоти обирається виходячи з використаної елементної бази для отримання заданої точності визначення фазового зсуву і допустимої похибки вимірювання.

Аналіз дискретних сигналів на виході стробоскопічного ключа

Нехай $f[n(2\pi + \Theta)]$ – значення сигналу в дискретні моменти часу, де Θ – кут зсуву імпульсу строба по відношенню до попереднього відліку.

Припустимо, що аналоговий сигнал задається виразом (2), для якого $\varphi = 0$, $U_{m0} = 1$ В.

Z -перетворення такого сигналу має вигляд:

$$f[n(2\pi + \Theta)] = \sum_{n=0}^{\infty} \cos[n(2\pi + \Theta)] Z^{-n}. \tag{3}$$

Запишемо суму декількох його послідовних значень:

$$\sum_{n=0}^{\infty} \cos[n(2\pi + \Theta)] Z^{-n} = 1 + \cos(\Theta) + \cos(2\Theta)Z^{-1} + \cos(2\Theta)Z^{-2} + \dots \tag{4}$$

За довідником [4] знаходимо значення нескінченної суми ряду, якщо $n \rightarrow \infty$:

$$\sum_{n=0}^{\infty} \cos[n(2\pi + \Theta)] Z^{-n} = \frac{1 - Z \cos(\Theta) - Z^m \cos(m\Theta) + Z^{m+1} \cos[(m-1)\Theta]}{1 - 2Z \cos(\Theta) + Z^2}. \tag{5}$$

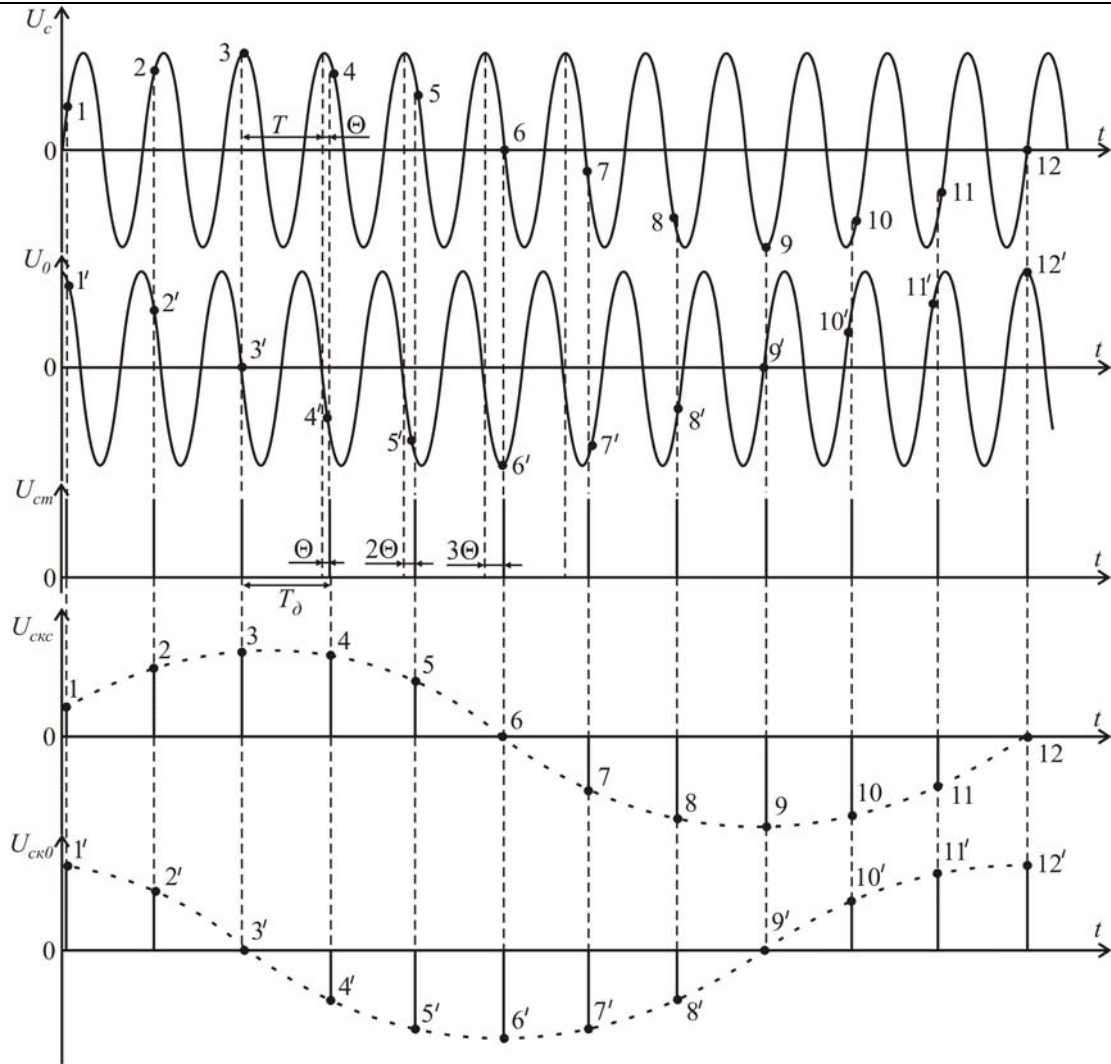


Рис. 3. Часові діаграми стробоскопічного перетворення частоти

З врахуванням повної фази гармонійного сигналу згідно з виразом (1) можна записати Z-перетворення вимірювального сигналу:

$$f[n(2\pi + \Theta) + \varphi] = \sum_{n=0}^{\infty} \cos[n(2\pi + \Theta) + \varphi] Z^{-n} . \quad (6)$$

Дискретне перетворення Фур'є опорного і вимірювального сигналів записується у вигляді:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(nT) e^{-jk\Omega nT} , \quad k = 0, 1, 2, \dots, N-1 . \quad (7)$$

k – номер гармоніки компоненти перетворення.

Компоненти перетворення Фур'є пов'язані з компонентами ДПФ через інтервал дискретизації, їх можна визначити, помножив компоненти ДПФ на інтервал дискретизації. Для практичних застосувань $N \gg 1$ і використовують наближення: $\Omega = 2\pi/NT$, тому можна записати:

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(nT) e^{-j \frac{2k\pi n}{N}} . \quad (8)$$

Знайдемо ДПФ послідовності опорного сигналу: $\{1, \cos \Theta, \cos 2\Theta, \cos 3\Theta\}$, для якої $N = 4$.

Знаходимо нульову гармоніку компоненти перетворення:

$$X(0) = \sum_{n=0}^3 x(nT) e^{-j0} = \sum_{n=0}^3 x(nT) = 1 + \cos \Theta + \cos 2\Theta + \cos 3\Theta = \cos\left(\frac{3\Theta}{2}\right) \frac{\sin(2\Theta)}{\sin\left(\frac{\Theta}{2}\right)} . \quad (9)$$

Знаходимо його першу гармоніку:

$$\begin{aligned}
 X(1) &= \sum_{n=0}^3 x(nT) e^{-j \frac{n\pi}{2}} = x(0) e^{-j0} + x(1) e^{-j \frac{\pi}{2}} + x(2) e^{-j\pi} + x(3) e^{-j \frac{3\pi}{2}} = \\
 &= 1 - \cos 2\Theta + j(\cos 3\Theta - \cos \Theta) = 2 \sin^2 \Theta - 2j \sin 2\Theta \sin \Theta .
 \end{aligned} \tag{10}$$

Друга гармоніка визначається виразом:

$$\begin{aligned}
 X(2) &= \sum_{n=0}^3 x(nT) e^{-jn\pi} = x(0) e^{-j0} + x(1) e^{-j\pi} + x(2) e^{-j2\pi} + x(3) e^{-j3\pi} = \\
 &= 1 - \cos \Theta + \cos 2\Theta - \cos 3\Theta .
 \end{aligned} \tag{11}$$

Знаходимо третю гармоніку:

$$\begin{aligned}
 X(3) &= \sum_{n=0}^3 x(nT) e^{-j \frac{3n\pi}{2}} = x(0) e^{-j0} + x(1) e^{-j \frac{3\pi}{2}} + x(2) e^{-j3\pi} + x(3) e^{-j \frac{9\pi}{2}} = \\
 &= 1 - \cos 2\Theta + j(\cos \Theta - \cos 3\Theta) = 2 \sin^2 \Theta + 2j \sin 2\Theta \sin \Theta
 \end{aligned} \tag{12}$$

Аналогічна дискретна послідовність вимірювального сигналу має вигляд:

$\{\cos \varphi, \cos(\Theta + \varphi), \cos(2\Theta + \varphi), \cos(3\Theta + \varphi)\}$, для якої $N = 4$.

Нульова, перша, друга і третя гармоніки компоненти перетворення визначаються виразами:

$$X(0) = \sum_{n=0}^3 x(nT) e^{-j0} = \sum_{n=0}^3 x(nT) = \cos(\varphi + \Theta) \frac{\sin\left(\frac{3\Theta}{2}\right)}{\sin\left(\frac{\Theta}{2}\right)} \tag{13}$$

$$\begin{aligned}
 X(1) &= \sum_{n=0}^3 x(nT) e^{-j \frac{n\pi}{2}} = x(0) e^{-j0} + x(1) e^{-j \frac{\pi}{2}} + x(2) e^{-j\pi} + x(3) e^{-j \frac{3\pi}{2}} = \\
 &= \cos \varphi - \cos(2\Theta + \varphi) + j[\cos(3\Theta + \varphi) - \cos(\Theta + \varphi)] = -2 \sin(\Theta + \varphi) \sin \Theta + 2j[\sin(2\Theta + \varphi) \sin \Theta] .
 \end{aligned} \tag{14}$$

$$\begin{aligned}
 X(2) &= \sum_{n=0}^3 x(nT) e^{-jn\pi} = x(0) e^{-j0} + x(1) e^{-j\pi} + x(2) e^{-j2\pi} + x(3) e^{-j3\pi} = \\
 &= \cos \varphi - \cos(\Theta + \varphi) + \cos(2\Theta + \varphi) - \cos(3\Theta + \varphi) .
 \end{aligned} \tag{15}$$

$$\begin{aligned}
 X(3) &= \sum_{n=0}^3 x(nT) e^{-j \frac{3n\pi}{2}} = x(0) e^{-j0} + x(1) e^{-j \frac{3\pi}{2}} + x(2) e^{-j3\pi} + x(3) e^{-j \frac{9\pi}{2}} = \\
 &= \cos \varphi - \cos(2\Theta + \varphi) + j(\cos(\Theta + \varphi) - \cos(3\Theta + \varphi)) = 2 \sin(\Theta + \varphi) \sin \Theta + 2j \sin(2\Theta + \varphi) \sin \Theta .
 \end{aligned} \tag{16}$$

Мікро-ЕОМ після отримання дискретних значень опорного і вимірювального сигналів обчислює обернене ДПФ за виразом:

$$x(nT) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{-j \frac{2k\pi n}{N}} , \tag{17}$$

за результатами якого поновлюється початковий дискретний сигнал.

Таким чином, після отримання послідовних дискретних значень опорного і вимірювального сигналів, обчислюється ДПФ сигналів. Частотою повторення стробуючих імпульсів управляє напруга з блоку автоматичного підстроювання, що дозволяє автоматизувати процес при зміні частоти вхідної напруги. Структурна схема цього блоку показана на рис. 4.

Схема пошуку періодично замикає на землю вихід фільтра нижніх частот (ФНЧ). Використовується фазовий детектор тригерного типу, тому при відсутності другого сигналу на його вході (першим сигналом є напруга кварцового генератора ПЧ, що діє постійно), вихідна напруга детектора має максимальне значення. Отже, після кожного замикання ФНЧ, його вихідна напруга буде повільно наростати до чергового замикання. Така пилкоподібна напруга управляє частотою генератора стробуючих імпульсів, яка повинна змінюватися в таких межах, щоб вона (або частота однієї з його вищих гармонік) була близькою до частоти сигналу. У цьому випадку на виходах стробоскопічного перетворювача з'являється напруга проміжної частоти, яку можна визначити частотним детектором, вихідна напруга якого впливаючи на схему пошуку, припиняє періодичні замикання виходу ФНЧ.

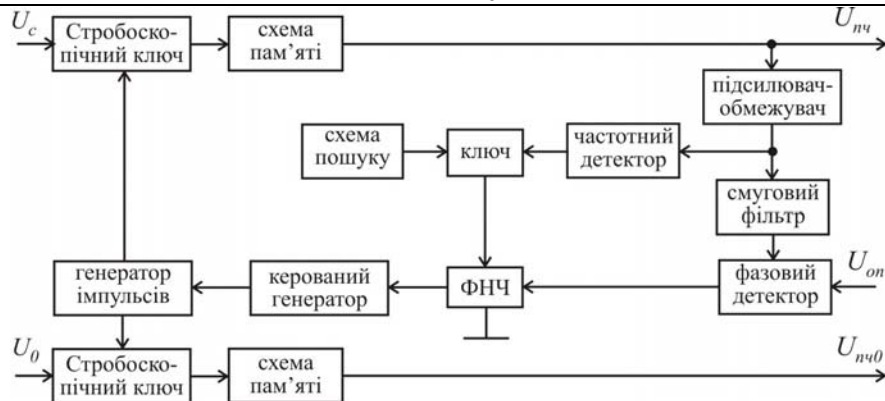


Рис. 4. Структурна схема стробоскопічного перетворювача з петлею фазової автопідстроївки частоти

При цьому пошук закінчується, а вихідна напруга фазового детектора доводить частоту генератора імпульсів до значення, при якому проміжна частота дорівнює частоті кварцового генератора і настає режим синхронізації. Фазовий зсув між вхідними напругами виявляється перенесеним на проміжну частоту, що можна бачити на четвертій та п'ятій діаграмах рис. 3. У моменти часу, позначені точками 3, 6, 9 на першій і другій діаграмах, видно зсув вхідних напруг, що дорівнює 90° . Такий же фазовий зсув мають огинаючі імпульси стробоскопічного ключа на четвертій і п'ятій часових діаграмах. Фазовий зсув на проміжній частоті вимірюється вимірювачами різниці фаз тригерного типу [3].

Висновки

Таким чином, стробоскопічний перетворювач частоти дозволяє розширити частотний діапазон роботи фазових детекторів радіоелектронних систем. При цьому забезпечується зменшення похибок перетворення у порівнянні з класичними схемами на основі змішувачів частоти. Зменшується також зона невизначеності фазового детектора за рахунок вимірювання фазового зсуву на низькій проміжній частоті. Після стробоскопічного ключа сигнал стає дискретним, що полегшує його обробку за допомогою ЕОМ. Ефективність, швидкість і точність роботи такого перетворювача залежить від програмної обробки результатів вимірювання миттєвих значень сигналу.

Література

1. Чмых М. К. Цифровая фазометрия / Чмых М. К. – М. : Радио и связь, 1993. – 184 с.
2. Галахова О. П. Основы фазометрии / О. П. Галахова, Е. Д. Колтик, С. А. Кравченко. – Л. : Энергия, 1976. – 256 с.
3. Пятін С. І. Вимірювання різниці фаз : [методичні вказівки] / С. І. Пятін, І. С. Пятін. – Хмельницький : ХТІ, 1993. – 24 с.
4. Градштейн И. С. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений / И. С. Градштейн, И. М. Рыжик. – М. : ГИФМЛ, 1963. – 1108 с.

Надійшла 17.1.2011 р.

УДК 621.396.96

О.М. ШИНКАРУК, Л.В. КАРПОВА, В.М. ШВАЧІЙ
Хмельницький національний університет

ОБРОБКА ІМПУЛЬСНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНИХ ФЛУКТУАЦІЙ

В статті досліджується питання трансформування кореляційних властивостей радіолокаційних сигналів при урахуванні недетермінованих в періоді зондування амплітудних та кутових складових. Дослідження отриманих аналітичних виразів функцій невизначеності сигналів з випадковими складовими в комплексній обвідній показало, що при оцінці їх кореляційних властивостей при прийомі відкриваються нові потенційні можливості, щодо розрізнення ехо-сигналів від групових цілей.

The article describes research issues transforming the correlation properties of radar signals at accounting period in nondeterministic sensing and relay components. Investigation of the analytical expression of uncertainty functions of signals with random components in the complex bypass showed that in assessing the correlation properties at a reception open up new potential opportunities for distinction echo of group goals.

Ключові слова: радіолокаційні засоби, ехо-сигнал, функція невизначеності, модуляція, кореляційна обробка.

Вступ

При реалізації методів активної радіолокації, основним і єдиним носієм інформації про наявність і

параметри цілей в зоні огляду є зондуючі сигнали, при цьому саме їх властивості, в першу чергу, визначають основні характеристики радіолокаційних засобів в цілому [1, 2]. З цієї причини, основні зусилля інженерів при розробці радіолокаційних засобів були спрямовані на пошук зондуючих сигналів з оптимальними характеристиками [3, 4]. В першу чергу, намагались оптимізувати кореляційні властивості сигналів, оскільки пропорційною їм є ефективність узгоджених (оптимальних) методів їх обробки. При ускладненні зондуючих сигналів, значно підвищувались вимоги до передавачів, оскільки неточність у відтворенні складних сигналів, значно сильніше знижує ефективність алгоритмів обробки ніж при використанні простих зондуючих імпульсів. Проте, незважаючи на те, що в сучасній радіолокації існує жорстке правило, відповідно якого ступінь розрізнення ехо-сигналу не може перевищувати ступінь розрізнення зондуючого [3], в ряді робіт показано, що існування різних дестабілізуючих факторів при формуванні зондуючих сигналів призводить до появи в них певних позитивних властивостей. Не зважаючи на те, що в межах періоду зондування вони є за природою не детермінованими, кореляція ехо-сигналів значно відрізняється від кореляції зондуючих, а це відкриває потенційні можливості підвищення ряду характеристик радіолокаційних засобів активного та напівактивного типу.

Ехо-сигнал по відношенню до зондуючого трансформується в декілька етапів (рис. 1). По-перше, ще при формуванні, в результаті дії ряду дестабілізуючих факторів, реальна форма сигналу з певною похибкою повторює задану, по-друге, при відбитті від поверхні цілі, за певних умов в сигнал можуть вноситись значні як амплітудні, так і кутові спотворення.

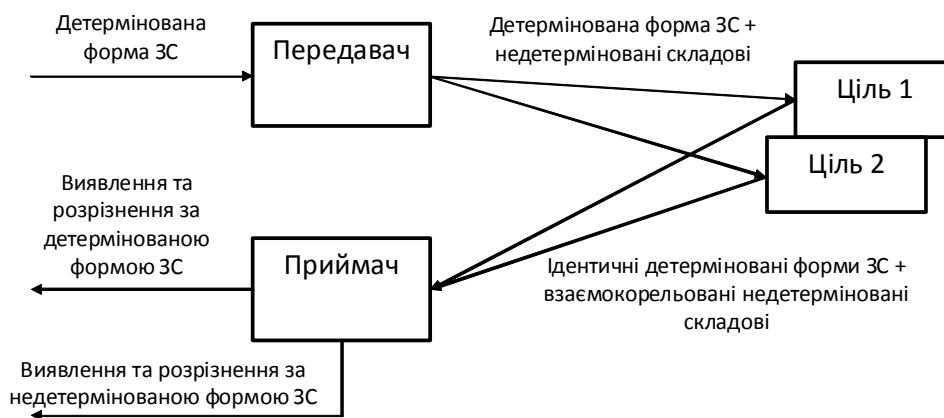


Рис. 1. Схема формування та реалізації детермінованих і недетермінованих складових радіолокаційних сигналів.

Математична модель зондуючого радіосигналу в загальному випадку може бути представлена виразом:

$$u(t) = U(t) \cos(\omega_0 t + \varphi(t) + \varphi_0),$$

де $U(t)$ – амплітудна модулююча складова; $\varphi(t)$ – кутова модулююча складова; φ_0 – початкова фаза несучого колювання; ω_0 – частота несучого колювання.

Ця модель містить дві модулюючі складові – модулюючий сигнал по амплітуді і модулюючий сигнал за фазою або частотою, які в сукупності і визначають можливості ехо-сигналів по розрізненню. Проте, у випадку імпульсної радіолокації, коли в якості зондуючих сигналів використовуються радіоімпульси короткої тривалості з прямокутною обвідною і без внутрішньої кутової модуляції,

$$\varphi(t) = 0, U(t) = \begin{cases} U_0, & 0 \leq t \leq \tau_i; \\ 0, & t < 0, t > \tau_i, \end{cases}$$

форма комплексної обвідної, а відповідно і кореляційні властивості сигналу визначаються виключно параметрами модулюючого імпульсу $U(t)$

$$\dot{U} = \begin{cases} U_0 e^{j\varphi_0}, & 0 \leq t \leq \tau_i; \\ 0, & t < 0, t > \tau_i, \end{cases}$$

під форму якого в результаті розробляється і сам алгоритм обробки в приймачі.

Якщо врахувати дію дестабілізуючих факторів у передавачі при формуванні зондуючих сигналів, математична модель зондуючого сигналу містить ряд флуктуаційних амплітудних і кутових складових, які діють на сигнал як адитивно, так і мультиплікативно. При цьому модель сигналу можна записати у вигляді:

$$u(t) = U'(t) \cos(\omega_0 t + \varphi'(t) + \varphi_0),$$

$$U'(t) = n(t) + U(t)(1 + \xi(t)),$$

де $n(t)$ і $\xi(t)$ – відповідно адитивна і мультиплікативна амплітудні складові сигналу; $\varphi'(t)$ – флуктуаційна кутова складова.

Результати досліджень

Враховуючи алгоритми роботи імпульсних радіолокаційних засобів (наявність антенного

перемикача), і некорельованість адитивної складової (білого шуму) в амплітудно-модулюючій суміші, нею можна знехтувати. Отже, модель зондуючого радіолокаційного сигналу може бути представлена у вигляді

$$u(t) = \begin{cases} U(t)(1 + \xi(t)) \cos(\omega_0 t + \varphi'(t) + \varphi_0), & 0 \leq t \leq \tau_i; \\ 0, & t < 0, t > \tau_i. \end{cases}$$

Потенційні можливості такої моделі сигналу щодо розрізнення можна оцінити шляхом виведення та дослідження кореляційної функції комплексної обвідної, модуль якої в двовимірній інтерпретації називається функцією невизначеності. Комплексна обвідна моделі сигналу з урахуванням недетермінованих складових, має також недетерміновану форму, оскільки окрім закладених модуляційних складових, сигнал містить і випадкові. Вираз для комплексної обвідної такої моделі сигналу має вигляд:

$$\begin{aligned} \dot{U} &= U'(t)\xi(t)e^{j\varphi'(t)}e^{j\varphi_0}, \\ \dot{U} &= \begin{cases} U_0(1 + \xi(t))e^{j\varphi_0}e^{j\varphi(t)}, & 0 \leq t \leq \tau_i; \\ 0, & t < 0, t > \tau_i. \end{cases} \end{aligned} \quad (1)$$

Враховуючи різні можливі варіації законів розподілу $\xi(t)$, $\varphi'(t)$ та велику множину значень їх параметрів, розглянемо найпритаманніші імпульсним радіолокаційним системам випадки. Враховуючи конструктивні та функціональні особливості передавачів імпульсних радіолокаційних станцій, при модуляції НВЧ коливань, форма амплітудної обвідної може бути у вигляді прямокутного імпульсу

$$\xi(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t \leq \tau_i; \\ 0, & t < 0, t > \tau_i, \end{cases} \quad (2)$$

або гаусівського

$$\xi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_u}} \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma_u^2}\right) \quad (3)$$

При цьому кутова модуляція через нестабільність вузлів передавача може бути у вигляді лінійної частотної модуляції

$$\varphi(t) = bt^2, \quad (4)$$

параболічної частотної модуляції

$$\varphi(t) = ct^3, \quad (5)$$

або без неї

$$\varphi(t) = 0. \quad (6)$$

За своїм визначенням, функція невизначеності сигналу представляє собою модуль кореляційної функції його комплексної обвідної [1].

$$\chi(\tau, \Omega) = \left| \frac{1}{2 \cdot E} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} U^*(t) \cdot U(t - \tau) \exp(j2\pi\Omega t) dt \right|,$$

де E – повна енергія сигналу; Ω – зміщення сигналу по вісі частот; τ – зміщення сигналу по вісі часу.

Далі в роботі розглядається нормована функція невизначеності, що є відношенням поточного значення за координатами τ , Ω до максимального і визначається з виразу

$$\chi(\tau, \Omega) = \frac{\left| \frac{1}{2 \cdot E} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} U^*(t) \cdot U(t - \tau) \exp(j2\pi\Omega t) dt \right|}{\chi(0, 0)}. \quad (7)$$

Отже вирази функцій невизначеності для різних комбінацій флукуаційних складових, визначаються шляхом підстановки рівнянь (2), (4) – (6) в вираз (1) з подальшим вирішенням рівняння (7).

Отже, провівши підстановки та виконавши математичні перетворення отримано вирази для функцій невизначеності сигналів [3]:

- з прямокутною обвідною без частотної модуляції:

$$\chi(\tau, \Omega) = \begin{cases} \frac{\sin \pi\Omega(\tau_i - |\tau|)}{\pi\Omega(\tau_i - |\tau|)} \left(1 - \frac{|\tau|}{\tau_i}\right), & -\tau_i \leq \tau \leq \tau_i, \\ \frac{\sin \pi\Omega(\tau_i - |\tau|)}{\pi\Omega(\tau_i - |\tau|)} \left(1 - \frac{|\tau|}{\tau_i}\right), & \tau \leq -\tau_i, \tau \geq \tau_i, \end{cases} \quad (8)$$

- з прямокутною обвідною і лінійно-частотною модуляцією:

$$\chi(\tau, \Omega) = \begin{cases} \frac{\sin [b\tau(\tau_i - |\tau|) - \pi\Omega(\tau_i + |\tau|)]}{b\tau(\tau_i - |\tau|) - \pi\Omega(\tau_i + |\tau|)} \left(1 - \frac{|\tau|}{\tau_i}\right), & -\tau_i \leq \tau \leq \tau_i, \\ \frac{\sin [b\tau(\tau_i - |\tau|) - \pi\Omega(\tau_i + |\tau|)]}{b\tau(\tau_i - |\tau|) - \pi\Omega(\tau_i + |\tau|)} \left(1 - \frac{|\tau|}{\tau_i}\right), & \tau \leq -\tau_i, \tau \geq \tau_i, \\ 0, & \end{cases} \quad (9)$$

- з прямокутною обвідною і параболічною частотною модуляцією:

$$\chi(\tau, \Omega) = \begin{cases} \frac{1}{\tau_i} \sqrt{\frac{\pi}{6c\tau}} [(C_1 + C_2) + (S_1 + S_2)^2]^{1/2}, & -\tau_i \leq \tau \leq \tau_i, \\ 0 & \tau \leq -\tau_i, \tau \geq \tau_i, \end{cases} \quad (10)$$

де

$$C_n = \int_0^{x_n} \cos(\pi y^2) dy, \quad S_n = \int_0^{x_n} \sin(\pi y^2) dy,$$

$$\left. \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \end{matrix} \right\} = -\left(\frac{\pi}{6c\tau}\right)^{1/2} \Omega \pm \frac{1}{2} \left(\frac{6c\tau}{\pi}\right)^{1/2} (\tau_i - |\tau|)$$

Проте, найбільш розповсюдженим для імпульсних радіолокаційних засобів є випадок, коли амплітудна обвідна радіоімпульсу має не прямокутну, а гаусівську форму. Вирази функцій невизначеності для різних комбінацій флукуаційних складових визначаються також шляхом підстановки рівнянь, але (3) – (6) у вираз (1) з подальшим вирішенням рівняння (7).

Отже, провівши підстановки та виконавши математичні перетворення отримано вирази для функцій невизначеності сигналів [3]:

- з гаусівською обвідною без частотної модуляції:

$$\chi(\tau, \Omega) = \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\tau^2}{2\sigma_u^2} + 2\pi^2 \Omega^2 \sigma_u^2\right)\right]; \quad (11)$$

- з гаусівською обвідною і лінійно-частотною модуляцією:

$$\chi(\tau, \Omega) = \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\tau^2}{2\sigma_u^2} + 2\pi^2 \Omega^2 \sigma_u^2 \left(\Omega + \frac{b\tau}{\pi}\right)^2\right)\right]; \quad (12)$$

- з гаусівською обвідною і параболічною частотною модуляцією:

$$\chi(\tau, \Omega) = \left(\frac{1}{1 + (3c\sigma_u^2)^2 \tau^2}\right)^{1/4} \exp\left[-\left(\frac{\tau^2}{\sigma_u^2} + \frac{2\pi^2 \Omega^2}{\frac{1}{\sigma_u^2} - 9c^2 \tau^2}\right)\right]. \quad (13)$$

Якщо порівнювати вирази (9) – (13) з виразом (8) то є очевидним той факт, що урахування флукуаційних складових як по амплітуді так і по частоті, функція невизначеності значно трансформується (рис. 2) – (рис. 5)

Враховуючи, що імпульси з прямокутною амплітудною обвідною та з монотонним частотним заповненням мають найгладкішу як за часом так і за частотою поверхню невизначеності, внесення будь-якої додаткової динамічної складової призводить до оптимізації (за шириною основної пелюстки) поверхні функції невизначеності і до покращення або погіршення за рівнем бокових пелюсток.

В реальних імпульсних радіолокаційних системах величина амплітудних та частотних флукуацій зондуючих сигналів може сягати декількох відсотків [4], що при реалізації кореляційних методів обробки ехо-сигналів відкриває потенційні можливості збільшення характеристик виявлення. Крім того, як показує аналіз отриманих виразів функцій невизначеності, властивості зондуючих сигналів значно залежать не тільки від виду законів розподілу флукуацій, але і від параметрів цих законів.

Перспективи подальших досліджень полягають у підвищенні роздільної здатності імпульсних радіолокаційних станцій з урахуванням випадкових недетермінованих модуляційних складових.

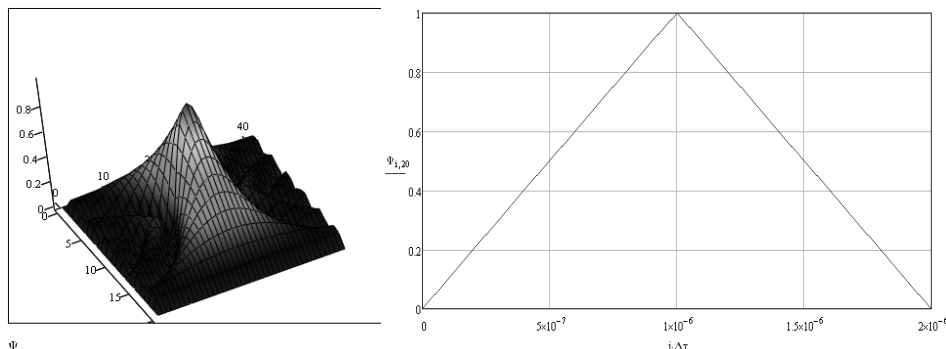


Рис. 2. Поверхня функції невизначеності прямокутного радіоімпульсу а) та її перетин площиною $\Omega = 0$ б)

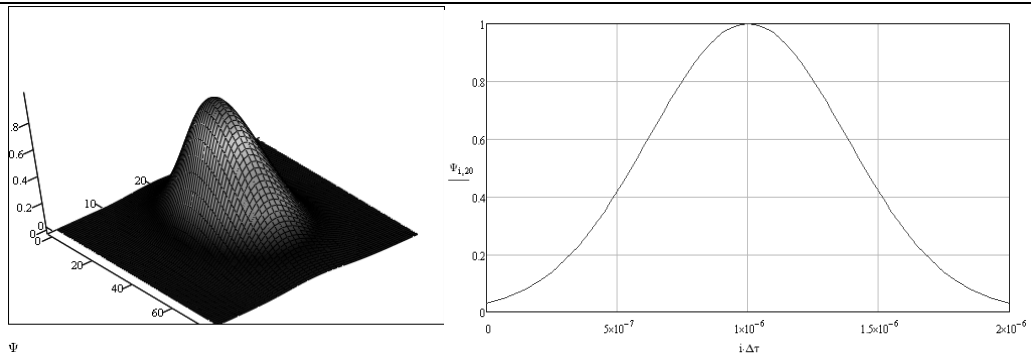


Рис. 3. Поверхня функції невизначеності гаусівського радіоімпульсу а)
та її перетин площиною $\Omega = 0$ б)

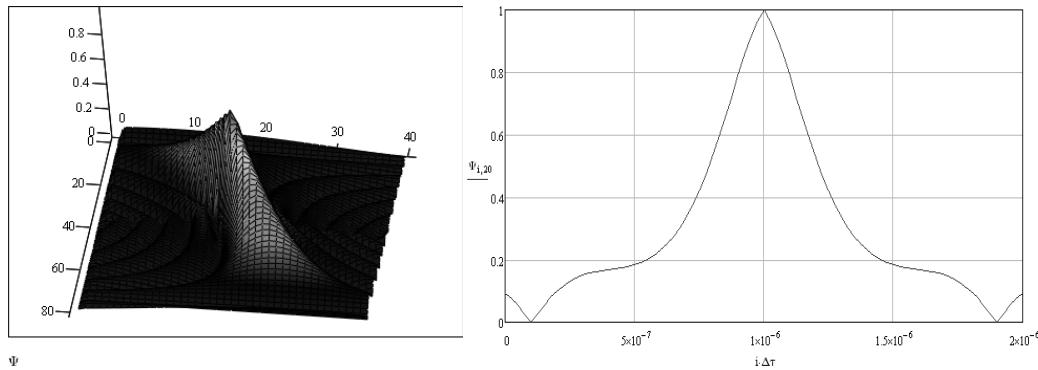


Рис. 4. Поверхня функції невизначеності прямокутного ЛЧМ-радіоімпульсу а)
та її перетин площиною $\Omega = 0$ б)

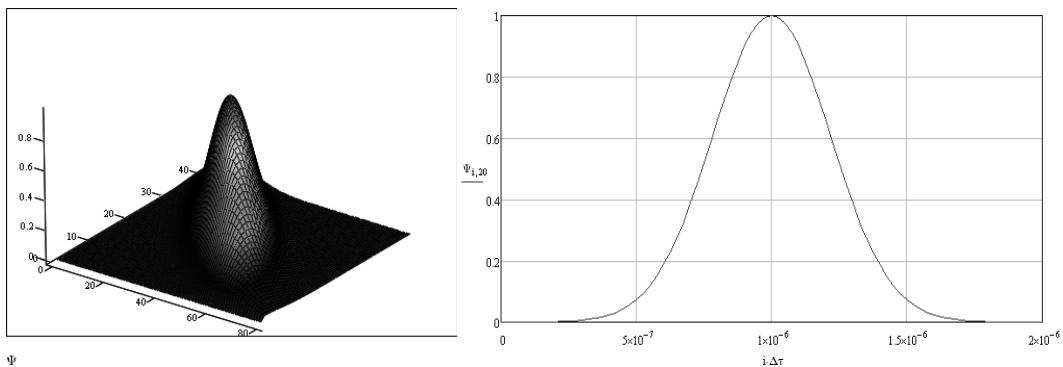


Рис. 5. Поверхня функції невизначеності гаусівського ЛЧМ-радіоімпульсу а)
та її перетин площиною $\Omega = 0$ б)

Література

1. Радиотехнические системы / [Ю.П. Гришин, В.П. Ипатов, Ю.М. Казаринов, Ю.А. Коломенський]. – М. : Высш. шк., 1990. – 496 с.
2. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы : [учебник для вузов] / Гоноровский И.С. – [4-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Радио и связь, 1986. – 512 с.
3. Кук Ч. Радиолокационные сигналы / Ч. Кук, М. Бернфельд ; [пер. с англ. ; под ред. В.С. Кельзона]. – М. : Советскорадио, 1971. – 568 с.
4. Вамберский М.В. Передающие устройства СВЧ : [учебное пособие для радиотехнических спец. Вузов] / Вамберский М.В., Казанцев В.И., Шелухин С.А. ; под ред. М.В. Вамберского. – М. : Высш. шк., 1984. – 448 с.

Надійшла 17.1.2011 р.

ВЗАЄМОДІЯ НЕМОНОХРОМАТИЧНОЇ СВІТЛОВОЇ ХВИЛІ З ПРОТОНОМ

В роботі розглядається задача взаємодії світлової хвилі з протоном. Обчислюється переріз взаємодії світлової хвилі з протоном при пружній взаємодії (при енергії світлової хвилі меншій 1 MeV). Побудовано графік розподілу перерізу взаємодії від довжини світлової хвилі.

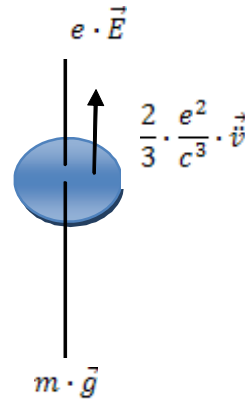
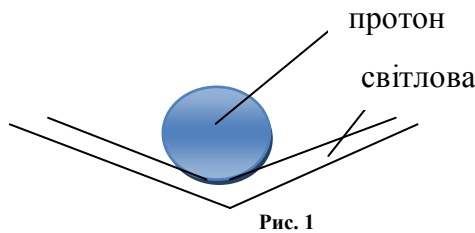
The problem of interaction of light wave with proton is considered in this work. The cross section of interaction of the light wave with the proton at elastic interaction (when power of the light wave less than 1 MeV) is calculated. The graph of distribution of cross section of interaction depending on the length of the light wave is plotted.

Ключові слова: протон, немонахроматична світлова хвиля, інтегральне перетворення Ханкеля, радіус протона, переріз взаємодії.

Вступ. В роботі розглядається задача взаємодії немонахроматичної хвилі з протоном, який знаходиться у вільному, а не зв'язаному з другими частинками станні. В роботі [1] розглядається взаємодія немонахроматичної хвилі з зв'язаним електроном. В роботі [2] розглядається взаємодія фотона з протоном. В цій роботі Р. Фейнман розглядає комтоновське розсіювання в перед і нерелятивіське рівняння Шредінгера без врахування сил Земного тяжіння, які мають значний вплив на пружну взаємодію фотона з протоном.

В роботі [3] розглядається комптоновська взаємодія фотона з електроном, але без врахування сил Земного тяжіння. В роботі ставиться завдання знайти переріз взаємодії світлової хвилі з протоном із врахуванням сил Земного тяжіння.

Постановка задачі. На вільний протон діє немонахроматична світлова хвиля. Розглядаємо схему сил- які діють на протон при взаємодії з світловою хвилею (рис. 1 і 2): .



Розв'язання. Для цього застосовуємо перетворення Ханкеля. Досліджуємо рух протона, під дією зовнішнього електромагнітного поля. Розглянемо розсіювання немонахроматичної світлової хвилі з напруженістю поля $\vec{E}(t)$ з протоном. При цих умовах сила \vec{F} , яка діє на протон і входить в рівняння

$$m \cdot \ddot{\vec{x}} = \vec{F} + \frac{2 \cdot e^2}{3 \cdot c^3} \cdot \ddot{\vec{v}} \quad (1)$$

має вигляд

$$\vec{F} = -m \cdot \vec{g} + e \cdot \vec{E}(t) + \frac{e}{c} \cdot [\vec{v} \cdot \vec{H}] \quad (2)$$

де $\vec{x} = \vec{v}$ [1]. Користуючись рівнянням (1) ми повині обмежитись розглядом нерелятивіського випадку, як, можна знехтувати магнітною силою в впорівнянні з електричною силою. Враховуючи це і підставляючи вираз (2) для сили в рівняння (1), одержимо рівняння

$$\ddot{\vec{x}} - \frac{2 \cdot s^2}{3 \cdot m \cdot c^3} \cdot \ddot{\vec{x}} + \vec{g} = \frac{e}{m} \cdot \vec{E}(t). \quad (3)$$

Щоб розв'язати це рівняння, покладемо

$$\vec{\xi}(\omega) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \vec{x}(t) \cdot e^{i \cdot \omega t} \cdot dt, \quad \vec{\varepsilon}(t) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \vec{E}(t) \cdot e^{i \cdot \omega t} \cdot dt.$$

Помножимо обидві частини (3) на $e^{i\omega t}$ і проінтегруємо по t , тоді одержимо

$$-\omega^2 \cdot \bar{\xi}(\omega) + \frac{2 \cdot e^2}{3 \cdot m \cdot c^3} \cdot i \cdot \omega^3 \cdot \bar{\xi}(\omega) + \bar{g} = \frac{e}{m} \cdot \bar{\varepsilon}(\omega),$$

звідки одержуємо

$$\bar{\xi}(\omega) = \frac{\frac{e}{m} \cdot \bar{\varepsilon}(\omega) - \bar{g}}{\frac{2 \cdot e^2 \cdot i \cdot \omega^3}{m \cdot c^3} - \omega^2} = \frac{(e \cdot \bar{\varepsilon}(\omega) - \bar{g} \cdot m) \cdot c^3}{2 \cdot e^2 \cdot i \cdot \omega^3 - \omega^2 \cdot m^2 \cdot c^3} \quad (4)$$

Отже, має місце рівність

$$|\bar{\xi}(\omega)|^2 = \frac{(e \cdot \bar{\varepsilon}_0(\omega) - \bar{g} \cdot m)^2 \cdot c^6}{4 \cdot e^4 \cdot \omega^6 + \omega^4 \cdot m^2 \cdot c^6}. \quad (5)$$

Енергія, яка випромінюється в одиницю часу протоном, який рухається прискорено з швидкістю \vec{v} , рівна $2 \cdot e^2 / 3 \cdot c^3$; тому вся енергія, яка випромінюється протоном, рівна [3]

$$R = \frac{2 \cdot e^2}{3 \cdot c^3} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} \vec{v}^2 \cdot dt. \quad (6)$$

Так як $\vec{v} = \partial^2 x / \partial t^2$, то $-\omega^2 \cdot \bar{\xi}(x)$ -трансформанта Фур'є функції \vec{v} . Враховуючи цю обставину, а також формулу

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} F(t) \cdot G(t) \cdot dt &= \int_{-\infty}^{\infty} F(t) \cdot dt \cdot \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} g(\eta) \cdot e^{i\eta t} \cdot d\eta = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} g(\eta) \cdot d\eta \cdot \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \int_{-\infty}^{\infty} F(t) \cdot e^{i\omega t} \cdot dt = \int_{-\infty}^{\infty} f(-\eta) \cdot g(\eta) \cdot d\eta, \end{aligned} \quad (7)$$

записану у вигляді

$$\int_{-\infty}^{\infty} f^2(t) \cdot dt = \int_{-\infty}^{\infty} |F(\omega)|^2 \cdot d\omega, \quad (8)$$

де $F(t)$ -трансформанта Фур'є функції $f(t)$, одержимо

$$R = \frac{2 \cdot e^2}{3 \cdot c^3} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \omega^4 \cdot |\bar{\xi}(\omega)|^2 \cdot d\omega.$$

Підставляючи в це рівняння замість $|\bar{\xi}(\omega)|^2$ вираз (5), знаходимо повну енергію, випромінєну протоном, тобто

$$R = \frac{2 \cdot e^2}{3 \cdot c^3} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\omega^4 \cdot (e \cdot \bar{\varepsilon}(\omega) - \bar{g} \cdot m)^2 \cdot c^6 \cdot d\omega}{4 \cdot e^4 \cdot \omega^6 + \omega^4 \cdot m^2 \cdot c^6} = \frac{2 \cdot e^2}{3 \cdot c^3} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{(e \cdot \bar{\varepsilon}(\omega) - \bar{g} \cdot m)^2 \cdot c^6 \cdot d\omega}{4 \cdot e^4 \cdot \omega^2 + m^2 \cdot c^6} \quad (9)$$

Вираз (9) після підстановки значення радіусу протона $r_p = \frac{h}{2 \cdot \pi \cdot m \cdot c}$ можна записати наступним

чином:

$$R = \frac{4 \cdot \pi \cdot m \cdot e^2}{3 \cdot h \cdot c^2} \cdot r_p \int_0^{\infty} \frac{\omega^4 \cdot (e \cdot \bar{\varepsilon}(\omega) - \bar{g} \cdot m)^2 \cdot c^6 \cdot d\omega}{4 \cdot e^4 \cdot \omega^6 + \omega^4 \cdot m^2 \cdot c^6} = \frac{4 \cdot \pi \cdot m \cdot e^2}{3 \cdot h \cdot c^2} \cdot r_p \int_0^{\infty} \frac{(e \cdot \bar{\varepsilon}(\omega) - \bar{g} \cdot m)^2 \cdot c^6 \cdot d\omega}{4 \cdot e^4 \cdot \omega^2 + m^2 \cdot c^6}.$$

Коли ввести спектральну функцію розподілу $R(\omega)$, визначену співвідношенням

$$R = \int_0^{\infty} R(\omega) \cdot d\omega$$

то знайдемо

$$R(\omega) = \frac{4 \cdot \pi \cdot m \cdot e^2}{3 \cdot h \cdot c^2} \cdot r_p \cdot \frac{\omega^4 \cdot (e \cdot \bar{\varepsilon}(\omega) - \bar{g} \cdot m)^2 \cdot c^6}{4 \cdot e^4 \cdot \omega^6 + \omega^4 \cdot m^2 \cdot c^6} = \frac{4 \cdot \pi \cdot m \cdot e^2}{3 \cdot h \cdot c^2} \cdot r_p \cdot \frac{(e \cdot \bar{\varepsilon}(\omega) - \bar{g} \cdot m)^2 \cdot c^6}{4 \cdot e^4 \cdot \omega^2 + m^2 \cdot c^6}. \quad (10)$$

Таким чином, спектральна функція випромінювання зв'язана з квадратом модуля трансформанти Фур'є напруженості електричного поля $\vec{E}(t)$ простим співвідношенням.

З другого боку, повна робота, яка виконана світловою хвилею, рівна

$$W = \frac{1}{3} \int_{-\infty}^{\infty} \vec{x} \cdot (e \cdot \vec{E} - m \cdot \vec{g}) \cdot dt.$$

Приймаючи до уваги рівність (7) у вигляді

$$\int_{-\infty}^{\infty} F(t) \cdot G(t) \cdot dt = \int_{-\infty}^{\infty} f(\omega) \cdot g^*(\omega) \cdot d\omega,$$

а також враховуючи, що трансформанта Фур'є функції $\vec{x} = i \cdot \omega \cdot \vec{\xi}(\omega)$, одержимо

$$\begin{aligned} W &= \operatorname{Re} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{-i \cdot \omega \cdot \vec{\xi}(\omega) \cdot (e \cdot \vec{\xi}(\omega) \cdot c^3 - \vec{g} \cdot m \cdot c^3) \cdot d\omega}{(2 \cdot e^2 \cdot i \cdot \omega^3 - \omega^2 \cdot m \cdot c^3)} = \frac{4 \cdot \pi \cdot m \cdot e^2}{3 \cdot h \cdot c^2} \cdot r_p \cdot \int_0^{\infty} \frac{\omega^4 \cdot (e \cdot \vec{\xi}(\omega) - \vec{g} \cdot m)^2 \cdot c^6 \cdot d\omega}{4 \cdot e^4 \cdot \omega^6 + \omega^4 \cdot m^2 \cdot c^6} = \\ &= \frac{4 \cdot \pi \cdot m \cdot e^2}{3 \cdot h \cdot c^2} \cdot r_p \cdot \int_0^{\infty} \frac{(e \cdot \vec{\xi}(\omega) - \vec{g} \cdot m)^2 \cdot c^6 \cdot d\omega}{4 \cdot e^4 \cdot \omega^2 + m^2 \cdot c^6}. \end{aligned} \quad (11)$$

Бачимо, що $R = W$. У випадку монохроматичного випромінювання $\vec{E} = \vec{E}_0 \cdot e^{i \cdot v \cdot t}$, так що на підставі рівностей

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{-i \alpha \cdot x} d\alpha = 2 \cdot \pi \cdot \delta(x) \quad (12)$$

і

$$e \cdot \vec{\xi}(\omega) - \vec{g} \cdot m = \left((2 \cdot \pi)^{1/2} \cdot e \cdot \vec{E}_0 \cdot \delta(v + \omega) - \vec{g} \cdot m \cdot \delta(v + \omega) \right) \cdot c^3.$$

Тому із рівності (4) випливає

$$\vec{\xi}(\omega) = \frac{2 \cdot \pi^{1/2} (e \cdot \vec{E}_0 \cdot \delta(v + \omega) - \vec{g} \cdot m \cdot \delta(v + \omega)) \cdot c^3}{(2 \cdot e^2 \cdot i \cdot \omega^3 - \omega^2 \cdot m \cdot c^3)}.$$

Використовуючи теорему обертання (Теорема 1)

Теорема 1. Коли $F(\alpha)$ - трансформанта Фур'є функції $f(x)$, тобто коли

$$F(\alpha) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \cdot e^{i \alpha \cdot x} dx,$$

то $f(x)$ виражаються через $F(\alpha)$ співвідношенням

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} F(\alpha) \cdot e^{-i \alpha \cdot x} \cdot d\alpha.$$

і враховуючи вираз

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(\xi) \cdot \delta(\xi - \alpha) \cdot d\xi = f(\alpha), \quad (13)$$

маємо

$$\vec{x}(t) = \frac{e \cdot c^3 \cdot \vec{E}_0 \cdot e^{i v t}}{(2 \cdot e^2 \cdot i \cdot v^3 - v^2 \cdot m \cdot c^3)} - \frac{\vec{g} \cdot m \cdot c^3 \cdot e^{i v t}}{(2 \cdot e^2 \cdot i \cdot v^3 - v^2 \cdot m \cdot c^3)},$$

звідки находимо

$$|\vec{v}(t)|^2 = \frac{(e \cdot c^3 \cdot \vec{E}_0 - \vec{g} \cdot m \cdot c^3)^2 \cdot v^4}{(4 \cdot e^4 \cdot v^6 + v^4 \cdot m^2 \cdot c^6)}.$$

Отже, енергія, яка випромінюється в одиницю часу, рівна

$$R = \frac{4 \cdot \pi \cdot m \cdot e^2}{3 \cdot h \cdot c^2} \cdot r_p \cdot \frac{(e \cdot c^3 \cdot \vec{E}_0 - \vec{g} \cdot m \cdot c^3) \cdot v^4}{(4 \cdot e^4 \cdot v^6 + v^4 \cdot m^2 \cdot c^6)} = \frac{4 \cdot \pi \cdot m \cdot e^2}{3 \cdot h \cdot c^2} \cdot r_p \cdot \frac{(e \cdot c^3 \cdot \vec{E}_0 - \vec{g} \cdot m \cdot c^3)}{(4 \cdot e^4 \cdot v^2 + m^2 \cdot c^4)}.$$

В одиницю часу на одиницю площі у розглядуваному випадку приходить кількість енергії $S = c \cdot E_0^2 / 4\pi$. Поперечний переріз розсіювання визначається як та площа σ , на яку приходить в падаючому потоці S кількість випромінюваної енергії, рівної R , тобто

$$\sigma = \frac{R}{S} = \frac{16 \cdot \pi^2 \cdot m \cdot e^2 \cdot c^3}{3 \cdot h \cdot E_0^2} \cdot r_p \cdot f(\nu),$$

де через $f(\nu)$ позначається функція

$$f(\nu) = \frac{(e \cdot \vec{E}_0 - \vec{g} \cdot m)^2}{(4 \cdot e^4 \cdot \nu^2 + m^2 \cdot c^4)}.$$

Числові результати. Зроблено обчислення перерізу взаємодії немонохроматичної світлової хвилі з протоном. При значеннях довжини світлової хвилі $0.4 \cdot 10^{-6} - 0.8 \cdot 10^{-6}$ метра. Обчислення показали, що при збільшенні довжини хвилі переріз взаємодії збільшується (рис. 3). З формули 13 видно, що для одержання додатніх значень швидкості протону потрібно, щоб

$$e \cdot \vec{E}_0 - \vec{g} \cdot m > 0.$$

Звідси знаходимо, що при значенні енергії хвилі $E_0 = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ довжина хвилі повинна бути $\lambda < 1.941 \cdot 10^{-18}$ метра.

Отже, для того, щоб електромагнітна хвиля могла утримати протон, щоб він не впав на землю або на стінки приладу потрібно, щоб довжина хвилі була менша від $1.941 \cdot 10^{-18}$ метра.

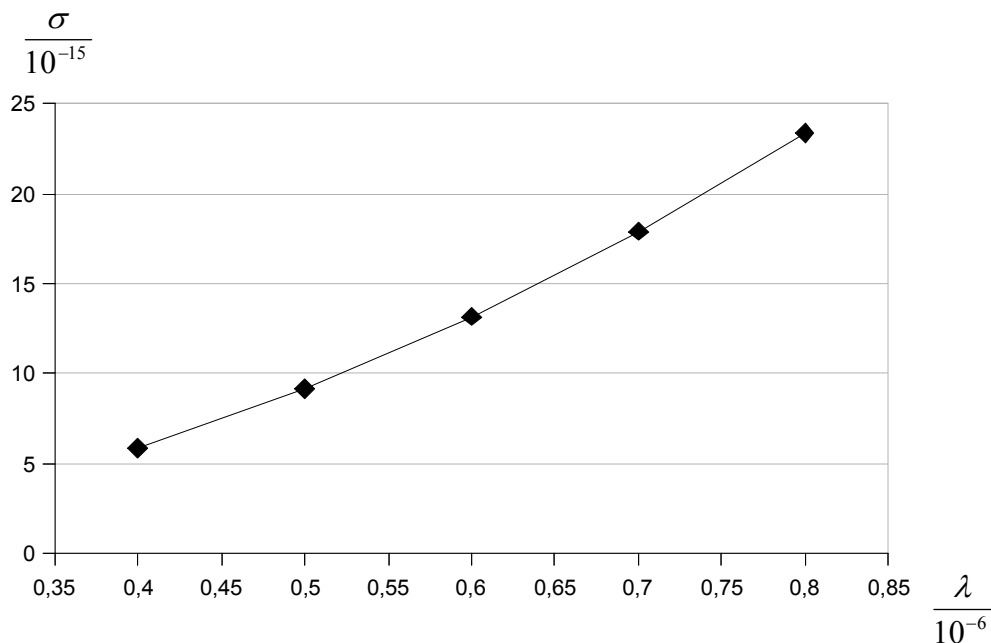


Рис. 3

Література

1. Снеддон И Преобразования Фурье / И. Снеддон. – М. : ИЛ, 1955. – 654с.
2. Фейнман Р. Взаимодействие фотонов с адронами / Р. Фейнман. – М.: МИР, 1975, -390с.
3. Шпольский Э.В. Атомная физика / Э. В. Шпольский. – Т.1. – М. : Наука, 1984. – 552с.

Надійшла 25.1.2011 р.

ВИБІР ЕЛЕМЕНТНОЇ БАЗИ МАЛОШУМЛЯЧИХ ПІДСИЛЮВАЧІВ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ВИСОКИХ ТА НАДВИСОКИХ ЧАСТОТ

Проведено огляд особливостей побудови вхідних каскадів приймачів НВЧ з використанням малошумлячих підсилювачів (МШП) які дозволяють при збереженні дальності у декілька разів понизити потужність передавача, підвищивши тим самим його надійність. Розглянуто типи МШП приймальних трактів НВЧ, визначено переваги та недоліки при вирішенні завдань ефективного підсилення прийнятого сигналу. Намічено стратегію синтезу малошумлячого підсилювача, шляхом оптимального вибору підсилювального елемента, можливості моделювання та дослідження основних параметрів МШП. Наведено результати моделювання МШП з метою оптимального визначення частотної залежності параметрів, у тому числі S-параметрів транзисторів.

The review of features of construction of entrance cascades of receivers of over high-frequencies is conducted with the use of little making noise strengtheners which allow at saving distance in once or twice to reduce power of transmitter, promoting the same his reliability the types of little making noise amplifier of receiving highways of over high-frequencies are considered, certainly advantages and failings at the decision of tasks of the effective strengthening of the accepted signal. Strategy of synthesis of little making noise strengtheners is set, by the optimum choice of amplifying element, possibility of design and research of basic parameters of little making noise amplifier. The results of design of little making noise amplifier are resulted with the purpose of optimum determination of frequency dependence of parameters, including S-parameters of transistors.

Ключові слова: конвертор, еквівалентна схема, активний елемент..

Вступ

На сьогоднішньому етапі розвитку приймальні пристрої надвисоких частот (НВЧ) використовуються для вирішення надзвичайно великого кола завдань. Вони широко застосовуються в радіолокації, системах обробки даних дистанційного зондування Землі та супутникової метеоінформації, системах космічного зв'язку, радіоастрономії, системах високоякісного телебачення. В порівнянні з апаратурою, що працює на довгих, середніх, коротких і ультракоротких хвилях, радіоприймальні пристрої НВЧ мають ряд особливостей. Так, в діапазоні НВЧ рівень зовнішніх завад надзвичайно низький. Основну роль тут відіграють внутрішні шуми, які обмежують чутливість радіоприймального пристрою. У зв'язку з цим в радіоприймальних пристроях діапазону НВЧ велика увага приділяється зменшенню шумів усіх елементів: частотно-вибіркових систем, підсилювачів, перетворювачів частоти та ін. Перші каскади радіоприймального пристрою обов'язково мають бути малошумлячими. Вони передусім повинні забезпечити підвищення чутливості і зменшення коефіцієнта шуму. Використання малошумлячих підсилювачів дозволяє при збереженні дальності у декілька разів понизити потужність передавача, підвищивши тим самим його надійність і при цьому отримати вигоду в загальній вазі апаратури [1]. Необхідність мініатюризації радіоприймальних пристроїв НВЧ діапазону, підвищення їх економічності, зменшення вартості привели до інтенсивного застосування малошумлячих підсилювачів на напівпровідникових приладах, до яких відносяться напівпровідникові параметричні, на тунельних діодах і транзисторні підсилювачі НВЧ.

Напівпровідникові параметричні підсилювачі (НПП) працюють в широкому діапазоні частот (0,3...35ГГц), мають смуги пропускання від доль до декількох відсотків від центральної частоти (типові значення 0,5...7 %, але можуть бути отримані смуги до 40 %); коефіцієнт передачі одного каскаду досягає 17...30дБ, динамічний діапазон вхідних сигналів 70...80дБ. Проте система охолодження збільшує габарити, масу, споживану потужність і вартість НПП. Підсилювачі на тунельних діодах мають в порівнянні з іншими напівпровідниковими підсилювачами менші габарити і масу, що визначаються головним чином габаритами і масою феритових циркуляторів і вентилів, менший рівень споживаної потужності і широку смугу пропускання. Вони працюють в діапазоні частот 1...20ГГц, мають відносну смугу пропускання 1,7...65 % (типові значення 3,5...18 %), коефіцієнт передачі одного каскаду 6...20дБ, коефіцієнт шуму 3,5...4,5дБ на дециметрових хвилях і 4...7дБ на сантиметрових, динамічний діапазон вхідних сигналів складає 50...90дБ. Проте останнім часом підсилювачі на тунельних діодах із-за властивим їм недолікам (порівняно високий коефіцієнт шуму, недостатній динамічний діапазон, мала електрична міцність тунельного діода, складність забезпечення стійкості, необхідність розв'язуючих пристроїв) інтенсивно витісняються транзисторними підсилювачами НВЧ. У МШП НВЧ застосовуються малошумлячі транзистори, як біполярні (германієві і кремнієві), так і польові з бар'єром Шотки. Германієві біполярні транзистори дозволяють отримати менший коефіцієнт шуму, чим кремнієві, проте останні більш високочастотні. Польові транзистори з бар'єром Шотки перевершують біполярні транзистори за підсилювальними властивостями і можуть працювати на вищих частотах, особливо арсенід-галієві транзистори. Шумові характеристики на відносно низьких частотах краще у біполярних транзисторів, а на вищих – у польових. Недоліком польових транзисторів є високі вхідний і вихідний опір, що утрудняє широкосмугове узгодження. Щоб транзистор працював в діапазоні НВЧ, потрібно сильно скоротити розміри його активних областей (особливо бази, затвора), а також мінімізувати паразитні елементи $p-n$ -переходів і реактивності корпусу і виводів. Це пов'язано зі

значними технологічними труднощами. Теоретична межа частоти посилення біполярних транзисторів 10...15ГГц, а польових транзисторів з бар'єром Шотки на арсеніді галію – приблизно 90ГГц. Біполярні транзистори застосовуються в основному на частотах до 4...5 ГГц, польові транзистори – на частотах вище 8 ГГц, а в проміжній області частот використовуються і ті і інші. Сучасні транзисторні МШП НВЧ виготовляються в основному у вигляді гібридних інтегральних схем на діелектричних підкладках з навісними активними елементами. Транзистори використовуються як в корпусному, так і в безкорпусному виконанні. Безкорпусні транзистори в порівнянні з корпусними мають менші лінійні розміри і в них мінімізовані паразитні елементи. Такі транзистори здатні працювати на вищих частотах, хоча їх монтаж в схему технологічно складніший [1].

Отже, проведений вище аналіз можливих реалізацій вхідних каскадів НВЧ приймачів, дозволяє намітити стратегію синтезу малошумлячого підсилювача шляхом оптимального вибору підсилювального елемента, можливості моделювання та дослідження основних параметрів МШП, адекватну, з точки зору ефективності отриманих результатів схему МШП і зокрема, для вирішення завдань побудови приймальних трактів апаратури систем дистанційного зондування Землі та отримання супутникової метеоінформації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

При вирішенні завдань підвищення ефективності процесу обробки інформації дистанційного зондування Землі та отримання оперативних даних для розв'язку завдань геологічного моніторингу, одним з етапів є розробка структури приймальної системи та алгоритму приймання і обробки спеціалізованих сигналів моніторингу земної поверхні, із відпрацювання окремих вузлів системи та алгоритму обробки спеціалізованих сигналів. До складу приймальної системи обробки інформації дистанційного зондування Землі входить приймач. Попереднє перетворення прийнятого сигналу повинно здійснюватись конвертором. Малошумлячий підсилювач (LNA – Low Noise Amplifier) тільки посилює сигнал, тоді як конвертор (LNB – Low Noise Blockconverter), окрім забезпечення необхідного підсилення при мінімально можливому рівні шумів, перетворює частоти сигналу до частоти, що сприймається супутниковим приймачем. У ранніх супутникових системах С – діапазону прийнятий сигнал спочатку посилювався в LNA, а потім частота його знижувалася в окремому блоці, який носить назву LNC (LowNoise Converter – малошумлячий перетворювач). Це вимагало застосування дорогого коаксіального кабелю і роз'ємів з малими втратами сигналу, максимально близької установки антени і супутникового приймача. В цілому система мала ряд серйозних обмежень, мала складність при монтажі і була дорогою. Істотним конструктивним поліпшенням системи було виділення пристрою пониження частоти в окремий блок і його установка поблизу малошумлячого перетворювача. Це дозволило застосувати дешевший коаксіальний кабель і збільшити його довжину до 100 м без формування додаткових лінійних підсилювачів. Наступним, цілком логічним кроком було об'єднання LNA і малошумлячого перетворювача в один пристрій – LNB. Саме LNB розуміється нині під словом конвертор. Зосередимо увагу на МШП – транзисторах при побудові LNB.

На сьогодні відомо два типи малошумлячих транзисторів НВЧ, доступних проектувальникам і виробникам НВЧ – апаратури: НЕМТ – транзистори (High electron mobility transistor), що мають високу рухливість електронів, і польові транзистори з бар'єром Шотки (ПТШ). ПТШ почали використовуватися з початку 70-х років, тоді як НЕМТ стали комерційно доступні тільки з 1987р. Основна відмінність між ними полягає в тому, що НЕМТ має менший коефіцієнт шуму на заданій частоті, чим ПТШ, проте останній має вищий коефіцієнт посилення [2].

Поняття шуму є одним з основних при розгляді супутникового радіозв'язку. Рівень шуму визначає мінімальну величину сигналу, який може бути прийнятий приймальним пристроєм, тобто таку найважливішу його характеристику, як чутливість. Шуми які діючі в колах приймального пристрою по своєму походженню можуть бути зовнішніми і внутрішніми. До перших відносяться космічні шуми, шуми атмосфери, квантові шуми сигналу і фонових засвічень, до інших – струми, що виникають в елементах приймального тракту за рахунок хаотичного руху носіїв електричних зарядів. Джерелами внутрішніх шумів приймального пристрою є резистори, коливальні кола, активні елементи. Фізичну природу власних шумів можна пояснити на прикладі теплових шумів, що виникають в провідниках. Як відомо, кристалічна решітка будь-якого провідника містить вільні електрони, що знаходяться в безперервному тепловому хаотичному русі, інтенсивність якого залежить від температури. Під час руху електрони взаємодіють один з одним, внаслідок чого змінюються напрям і швидкість їх переміщення. Кожне переміщення електрона між двома взаємодіями можливо розглядати як елементарний імпульс струму. В сумі усі елементарні імпульси (середня тривалість яких приблизно 10^{-13} с) і створюють шумову напругу в провіднику.

Коефіцієнт шуму конвертора вимірюється при кімнатній температурі і може відрізнитися від номінального значення на величину до 0,01 дБ/°С. Умови експлуатації конверторів є дуже жорсткими: на них безпосередньо впливають атмосферні опади і перепади температур, залежні від клімату регіону. Конвертор являється пристроєм, що не обслуговується, тому повинна забезпечуватися їх повна взаємозамінюваність без яких-небудь додаткових регулювань. З'єднання і корпус мають бути пило- і вологозахисними. До основних технічних характеристик конвертора відносять: діапазон частот, що приймаються; коефіцієнт шуму; нестабільність частоти гетеродина; коефіцієнт підсилення; фазові шуми.

Посилення сучасного конвертора складає 50 – 70 дБ. Для забезпечення ефективної роботи приймального комплексу величина цього параметра дуже важлива.

Недостатнє підсилення рівнозначне застосуванню антени меншого діаметра, надмірне посилення приведе до перевантаження вхідних кіл приймального пристрою. В цілому ж посилення конвертора має бути узгоджене з довжиною кабелю (затуханням в ньому сигналу) і чутливістю приймального пристрою. Рекомендоване підсилення повинне складати мінімум 50 дБ, максимум 60 дБ. Слід зазначити, що це значення зменшується на 0,2 – 0,3 дБ при підвищенні температури на кожних 10°C [3].

МШП повинен забезпечувати рівномірне підсилення в усьому робочому діапазоні з нерівномірністю амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) +1 дБ і мати лінійну фазочастотну характеристику (ФЧХ). Необхідно також задовольнити ряд вимог: забезпечити мінімальний коефіцієнт шуму, узгодження підсилювача по входу, максимальний коефіцієнт посилення.

Класичний МШП складається з трьох підсилювальних каскадів: перші два виконані на НЕМТ – транзисторах, третій – на транзисторі з бар'єром Шотки. Усі каскади МШП будуються, як правило, на несиметричних смужкових лініях передачі, які виконуються методом напилення матеріалів на керамічну підкладку. У НВЧ – діапазоні паразитні реактивні елементи корпусу транзистора здійснюють помітний вплив на характеристики МШП. Щоб виключити цей ефект, застосовують транзистори в безкорпусному виконанні. Таким чином, підсилювальний каскад можна сформувати з чотирьох кіл: вхідного і вихідного кола, кола зміщення і активного елементу рис. 1.

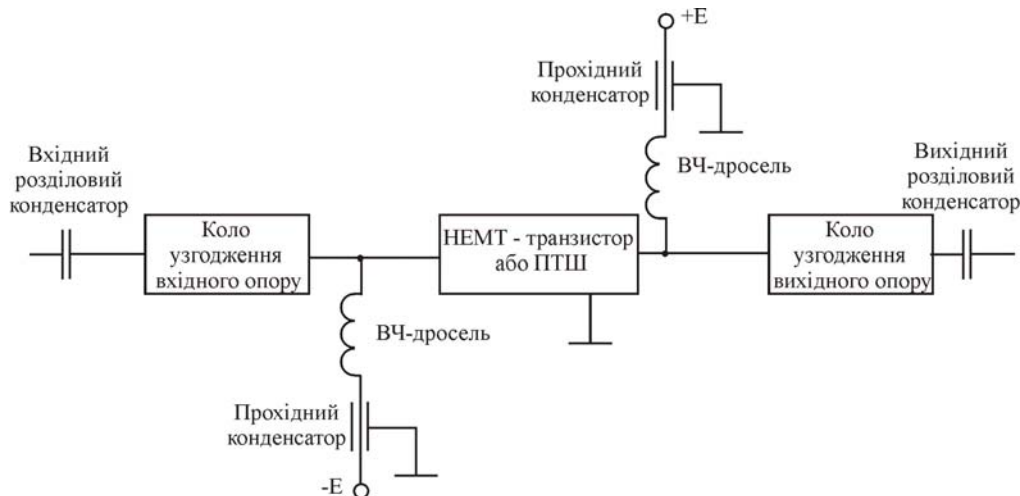


Рис. 1. Підсилювальний каскад МШП

Вхідне коло призначено для узгодження вхідного опору активного елементу (транзистора) і забезпечення мінімуму коефіцієнта шуму. Вихідне коло служить для узгодження вихідного опору з послідовним каскадом. Коло зміщення забезпечує режим роботи транзистора по постійному струму. Найбільшого поширення в МШП набула схема із загальним витоком, оскільки вона має більшу стійкість в порівнянні з іншими способами включення польових транзисторів. Активний елемент є НЕМТ – транзистором або ПТШ і забезпечує посилення сигналу.

Процес розробки будь-якого пристрою НВЧ починається з моделювання його роботи. У той же час жодна з систем автоматизованого проектування пристроїв НВЧ не має повної бібліотеки активних компонентів. Головною причиною цієї ситуації є та обставина, що процес моделювання активних компонентів є трудомістким, вимагає наявності дорогого устаткування (звичайно – векторного аналізатора кіл і вимірювача характеристик по постійному струму). Тому вартість створення бібліотек компонентів може бути порівняна із вартістю створення самого програмного забезпечення або навіть перевищувати його. У ситуації, що склалася, процес проектування часто починається з моделювання активних компонентів, які передбачається використовувати в пристрої.

Використання методу екстраполяції S -параметрів для моделювання НВЧ транзисторів

При розрахунку і аналізі транзисторних схем НВЧ найбільше часто використовуються два типи моделей: структурна модель, заснована на еквівалентній схемі транзистора, і безструктурна модель, що представляє собою транзистор у вигляді еквівалентного чотириполосника. Перевагою структурної моделі є висока інформативність: еквівалентна схема дозволяє встановити зв'язок між її елементами й характеристиками транзистора. Безструктурна модель транзистора менш інформативна, вона строго справедлива лише на одній частоті. Для визначення частотної залежності параметрів транзистора треба провести вимірювання на різних частотах. Однак безструктурні моделі більш достовірні, оскільки їхні параметри можуть бути виміряні значно точніше, ніж параметри еквівалентної схеми. НВЧ транзистор як еквівалентний чотириполосник може бути описаний, наприклад, Y - або H -параметрами, які звичайно використовуються на відносно низьких частотах. Але для вимірювання цих параметрів необхідно забезпечити режими холостого ходу і короткого замикання, які важко здійснити на надвисоких частотах через вплив паразитних елементів схеми. Тому частіше для опису використовуються параметри матриці розсіювання або S -параметри, виміряні в лініях з узгодженим навантаженнями, що на надвисоких частотах реалізуються

найбільше просто. Розрахунок вузлів звичайно здійснюється з використанням безструктурної моделі транзистора на S -параметрах. При необхідності безструктурна модель може бути доповнена структурною моделлю. Обидві моделі взаємозалежні: по S -параметрах транзистора, вимірних на декількох частотах, можна визначити (або уточнити) елементи його еквівалентної схеми і навпаки, відома еквівалентна схема дозволяє розрахувати S -параметри на будь-якій частоті діапазону, у якому ця схема коректна.

S – параметри транзистора (і загалом довільного чотириполосника) вимірюються при підключеному на виході і вході стандартних ліній передач з характеристичним опором W_0 рис. 2. Звичайно $W_0 = 50$ Ом. Нормовані падаючі a_i і відбиті b_i хвилі, виразимо через комплексні амплітуди струмів I_i і напруг U_i на затискачах чотириполосника:

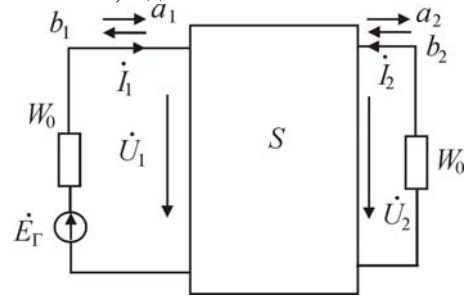


Рис. 2. Схема НВЧ чотириполосника

$$a_i = \frac{U_i + W_0 I_i}{2\sqrt{W_0}}; \quad b_i = \frac{U_i - W_0 I_i}{2\sqrt{W_0}}, \quad i = 1, 2. \quad (1)$$

Зв'язок падаючих і відбитих хвиль встановлюється рівняннями чотириполосника в S -параметрах:

$$b_1 = S_{11}a_1 + S_{12}a_2, \quad b_2 = S_{21}a_1 + S_{22}a_2. \quad (2)$$

Звичайно, S -параметри представляють в показовій формі $S_{kl}(j\omega) = |S_{kl}| \exp(j\varphi_{kl})$ і вказують їх модуль та фазу (в градусах). З рівнянь (1) отримуємо:

$$S_{11} = \frac{b_1}{a_1} \Big|_{a_2=0} = \frac{Z_{ex} - W_0}{Z_{ex} + W_0}; \quad S_{12} = \frac{b_2}{a_2} \Big|_{a_1=0} = \frac{Z_{вих} - W_0}{Z_{вих} + W_0}. \quad (3)$$

де Z_{ex} – вхідний опір чотириполосника при умові, що на виході увімкнено W_0 ; $Z_{вих}$ – вихідний опір чотириполосника при умові, що на вході увімкнено W_0 . Аналіз НВЧ підсилювачів з допомогою S -параметрів здійснюється так. Для того щоб НВЧ – транзистор використовувався в якості підсилювача, він повинен бути активним. Для пасивного кола сумарна потужність, яка підводиться до вхідних та вихідних затискачів чотириполосника, неагативна. Умови пасивності в термінах S -параметрів мають вид:

$$|S_{11}|^2 + |S_{21}|^2 \leq 1, \quad |S_{22}|^2 + |S_{12}|^2 \leq 1, \quad (4)$$

$$|S_{11}|^2 + |S_{12}|^2 + |S_{21}|^2 + |S_{22}|^2 - |\Delta S|^2 \leq 1, \quad (5)$$

де $\Delta S = S_{11}S_{22} - S_{12}S_{21}$. Якщо, хоча б одна умова (4) або (5) не виконується, то чотириполосник є активним і його можна використовувати для підсилення сигналів. При проектуванні НВЧ підсилювачів необхідно забезпечити його стійкість при роботі із вибраними опорами Z_G і Z_H . Залежно від значень S -параметрів транзистор знаходиться або в області безумовної стійкості, або в області потенційної стійкості. Під безумовною стійкістю транзистора розуміють відсутність самозбудження при підключенні довільних опорів Z_G і Z_H з додатними дійсними частинами. Транзистор знаходиться в області безумовної стійкості, якщо виконуються умови:

$$|S_{12}S_{21}| < 1 - |S_{11}|^2, \quad |S_{12}S_{21}| < 1 - |S_{22}|^2; \quad K_y = \frac{1 - |S_{11}|^2 - |S_{22}|^2 + |\Delta S|^2}{2|S_{12}S_{21}|} \geq 1. \quad (6)$$

Для більшості НВЧ транзисторів перші дві умови (6) завжди виконуються, тому про стійкість транзисторів можна судити по величині K_y , яку називають інваріантним коефіцієнтом стійкості. Якщо $K_y > 1$, то можливе двостороннє узгодження транзистора із опором W_0 . Якщо хоча б одна умова (6) не виконується, то транзистор потенційно стійкий, при цьому для забезпечення усталеності необхідно ретельно підбирати значення Z_G і Z_H .

Розробка структурних моделей польових транзисторів с бар'єром Шотки (ПТШ) почалася практично відразу ж після створення транзисторів. У цей час відома велика кількість подібних моделей, як лінійних, так і нелінійних. Значна частина моделей не є універсальними, тобто з достатньою точністю дозволяють визначити лише деякі, найбільш важливі параметри транзисторів. Цей підхід дозволяє істотно спростити використовувані моделі, а також методи їхньої оптимізації. Із цього погляду цікавою є модель Рута (Root), еквівалентна схема якої показана на рис. 3, що забезпечує найбільшу точність розрахунків. Ця модель, заснована на табличних даних, відрізняється від традиційних тим, що вона математично генерується безпосередньо з експериментальних даних без застосування процесів оптимізації. Звичайно ж підсилювальні

властивості польового транзистора на високих частотах досліджується за допомогою еквівалентної схеми, зображеної на рис. 4. Тут елементи схеми, обведені пунктиром, визначаються фізикою роботи транзистора, інші – недосконалістю технології і конструкції приладу. Для розрахунків параметрів НВЧ ПТШ на арсеніді галію нами використовується програма FETCAD, що дозволяє на основі фізико-топологічних параметрів одержати вихідні параметри транзистора. Програма добре зарекомендувала себе при розробці НВЧ малошумлячих транзисторів частотного діапазону $1\div 18$ ГГц із довжиною затвора $0,5\div 0,8$ мкм, дозволяючи з достатньою точністю розраховувати НВЧ параметри приладів. Вона ж дає можливість розраховувати і S -параметри транзисторів. В ході експериментальних робіт були проведені вимірювання НВЧ параметрів, у тому числі S -параметрів транзисторів. Виявилось, розрахункові параметри не повністю узгоджуються з експериментальними, причому з ростом частоти вимірювання розбіжність збільшується. При більш детальному аналізі було з'ясовано, що модель, закладена в FETCAD, коректно працює і видає правдоподібні результати лише при відношенні глибини каналу до довжини затвора $1/4$ («довгий» канал). А у серійних НВЧ транзисторів це відношення становить приблизно $1/2$ при довжині затвора $0,25\text{--}0,3$ мкм. Відновлення параметрів еквівалентної схеми для НВЧ транзисторів, що виготовляють за новою технологією, проводилося за результатами вимірювань S -параметрів серійних приладів з різною шириною затвора. За вимірними значеннями складені частотні залежності S -параметрів від ширини затвора (рис. 5 та 6). Це дало можливість відновлювати параметри еквівалентних схем транзисторів з різною шириною затвора до запуску приладу у виробництво, тобто відновлювати параметри структурної моделі приладу шляхом її оптимізації по параметрах безструктурної моделі, отриманої шляхом екстраполяції вимірних параметрів серійних приладів. Такий підхід цілком обґрунтований, тому що серійні прилади виготовляються за єдиною технологією. Таким чином, випробуваний інженерний метод моделювання НВЧ транзисторів, що дозволяє досить швидко одержати структурну модель проектного приладу на основі безструктурних моделей серійних транзисторів. Необхідно відзначити, що даний метод працює тільки для конкретної технології виготовлення НВЧ транзисторів і прив'язаний до конкретної конструкції приладу, що обмежує його корисність для науково-дослідних робіт, однак цілком достатній для умов серійного виробництва.

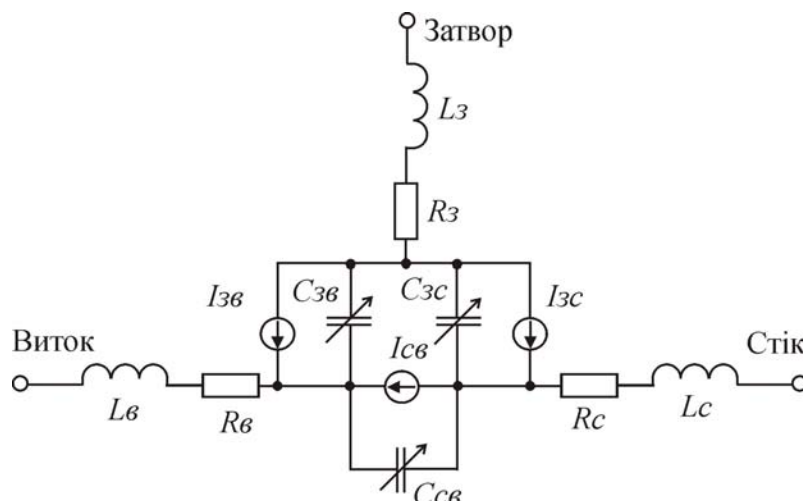


Рис. 3. Еквівалентна схема моделі Рута

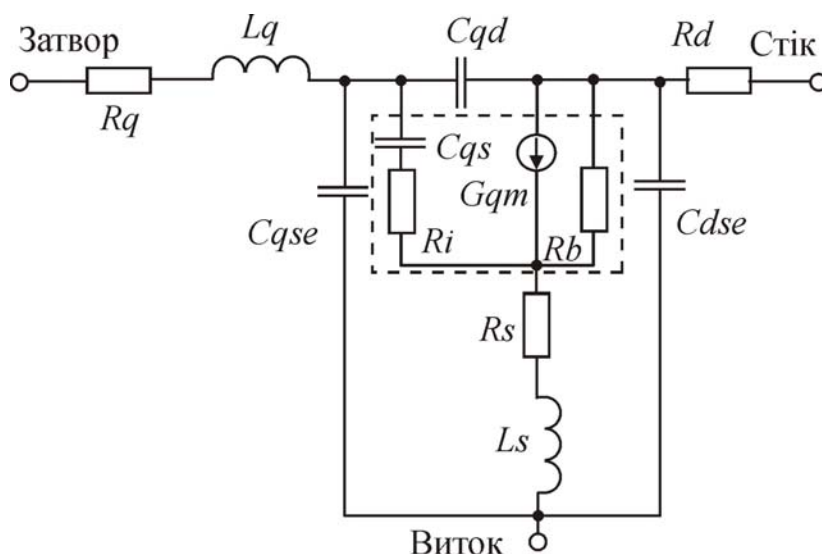
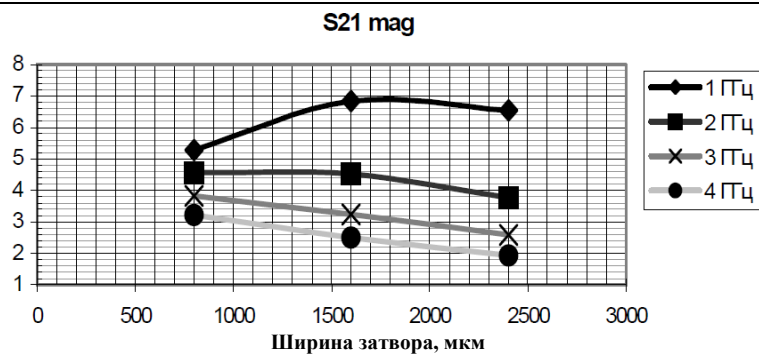
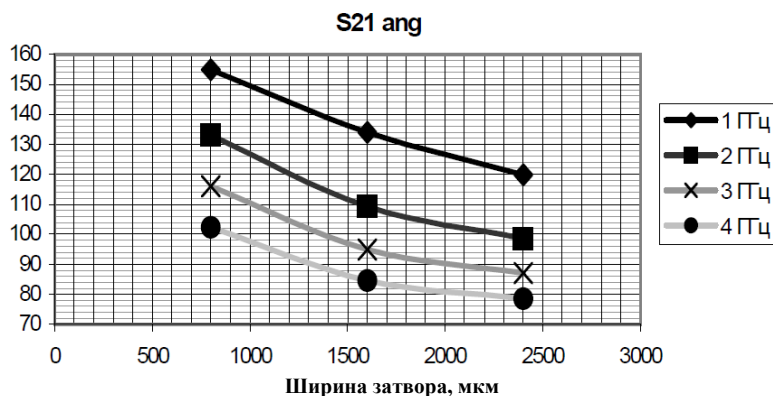


Рис. 4. Еквівалентна схема НВЧ ПТШ: Lq – індуктивність виводу затвора; Cqd – ємність затвор-стік; Rd – опір стоку; Cqs – ємність затвор – виток; Cds – ємність стік-виток; Rs – опір витоку; Ls – індуктивність виводу витоку; Rq – опір затвора; Ri – опір затвор – виток

Рис. 5 – Частотна залежність параметра $S_{21} \text{ mag}$ від ширини затвораРис. 6 – Частотна залежність параметра $S_{21} \text{ ang}$ від ширини затвора

Проведемо моделювання компонентів МШП, які передбачається використовувати в структурі приймача НВЧ. Проаналізуємо МШП фірми Hewlett Packard. Транзистор ATF – 36077 має високий коефіцієнтом підсилення і призначений для побудови малошумлячих підсилювачів (МШП) в діапазоні 1-18 ГГц. У документації приводяться наступні дані: параметри розсіяння і шумові параметри в діапазоні 1-18 ГГц в робочому режимі при одному значенні зміщення і параметри розсіяння в діапазоні 11-13 ГГц для випадку напруги на затворі нижче за напругу відсічення. Ці дані можна використовувати в процесі проектування. Так як S – параметри приведені для одного значення зміщення, рекомендованого виробником, то будемо малосигнальну модель. Така модель виявиться корисною для розробки МШП і підсилювачів малих сигналів, де ймовірність попадання на вхід великого сигналу (проявлення нелінійних ефектів в підсилювачі) досить низька. На рис. 7 використано наступні позначення: C_{ql} – ємність виводу затвора; L_{ql} – індуктивність виводу затвора; C_{qm} – ємність металізації області затвора; L_{qm} – індуктивність металізації області затвора; R_q – опір затвора; R_i – опір затвор – витік; C_{gs} – ємність затвор – виток; R_s – опір витоку; L_s – індуктивність виводу витоку; C_{qd} – ємність затвор-стік; G_{gm} – вихідна провідність; R_{ds} – опір каналу стік-витік; C_{ds} – ємність стік-витік; R_d – опір стоку; L_{dm} – індуктивність металізації області стоку; C_{dm} – ємність металізації області стоку; L_{dl} – індуктивність виводу стоку; C_{dl} – ємність виводу стоку.

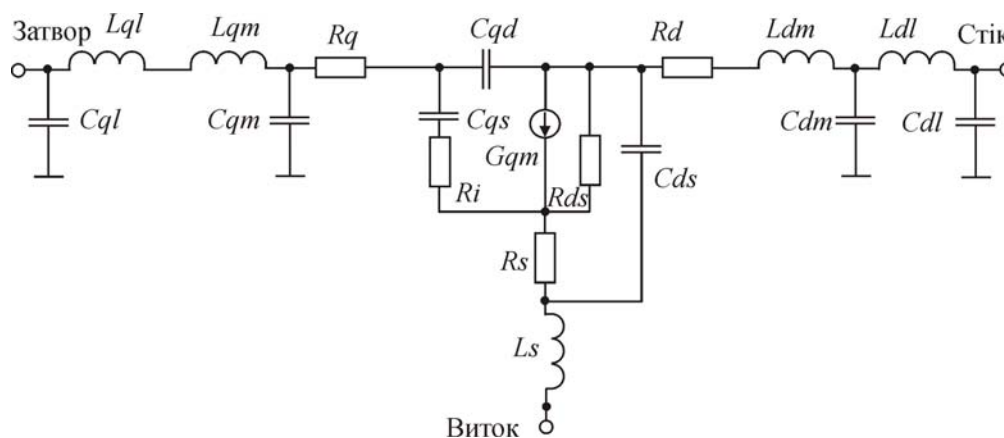


Рис. 7. Еквівалентна схема мало сигнальної моделі мало сигнальної моделі МШП

Використаємо лише результати вимірювання транзистора в робочому режимі.

Спочатку визначаються ємності входу (складається із C_{qs} , C_{ql} , C_{gm}), виходу (складається із C_{ds} , C_{dl} , C_{dm}) та прохідної (C_{qd}). Результати машинного розрахунку цих ємностей в діапазоні 5 – 11 ГГц приведені в таблиці 1.

Результати розрахунку ємностей

Свх, пФ	0,07 – 0,47
Свих, пФ	0,05 – 0,21
Спр, пФ	0,007 – 0,060

Згодом можна визначити значення індуктивності металізації і ємність між металізацією контактних поверхонь затвору і стоку і підкладкою шляхом електромагнітного моделювання. Це найбільш простий спосіб визначення параметрів реактивностей, що вносяться металізацією. Початкові значення елементів Cqs і Rds з успіхом визначаються із результатів вимірювань по постійному струму. Початкові значення індуктивностей виводів Lql і Ldl можна знайти із розгляду конструкції корпусу, прикидаючи, що на 1 мм довжини приходить 1 нГн індуктивності. Звичайно необхідно враховувати, що пайка виконується на деякій відстані від корпусу, хоча досить близько 0.5 – 1 мм. Індуктивність виводів витоків Ls можна прийняти рівною десятій частині від індуктивностей виводів затвору чи стоку. Визначення значень опорів Rq , Ri , Rs , Rd – задача, яка не завжди має одне рішення. В даному випадку використовувалися значення опорів типові для малощумлячих транзисторів з високою рухливістю електронів.

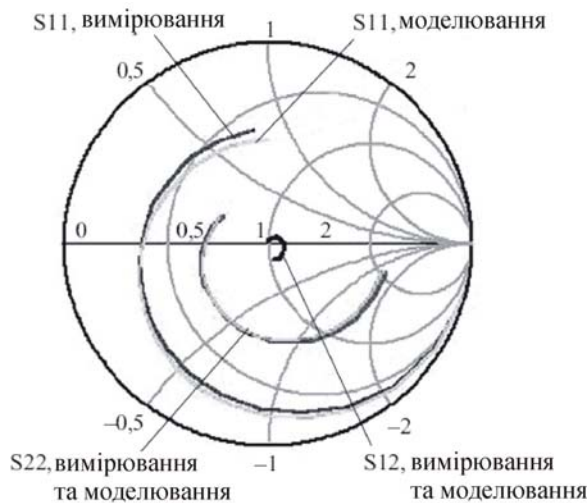


Рис. 8 – Результати вимірювання та моделювання параметрів $S11$, $S12$, $S22$ корпусного транзистора ATF – 36077 в діапазоні частот 1 – 18 ГГц

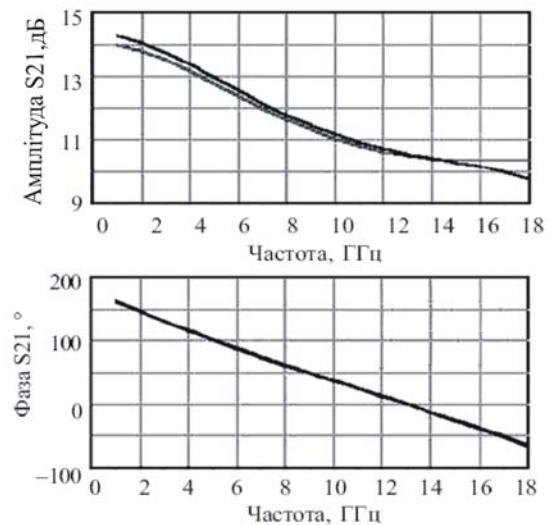


Рис. 9 – Результати вимірювання та моделювання параметра $S21$ корпусного транзистора ATF – 36077

Після визначення всіх початкових значень здійснюється оптимізація з метою отримання мінімального відхилення між даними вимірювань та моделюванням. Результуючі криві показані на рисунку 8 та 9. Про відхилення результатів моделювання від вимірних результатів можна робити висновок згідно рис. 10.

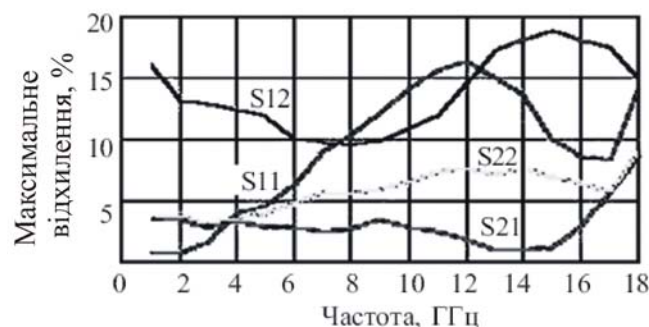


Рис. 10. Максимальне відносне відхилення результатів моделювання від вимірних результатів

Представлена методика визначення параметрів має наступні переваги: вимагає мінімальну кількість даних, необхідних для її побудови; достатня адекватність отриманої моделі; порівняльна простота.

Висновки

- підвищення чутливості і зменшення коефіцієнта шуму приймальних систем ВЧ забезпечується застосуванням в схемах приймачів малощумлячих підсилювачів;
- транзисторні підсилювачі на відміну від підсилювачів на напівпровідникових параметричних і

тунельних діодах є не регенеративними, тому забезпечити їх стійку роботу значно простіше;

- МШП повинен забезпечувати рівномірне посилення в усьому робочому діапазоні з нерівномірністю амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) ± 1 дБ і мати лінійну фазочастотну характеристику (ФЧХ);

- моделювання компонентів МШП дозволяє проводити процес вимірювання НВЧ параметрів, у тому числі S -параметрів транзисторів, та дозволяє досить швидко одержати структурну модель проєктованого приладу на основі безструктурних моделей серійних транзисторів

Література

1. Руденко В. М. Малошумящие входные цепи СВЧ приемных устройств / В. М. Руденко, Д.Б. Халяпин. – М. Техника, 1971. – 280с.
2. Силаев М.А. Модели СВЧ - транзисторов и диодов для САПР. Анализ и проектирование СВЧ - устройств на IBM – совместимых персональных компьютерах. - М. : ВАТ «НИЭМИ», 2003. - 113 с.
3. Бойко Ю.М. Концептуальні особливості реалізації безпроводних сенсорних мереж /Ю.М. Бойко, В.В. Мішан // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький. – Технічні науки. – Хмельницький, 2010. – №2. – С. 14-18.

Надійшла 9.1.2011 р.

УДК 620.1.08

В.П. ПАСІЧНИК, О.І. ПОЛІКАРОВСЬКИХ
Хмельницький національний університет

АНАЛІЗ МЕТОДІВ КОНТРОЛЮ МАТЕРІАЛІВ В УЛЬТРАЗВУКОВІЙ ДЕФЕКТОСКОПІЇ

В роботі проаналізовано основні методи ультразвукової дефектоскопії, показано розрахунок основних інформативних параметрів, наведено схеми практичної реалізації методів та визначено основні переваги та недоліки цих методів.

The basic methods of ultrasonic defectoscopy are in-process analysed, the calculation of basic informing parameters is rotined, the charts of practical realization of methods and certainly basic advantages and lacks of these methods are resulted.

Ключові слова: ультразвук, ехо-метод, ЗТМ, дефектоскопія, дефект, п'єзоелектричний перетворювач, зондуєчий імпульс, донний сигнал, поздовжня і поперечна хвиля.

Вступ

Постійний розвиток промисловості, вдосконалення технологій та засобів виробництва зумовлює необхідність виробництва матеріалів з високими показниками якості. Використання методів контролю потребує вдосконалення процесу вимірювання та підвищення точності контролю.

Метою статті є аналіз існуючих видів ультразвукового контролю в дефектоскопії. В основі ультразвукової дефектоскопії лежить явище вторинного випромінювання, яке виникає при зустрічі падаючої хвилі з неоднорідностями у досліджуваному матеріалі. Серед методів дослідження розрізняють ехо-метод, дзеркальний, дзеркально-тінювий, тінювий і дельта-метод.

Основний розділ

Ехо-метод базується на випромінюванні в контрольований виріб коротких зондуєчих імпульсів і реєстрації ехо-сигналу, відбитого від дефекту. Для отримання інформації про виявлений дефект вимірюють його основні характеристики: макс. амплітуда U ехо-сигналу (еквівалентна площа S_e), координати розташування дефекту, умовні розміри, орієнтація в просторі та форма дефекту.

Амплітуда ехо-сигналу визначається розмірами, орієнтацією, конфігурацією і шорсткістю відбиваючої поверхні, глибиною залягання дефекту. Для приблизної оцінки амплітуди ехо-сигналу від реальних дефектів останні замінюються еквівалентними моделями у вигляді відбивачів правильної геометричної форми. В дефектоскопії використовуються як прямі (рис. 1), так і похилі шукачі (перетворювачі), тому доцільно навести вирази для них окремо. Розрахунок амплітуди вторинного випромінювання (відбитого від дефекту сигналу) прямим шукачем [4]:

$$U = U_0 D_{1l} S_a \left(A b^y / \lambda_t^z \right) (1/r) (1/r^q) e^{-2\delta_1 r}$$

розрахунок амплітуди вторинного випромінювання похилим шукачем [4]:

$$U = U_0 D_{1l} (\beta) \left(S_a \cos a_0 / \cos \beta \right) \left(A b^y / \lambda_t^z \right) \left[1/(r + \Delta r) \right] \left[1/(r + \Delta r)^q \right] e^{-2 \left(\begin{matrix} \delta_1 & tr + \delta_1 r_1 \\ 1 & \end{matrix} \right)}$$

де U_0 – амплітуда зондуєчого імпульсу; D_{1l}, D_{lt} – коефіцієнти прозорості межі шукач-метал; S_a –

площа п'єзоелектричного перетворювача; b – розмір відбивача (моделі дефекту); α_0 – кут нахилу акустичної осі; λ_l, λ_t – довжина повздовжньої і поперечної хвилі відповідно; r – відстань ультразвуку в металі від шукача до відбивача (дефекту); δ_l, δ_t – коефіцієнти затухання повздовжньої і поперечної хвилі в контрольованому матеріалі відповідно; δ_l – коефіцієнти затухання повздовжньої хвилі в матеріалі призми похилого шукача; r_1 – середній шлях ультразвуку в призмі похилого шукача; Δr – приведений шлях ультразвуку в призмі похилого шукача. Для визначення глибини залягання дефекту ехо-методом використовують вираз: $h = c_l(t - t_n)/2$ – при прямому шукачі і $h = c_l(t - t_n)\cos \alpha/2$ – при похилому [2]. Для визначення відстані L між точкою вводу ультразвукових коливань та проекцією дефекту на поверхню сканування використовують співвідношення [2]: $L = (c_l t \sin \alpha)/2$. В наведених формулах t – час з моменту випромінювання зонduючого імпульсу до моменту приходження ехо-сигналу на пластину; t_n – час проходження ультразвуку через протектор у прямому і затримка ультразвуку у призмі відповідно; c – швидкість розповсюдження ультразвукових коливань в матеріалі.

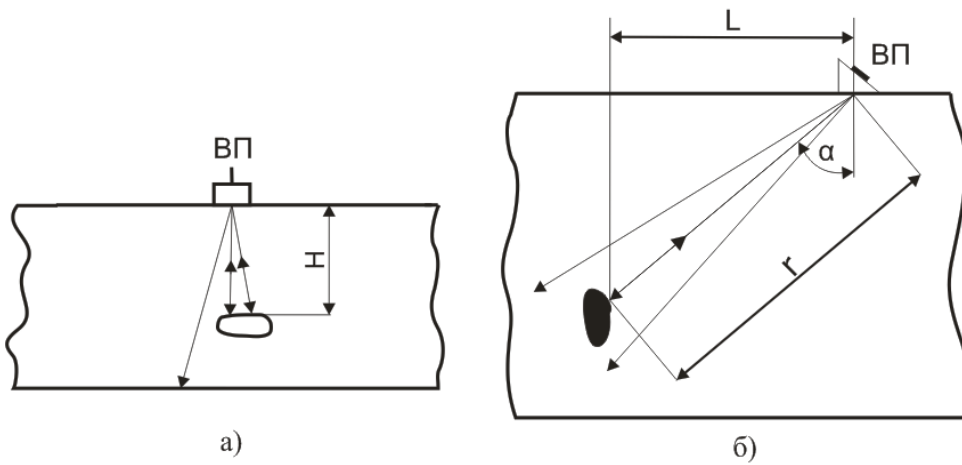


Рис. 1. Реалізація ехо-методу прямим (а), і похилим (б) перетворювачами [1].

Переваги ехо-методу: односторонній доступ до виробу; відносно велика чутливість до внутрішніх дефектів; висока точність визначення координат дефектів.

Недоліки: низька завадостійкість до поверхневих відбивачів; різка залежність амплітуди ехо-сигналу від орієнтації об'єкту; неможливість контролю якості акустичного контакту в процесі переміщення п'єзоелектричних перетворювачів (ПЕП). Відмітною особливістю методу являється реєстрація та аналіз практично усіх сигналів, що приходять після зонduючих імпульсів.

У тіньовому методі для знаходження дефекту використовуються два перетворювачі. Кількісна оцінка вияву дефекту при тіньовому методі визначається відношенням електричних сигналів, що характеризує ослаблення дефектом амплітуди U_n наскрізного сигналу, що пройшов від випромінювача до приймача [1] (рис. 2): U_d – амплітуда сигналу за наявності дефекту. Враховуючи пропорційність електричних і акустичних сигналів, маємо [1]: $U_d/U_n = |p_d/p_n| = p_d/p_n$, зазначене відношення амплітуд лежить в межах від 0 до 1.

Розрахунок акустичного тракту при контролі тіньовим методом зводиться до аналізу ослаблення амплітуди наскрізного сигналу. Наскрізний сигнал p_0 за відсутності дефекту визначається з наступного виразу:

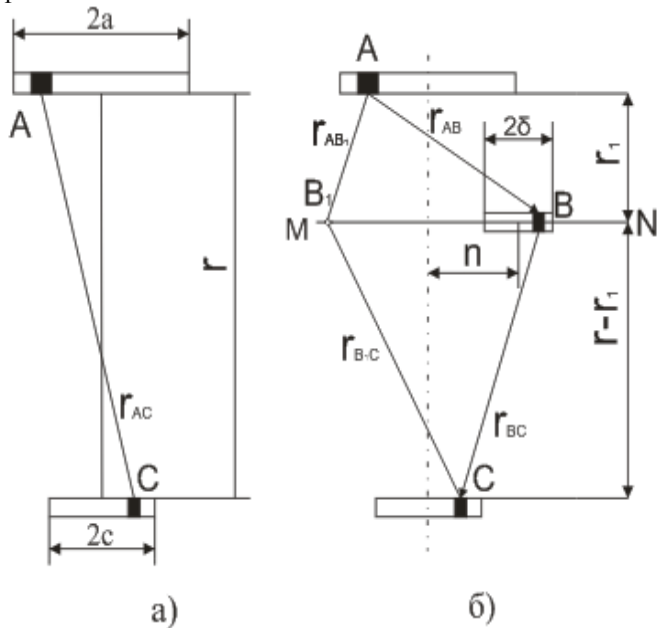


Рис. 2 Реалізація тіньового методу: а – без дефекту, б – з дефектом [1]

$$p_n = \frac{jp_0}{S_c} \int_{S_c} I(a, C) dS_c,$$

де $I(a, C)$ визначає поле випромінювача діаметром $2a$ в точці C приймача [1]. Сигнал, що приймається за наявності об'єкта вираховується наступним чином: визначається тиск в площині дефекту MN , усі точки B площини MN , що не лежать поза дефектом розглядаються як вторинні джерела випромінювання і визначається сумарний сигнал від них до приймача. Для визначення p_d виконується інтегрування по нескінченній площині MN за вирахуванням площі дефекту [1]:

$$P_d = |p_d| = |p_n - p''| = \left| p_n - \frac{p_0}{S_c} \int_{S_b} I(a, B) I'(B, C) ds_b \right|.$$

Тіньовий метод має високу завадостійкість і слабку залежність амплітуди від кута орієнтації дефекту. Недоліком методу являється двосторонній доступ до контрольованого матеріалу; необхідність співвісного розташування перетворювачів; низька чутливість при контролі виробів середньої та великої товщини; відсутність інформації про місцезнаходження дефекту.

Зеркальний метод реалізується при прозвучуванні виробу двома ПЕП, які розміщені таким чином, щоб приймати одним ПЕП сигнал, випромінений іншим ПЕП. Сигнал, відбитий від протилежної сторони виробу і від площини дефекту поступає на приймальну пластину. Особливістю цього методу являється постійність суми [3]:

$$x_1 + x_2 = H \tan \alpha = const.$$

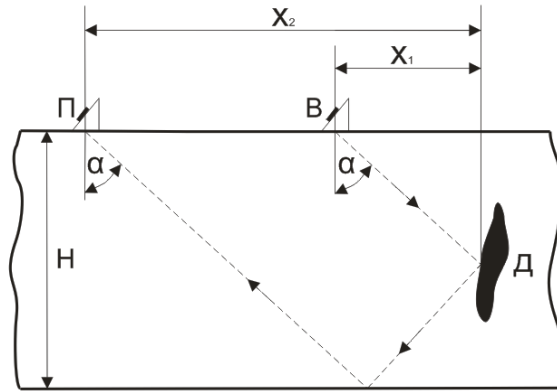


Рис. 3 Зеркальний метод контролю [2].

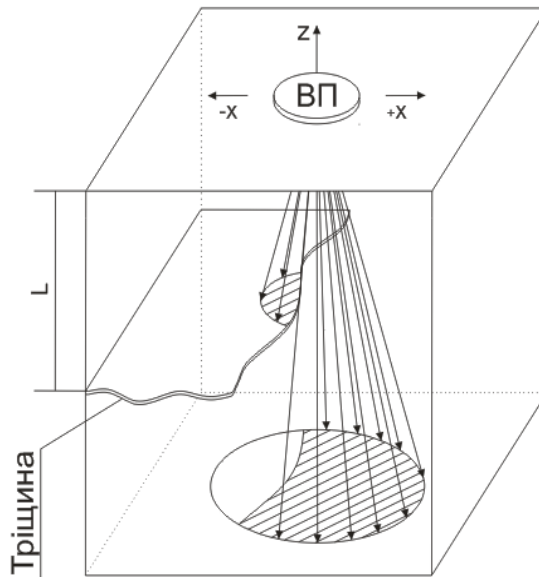


Рис. 4 ЗТМ, озвучування боковою частиною пучка [4].

Відстань між перетворювачами обирається з умови найкращого прозвучування зони імовірного дефекту, при її зміні можна прозвучувати всю товщину виробу [3]. В основному дзеркальний метод доцільно використовувати в поєднанні з ехо-методом, який не має можливості сканування дефектів, розташованих перпендикулярно до поверхні сканування.

В дзеркально-тіньовому методі (ЗТМ) ознакою знаходження дефекту служить ослаблення

амплітуди сигналу, відбитого від протилежної (донної) поверхні. Ослаблення донного імпульсу оцінюється коефіцієнтом ослаблення $K_c = U_d/U_o$, де U_o – амплітуда донного імпульсу за відсутності дефекту, U_d – амплітуда донного імпульсу при розташуванні дефекту в зоні ультразвукового пучка. Кількісно знаходження дефектів оцінюється коефіцієнтом K_d , який характеризує ослаблення донного імпульсу. В ЗТМ також можливе виявлення тріщин озвучуванням боковою частиною ультразвукового пучка. Коли відстань X від краю дефекту до осі променя буде [4]: $|X_0| \approx \text{tg}\varphi_p$ (φ_p – половина кута розкриття основної пелюстки діаграми спрямованості, найчастіше 4^0 - 7^0) донний імпульс починає зменшуватись. При $X_0 = 0$ коефіцієнт вияву цього дефекту $K_d = 0,5$, і коли дефект повністю перекриє промінь $X \geq 2|X_0|$, то $K_d = 0$.

Враховуючи [4]: $\text{tg}\varphi_p = \varphi_p$, так як $\varphi_p < 9^0$ і $\varphi_p \approx 0,61 \lambda / a \approx 0,61 (c_{l_2} / af)$, отримаємо: $|X_0| \approx 0,61 c_{l_2} (l/af)$. Чутливість способу контролю по другому донному імпульсу до дефектів, що виявляються боковою частиною ультразвукового пучка, більше чутливості способу контролю по першому донному сигналу. ЗТМ являється одним із основних методів дефектоскопії, використовуваних для знаходження дефектів у вигляді вертикальних розшарувань. Недоліком методу є контроль лише плоскопаралельних об'єктів.

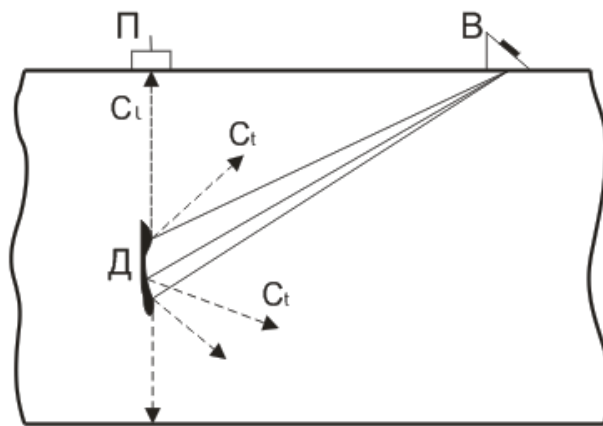


Рис. 6. Реалізація дельта методу [2].

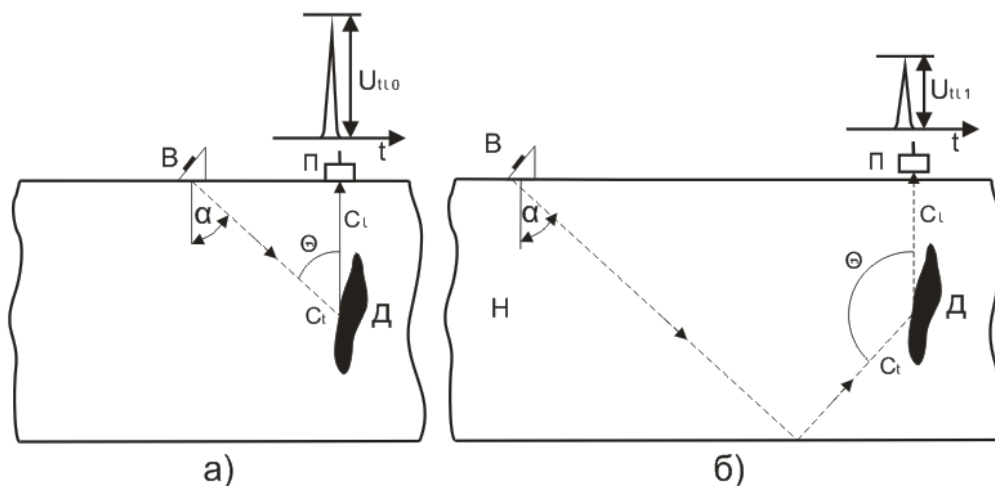


Рис. 7. Процедура реалізації дельта методу при вимірюваннях амплітуд дифрагованої хвилі для розпізнавання дефекту, а – під прямим кутом, б – однократно відбитим променем [2].

Дельта-метод використовує явище дифракції хвиль на дефекті. Частина падаючого на площину дефекту ультразвукового пучка дзеркально відбивається від об'єкту у вигляді поперечної хвилі c_t , частина падаючої енергії пучка дзеркально відбивається, інша частина дифрагує (розсіюється) у вигляді поперечної хвилі чи трансформується в вигляді повздовжньої хвилі c_l . Прямий ПЕП приймає повздовжню хвилю над дефектом. Ознакою наявності дефекту є поява ехо-імпульсу U_{ll} . Амплітуда U_{ll} сигналу дифрагованої хвилі в основному залежить від кута Θ між напрямком падаючої на площину дефекту поперечної хвилі c_t і напрямком прийнятої повздовжньої хвилі c_l . Для розпізнавання конфігурації необхідним являється

прозвучування під кутом до поверхні виробу площини дефекту. При прозвучуванні під прямим кутом [2] $\Theta = \alpha$, а однократно відбитим променем $\Theta = 180^\circ - \alpha$. Вимірюючи максимальні амплітуди сигналів дифрагованої хвилі при озвучуванні прямим U_{i0} і однократно відбитим U_{i1} променями по їх співвідношенню [2]: $\chi = U_{i1}/U_{i0}$ можна в деякій мірі визначати такі типи дефектів: площинні (тріщини), округлі (пори, шлаки), напівплоскісні (пори з тріщинами). Найбільш ефективно дифракція виникає на гострих краях, де сигнали, що приймаються відповідають геометрооптичному віддзеркаленню від дефектів, імпульсів дифрагованих хвиль, можуть представляти собою фіктивні сигнали чи внаслідок неоптимального їх випромінювання і прийому мають порівняно малі амплітуди і не можуть бути детектовані. В зв'язку з складним процесом вимірювання метод використовують лише в експериментальних цілях.

Висновок. В результаті проведеного аналізу методів ультразвукової дефектоскопії виявлено, що найдоцільнішим є використання ехо-методу та ЗТМ, в основному за рахунок високої інформативності сигналу, метрологічних характеристик та високої точності виявлених дефектів. Найкращим варіантом оптимізації цих методів є використання нових типів ПЕП з різними кутами нахилу вводу ультразвукових колив та покращеними технічними параметрами, такими як ширина діаграми спрямованості, параметри мертвої зони, чутливість.

Література

1. Ермолов И. Н. Неразрушающий контроль: в 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля : [практическое пособие] / Алешин Н.П., Потапов А.И. ; под ред. Сухорукова В.В. – М. : Высш. шк., 1991. – 283с.: ил.
2. Марков А.А. Ультразвуковая дефектоскопия рельсов / А.А. Марков, Д.А. Шпагин. – СПб. : "Образование – Культура", 1999. – 230с.
3. Кретов Е.Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в энергомашиностроении: [учеб. пособие] / Е.Ф. Кретов – СПб., 1995. – 327 с.
4. Неразрушающий контроль рельсов при их эксплуатации и ремонте / [Гурвич А.К., Довнар Б.П., Козлов В.Б., Круг Г.А., Кузьмина Л.И., Матвеев А.Н.] ; под ред. Гурвича А. К. – М. : Транспорт, 1983. – 318 с.
5. Ермолов И.Н. Неразрушающий контроль: справочник: в 7 т. – том 3 : ультразвуковой контроль / И.Н. Ермолов, Ю.В. Ланге; Под общ. ред. Клюева В.В. – М. : машиностроение, 2004. – 864с.: ил.

Надійшла 17.1.2011 р.

УДК 621.396.963

О.В. МАЗУРЕНКО, О.К. ЯНОВИЦЬКИЙ, К.Л. ГОРЯЩЕНКО
Хмельницький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БОРТОВОЇ РАДІОЛОКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

У статті розглядається метод підвищення ефективності придушення запиту бічними пелюстками систем управління повітряним рухом, який полягає у використанні двоступеневого рівня придушення. Описується структурна схема цифрового пристрою придушення.

In the article was discussed the method of increasing efficiency of query suppression, which are generated by the sidelobes of the air traffic control system. This method based on the use of two-level of suppression. Structure of digital suppression device was described.

Ключові слова: бічні пелюстки, двоступеневий рівень придушення.

Вступ

В даний час у зв'язку із зростаючою щільністю руху апаратів, що літають, а також застосуванням автоматизованих систем управління повітряним рухом стає вельми актуальним питання зниження вірогідності помилкового запиту відповідачів управління повітряним рухом (УПР).

У сучасних системах УПР придушення помилкового запиту здійснюється завдяки спільній роботі як наземних, так і бортових пристроїв [5].

Основна частина

Відомо, що діаграма спрямованості антени РЛС в горизонтальній площині має бічні пелюстки [1]. Не дивлячись на те, що бічні пелюстки мають меншу потужність випромінювання, проте, бортова система може приймати сигнал і від бічних пелюсток. Як результат – видавати сигнал-відповідь. Така поведінка систем створює складнощі в ідентифікації робочої ситуації на екрані РЛС.

Для придушення запиту від бічних пелюсток використовується відмінність енергетичних рівнів випромінювання головного і бічних пелюсток наземних РЛС [5].

До двох імпульсів запитальної коди P_1 і P_3 (див. рис. 1) випромінюваних направленою антеною, додається третій імпульс P_2 (імпульс придушення), що випромінюється окремою всебічно направленою

антенною (антенною придушення). Таким чином, в просторі виникає наступна ситуація. Якщо літальний об'єкт знаходиться в напрямі на головну пелюстку, тоді третій імпульс P_2 значно менший, що указує на нормальну умову. При отриманні сигналу від бічної пелюстки, рівні сигналів P_1, P_3 порівнянні з P_2 , а отже сигнал є помилковим і підлягає ігноруванню.

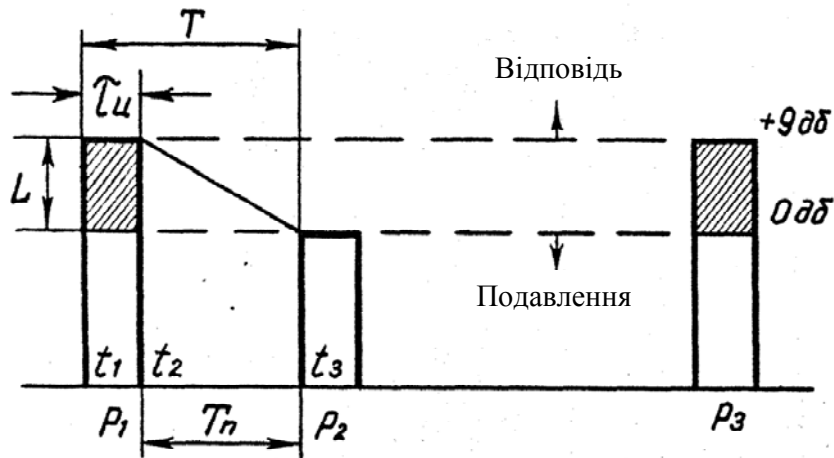


Рис. 1. Принцип передачі тріімпульсного сигналу

Імпульс придушення за часом відстає на $2 \pm 0,15$ мкс від первинного імпульсу запитальної коди. У бортовому пристрої проводиться порівняння амплітуд імпульсів коди P_1, P_3 і імпульсу придушення P_2 . Відповідь проводиться тільки тоді, коли рівень P_1, P_3 більше P_2 (рівня придушення).

Слід зазначити, що зона дії системи УПР розділена енергетичним рівнем сигналу придушення на зону потенційної можливості помилкового запиту, тобто зону в якій можливий помилковий запит і зону відсутності помилкового запиту - зону упевненого запиту. Оскільки енергетичний рівень сигналу придушення підбирається свідомо більше рівня сигналів випромінюваних бічними пелюстками, важливо здійснити правильний його вибір, що неможливе без аналізу точнісних характеристик пристрою придушення відповідачів.

У пристроях придушення сучасних відповідачів використовуються схеми амплітудного порівняння на транзисторах з накопичувальною ємкістю в ланцюзі емітера [2].

У таких пристроях рівень придушення формується шляхом розряду з однаковим струмом накопичувальної ємкості до приходу імпульсу придушення.

На рис. 3 приведена схема амплітудного порівняння. Нестабільність рівня придушення складається з непостійності струму розряду накопичувальної ємкості δ_c і зміни тимчасових інтервалів вхідних сигналів δ_t .

Термостабілізація струму розряду накопичувальної ємкості дозволяє обмежити першу складову - нестабільність рівня придушення в межах декількох відсотків.

Основною погіршенню бортових пристроїв придушення є залежність рівня придушення від зміни тимчасових інтервалів вхідних сигналів в межах $2 \pm 0,15$ мкс і тривалість PI-імпульса в інтервалі $0,9 \pm 0,1$ мкс (вимоги ГОСТу [2, 3]), тобто загальної зміни тимчасових інтервалів в діапазоні $(0,15 + 0,1) \cdot 2 = 0,5$ мкс.

Враховуючи вимоги державного стандарту [3] до параметрів придушення систем УПР, а також зважаючи на лінійність логарифмічної характеристики приймального тракту відповідача, нестабільність рівня придушення ΔL від зміни тимчасових інтервалів вхідних сигналів рівна:

$$\Delta L = L_n \cdot K \tag{1}$$

де K – відносний коефіцієнт розлагодження тимчасових інтервалів:

$$K = \frac{t_2 - t_1}{t_2};$$

t_1, t_2 – граничні значення тимчасових інтервалів: $t_1 = 0,95, t_2 = 1,45$ (див. рис. 3);

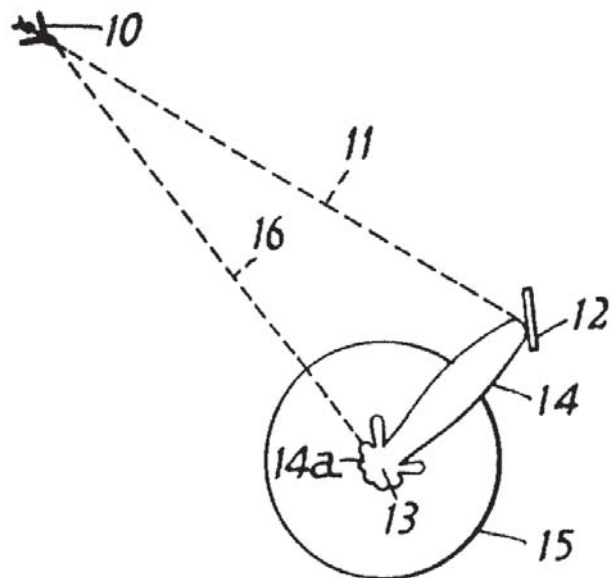


Рис. 2. Принцип взаємодії з тріімпульсною системою в умовах відбитого сигналу. Тут (умовні позначення на малюнку відповідають патенту [5]): 10 - літак, 11 - відбитий шлях, 12 - відзеркалювальна поверхня, 13 - направлена наземна станція, 14 - діаграма спрямованості, 15 - рівнонаправлення діаграма контрольного випромінювання, 16 - прямий шлях

L_n – заданий рівень придушення 9 дБ, тоді $\Delta L = 3,1$ дБ.

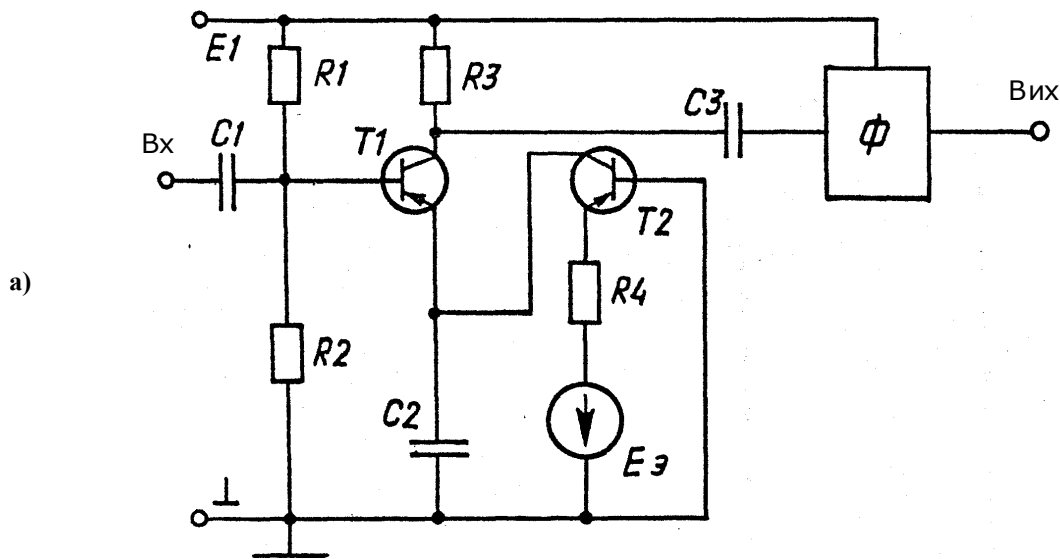


Рис. 3. Вхідні ланцюги пристроїв придушення сучасних відповідачів – схема амплітудного порівняння

Таким чином, рівень сигналу придушення, з урахуванням дестабілізуючих чинників, необхідно збільшувати на 3,1 дБ, при цьому не враховувався нелінійний характер рівня придушення.

Відомо з основного рівняння радіолокації [8], що при активній відповіді (сигнал від відповідача радіолокації) дальність D до відповідача визначається виразом:

$$D = \sqrt{\frac{P_{\text{вип}} \cdot G_{\text{вип}} \cdot G_{\text{пр}} \cdot \lambda_3^2}{(4\pi)^2 \cdot P_{\text{пр}}}}$$

де $P_{\text{вип}}$ – потужність передавача запитувача;

$G_{\text{вип}}$, $G_{\text{пр}}$ – коефіцієнти спрямованості антен передавача і приймача каналу запиту;

$P_{\text{пр}}$ – потужність в точці прийому, відповідна чутливості відповідача;

λ_3 – довжина хвилі.

Тоді відносна зміна зони упевненого запиту рівна:

$$\frac{D_M}{D_n} = \frac{\sqrt{\frac{P_{\text{вип.м}} \cdot G_{\text{вип}} \cdot G_{\text{пр}} \cdot \lambda_3^2}{(4\pi)^2 \cdot P_{\text{пр}}}}}{\sqrt{\frac{P_{\text{вип.н}} \cdot G_{\text{вип}} \cdot G_{\text{пр}} \cdot \lambda_3^2}{(4\pi)^2 \cdot P_{\text{пр}}}}} = \frac{\sqrt{P_{\text{вип.м}}}}{\sqrt{P_{\text{вип.н}}}} \quad (2)$$

де D_n , $P_{\text{вип.н}}$ – номінальне значення потужності передавача запитника і дальності прийому сигналу придушення;

D_M , $P_{\text{вип.м}}$ – максимальне значення потужності передавача запитника і дальності прийому сигналу придушення (з урахуванням збільшення рівня придушення відповідача).

Одним з напрямів по збільшенню ефективності придушення запиту бічними пелюстками систем УПР є застосування двоступінчатого рівня придушення. Електрична схема, що пояснює принцип роботи пристрою триімпульсного придушення використовуючи двоступінчатий рівень, приведені на рис. 4, а. Рис. 4, б - умовна функціональна схема, що пояснює принцип роботи.

Схема містить вхідний ланцюг з дільником на $R1$, $R3$; елемент порівняння на $VT1$; елемент аналогової пам'яті на $VT2$, $C4$; формувач імпульсів Φ ; ключ K з накопичувальною ємністю $C5$ і ланцюг розряду $VD1$.

Схема працює таким чином. З приходом імпульсу P_1 ємність $C3$ елементу порівняння заряджає до його амплітудного значення, ємність $C5$ елементу аналогової пам'яті до рівня придушення. Накопичувальна ємність $C5$ заряджає до напруги джерела $E3$ через ключ K , який замкнутий під час дії вихідного імпульсу формувача Φ .

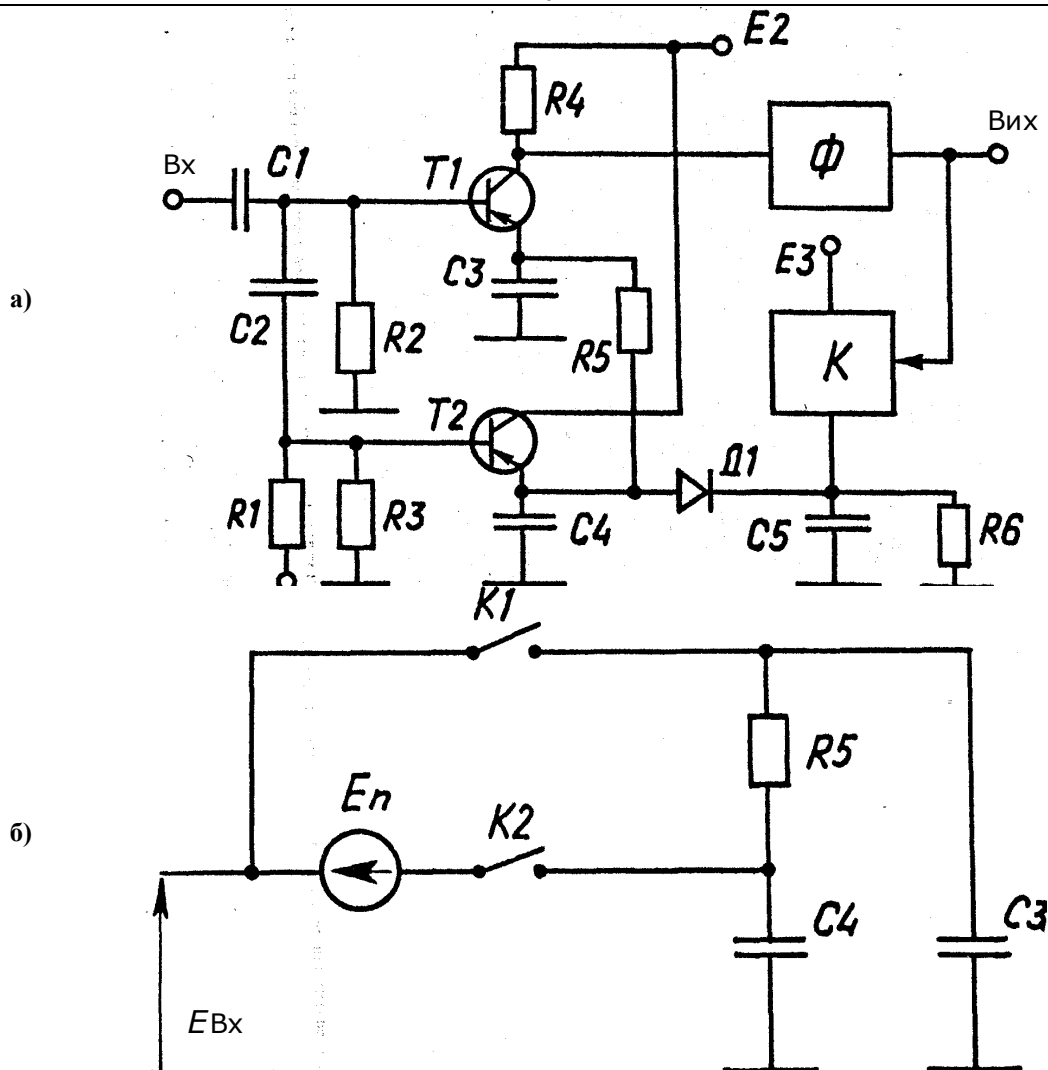


Рис. 4. Вхідні ланцюги пристроїв придушення сучасних відповідачів:
 а) схема амплітудного порівняння; б) схема трімппульсного придушення;
 в) функціональна схема трімппульсного придушення

Після проходження імпульсу P_1 коду запиту, напруга на ємкості C_3 знижується до рівня придушення на ємкості C_5 і залишається незмінним до приходу імпульсу придушення P_2 .

Після амплітудного порівняння імпульсу придушення P_2 напруга на накопичувальній ємкості C_5 знижується до рівня придушення, відкривається діод VD_1 і напруга на ємкостях C_3, C_4, C_5 знижується по експоненті до нуля.

Таким чином, застосування двоступінчатої схеми придушення дозволяє виключити залежність рівня придушення від вимірювання тимчасових інтервалів вхідних сигналів.

Очевидно, що виходячи з умов виразу (1) отримаємо:

$$10 \lg \frac{P_{\text{вип.м}}}{P_{\text{вип.н}}} = \Delta L = 3,1 \text{ дБ}, \quad \text{та} \quad P_{\text{вип.м}} = 2,04 \cdot P_{\text{вип.н}} \quad (3)$$

Отже, збільшення зони упевненого запиту за рахунок виключення нестабільності рівня придушення відповідача від зміни тимчасових інтервалів запитального сигналу з урахуванням виразів (2) і (3) складають:

$$\Delta D = D_m - D_n = D_n \cdot \frac{\sqrt{P_{\text{вип.м}}} - \sqrt{P_{\text{вип.н}}}}{\sqrt{P_{\text{вип.н}}}} = 0,43 \cdot D_n.$$

Поліпшення зони в ідеальному випадку горизонтального рівня придушення сигналу від бічних пелюсток складе 43% від номінального значення. Оскільки аналогові пристрої мають значні відхилення параметрів при дії температури, яка приводить до істотних відхилень в роботі [4] і складає до 1,5 дБ по напрузі, що приводить до поліпшення зони не більше 20% від номінального значення.

Особливістю систем трімппульсної системи є відмінність рівнів сигналів P_1 і P_2 на 9 дБ. Згідно цієї вимоги, слідє необхідність в порівнянні саме в децибельній системі рівнів прийнятих сигналів.

Одним з можливих шляхів вирішення проблеми лежить у використанні сучасних аналогово-цифрових перетворювачів [7] спільно з мікропроцесорною обробкою отриманого результату.

Цифрова високошвидкісна елементна база здатна працювати в діапазоні $-40 \dots +60$ °C дозволяє

вирішити поставлену задачу із значно меншими витратами в досягненні повторюваності параметрів приймальної апаратури з одночасним досягненням високої надійності в необхідному діапазоні робочих температур.

Пропонується сучасна схема триімпульсного подавлення, яка має більш високий параметр по стабільності рівня виділення сигналу запиту порівняно з приведеною аналоговою схемою. Структурна схема запропонованого методу зображена на рис 4.

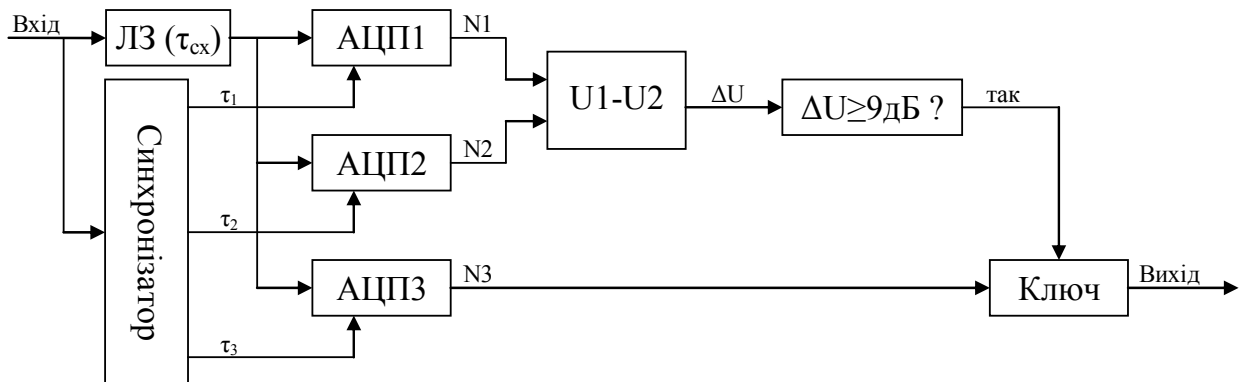


Рис. 4. Структурна схема цифрового пристрою подавлення запиту від бокових пелюсток діаграми направленості із диспетчерських вторинних радіолокаційних систем:

ЛЗ ($\tau_{сх}$) – лінія затримки корекції часу спрацювання синхронізатора; АЦП1, АЦП2, АЦП3 – аналогово-цифрові перетворювачі; "U1-U2" – вимірник різниці напруги сигналів P_1, P_2 ; " $\Delta U \geq 9$ дБ" – дискриміатор величини ΔU

На рис. 4. показана структурна схема пристрою для подавлення запиту від бокових пелюсток систем керування повітряного руху. Схема реалізована на базі цифрової обробки прийнятого сигналу. Мета розробки цифрової системи обробки сигналів систем керування повітряного руху має на меті виконання логарифмічної обробки різниці сигналу.

Пристрій складається з таких послідовних частин:

1. Синхронізатор. Представляє собою блок виділення сигналів P_1, P_2, P_3 у вхідному сигналі запиту від системи керування повітряного руху. Результатом спрацювання є формування трьох імпульсів τ_1 - τ_3 , що відповідають надходженню на вхід синхронізатора сигналу запиту.

2. Лінія затримки з часом затримки спрацювання синхронізатора $\tau_{сх}$. Призначений для коригування моменту надходження вхідного сигналу на аналогово-цифрові перетворювачі з моментом спрацювання синхронізатора.

3. АЦП1-АЦП3 призначено для перетворення вхідного сигналу у відповідний цифровий код. Синхронізатор формує тактові сигнали τ_1 - τ_3 , згідно яких відбувається ініціювання циклу перетворення та оновлення вихідного коду на виході АЦП до наступного циклу.

4. Диференціатор U1-U2 призначено для виконання операції вимірювання логарифмічного співвідношення між сигналом P_1 та P_2 . Оскільки схема працює з цифровими кодами, то і вихідний різницевої сигнал також є цифровим кодом.

5. Компаратор рівня ≥ 9 дБ порівнює отриманий результат з встановленим порогом придушення у 9 дБ. В разі виконання потрібного рівня співвідношення, формується сигнал дозволу, що відкриває ключ на проходження сигналу від АЦП3 на вихід для подальшої обробки.

Оскільки сигнали P_1, P_2, P_3 розділені часовими проміжками між собою, то в реальній системі можливе застосування одиничного АЦП для виконання операцій вимірювання. А використання елементів проміжного накопичення результатів роботи АЦП є достатніми для запису результатів у моменти τ_1, τ_2, τ_3 .

Принцип роботи пристрою полягає у наступному: з виходу логарифмічного підсилювача літакового відповідача сигнали P_1, P_2, P_3 поступають в синхронізатор. Синхронізатор з виходу τ_1 відкриває ключ К1 і напруга еквівалентна P_1 поступає на вхід АЦП1, де здійснюється перетворення у цифровий код та запам'ятовується. При надходженні сигналу P_2 через час τ_2 подається сигнал на ключ К2 і напруга еквівалентна P_2 поступає на вхід АЦП2, де запам'ятовується. У диференціаторі проводиться операція віднімання від U_1 значення U_2 де отримується сигнал ΔU , який подається на дискриміатор, де порівнюється його значення з рівнем сигналу $\log(P_1/P_2) \geq 9$ дБ при виконанні цієї умови подається сигнал "ТАК" на схему співпадіння "і". При приході імпульсу P_3 через час τ_3 включається ключ К3 через який приходять на АЦП3. Цей сигнал при присутності цих сигналів видається вихідний сигнал, який засвідчує прийом сигналів P_1, P_2, P_3 по основній пелюстці діаграми направленості і поступає у шифратор для подальшої обробки.

Цей пристрій має наступні переваги:

1. Виключена похибка девіації порогу спрацювання аналогової схеми, що була розглянута попередньо, що дає змогу збільшити відстані дії радіолокаційної системи на 20%.

2. Конструктивно, даний пристрій може бути виконано на однокристальній схемі, що покращує надійність роботи пристрою і зменшує трудомісткість його налаштування.

Недоліки схеми:

1. До недоліків слід віднести відносно більшу вартість пристрою до аналогового варіанту, що може бути компенсовано покращеною характеристикою радіолокаційної системи в цілому.

2. Вимагає більшої температурної стабілізації цифрових елементів, так як бортові системи працюють при зміні температур від -50 до +50 /градус Цельсія.

Висновки

1. Триімпульсна система, не дивлячись на те, що розроблена і використовується давно, продовжує залишатися однією з актуальних систем, яка дозволяє вирішити задачу визначення помилкових сигналів радарних запитів в реальному масштабі часу.

2. Розглянутий та представлений цифровий спосіб реалізації пристрою триімпульсного подавлення бокових пелюсток значно покращує технічні характеристики радіолокаційних систем ближньої навігації збільшення дальності дії на 20% відносно аналогових систем, збільшення ймовірності вірного прийому сигналів в реальному часі.

Література

1. Лавров А.С. Антенно-фидерные устройства / А.С. Лавров, Г.Б. Резников. – М.: Советское радио, 1974. – 368 с.

2. СО-69. Руководство по технической эксплуатации – 111.31.03. – М., 1976. – С. 77-79.

3. ГОСТ 21800-76. Системы вторичной радиолокации для управления воздушным движением. Общие технические требования. – М.: Изд-во стандартов, 1976.

4. Яновицький О.К. Метод підвищення стабільності триімпульсного подавлення в радіотехнічних системах управління повітряним рухом / О. К. Яновицький, С. О. Яновицький, М. Й. Жиган. – С. 243-250.

5. Пат. 3643256 Unites States Patent МПК G 01 S 9/56. Secondary radar system / Phillip Collinson Owen, England. – Feb. 15, 1972.

6. Системы вторичной радиолокации для управления воздушным движением. Методы измерений основных параметров: ГОСТ 25620-83. – [Действительный с 17.05.1983]. – М.: Изд-во стандартов. – 26 с.

7. Kester Walt. Analog-digital conversion / Analog Devices, Inc. – USA. – 1138 p. – ISBN 0-916550-27-3

8. Теоретические основы радиолокации : [учебное пособие для вузов] / [Под ред. Дулевича]. – М.: Советское радио, 1978.

Надійшла 25.1.2011 р.

УДК 004.89

Т.О. САВЧУК, О.В. СМІРНОВА
Вінницький національний технічний університет

МОДЕЛЬ АНАЛІЗУ ТЕХНОГЕННОЇ ПРОБЛЕМНОЇ СИТУАЦІЇ

Розглянуті основні методи штучного інтелекту для аналізу проблемних ситуацій, проведено їх порівняльний аналіз. Запропоновано модель аналізу техногенної проблемної ситуації.

The main methods of artificial intelligence to analyze problem situations, conducted a comparative analysis. Model for man-made problem situation analyzing was proposed.

Ключові слова: проблемна ситуація, техногенна проблемна ситуація, аналіз техногенної проблемної ситуації, математична модель.

Вступ

Прогнозувати соціальні та екологічні наслідки техногенних проблемних ситуацій практично неможливо на сучасному етапі соціально-економічних перетворень та розвитку виробничих сил. Аналіз сучасних досліджень в галузі проблемних ситуацій показує, що застосування класичних статистичних підходів для аналізу техногенних проблемних ситуацій має низку недоліків. Перш за все, вони засновані на використанні методів та моделей, що мають складні алгоритми з великою кількістю параметрів, які є неефективними при виникненні слабо структурованих і неструктурованих проблемних ситуацій і іноді дають навіть якісно невірні передбачення. Це пов'язано як з великою складністю розв'язуваних завдань, так і з їх залежністю від множини суб'єктивних факторів [1-4]. Тому для аналізу техногенних проблемних ситуацій необхідно використовувати нетрадиційні, нові методи аналізу, засновані на використанні апарату штучного інтелекту.

Застосування методів штучного інтелекту для аналізу проблемних ситуацій

Технології аналізу даних, що базуються на застосуванні класичних статистичних підходів, мають низку недоліків [1-4]. Крім того, відповідні методи ґрунтуються на використанні усереднених показників, на підставі яких важко з'ясувати справжній стан справ у досліджуваній сфері.

Окрім того, стандартні статистичні методи відкидають (нехтують) нетипові спостереження – так звані піки та сплески. Проте окремі нетипові значення можуть становити самостійний інтерес для

дослідження, характеризуючи деякі виняткові, але важливі явища. Навіть сама ідентифікація цих спостережень, не говорячи про їх подальший аналіз і докладний розгляд, може бути корисною для розуміння сутності досліджуваних об'єктів чи явищ. Як показують сучасні дослідження, саме такі події можуть стати вирішальними щодо майбутнього поведіння та розвитку складних систем для аналізу проблемних ситуацій.

Тому, для опису проблемних ситуацій доцільно використовувати різний математичний апарат методів штучного інтелекту [5-8]: методи суб'єктивної ймовірності, нечіткі множини, нейронні мережі, генетичні алгоритми, кусково-лінійна апроксимація та ін.

Результати порівняння сучасних підходів до аналізу проблемних ситуацій, заснованих на використанні методів штучного інтелекту наведено в табл. 1.

Таким чином, порівняння існуючих методів аналізу проблемних ситуацій показав, що у методах, заснованих на використанні штучного інтелекту більше можливостей по усуненню та ослабленню негативних проявів нечітких факторів. Проте, аналіз проблемних ситуацій – це ітераційний процес і використання одного з існуючих методів аналізу не дасть бажаного результату.

Таблиця 1

Характеристики сучасних підходів до аналізу проблемних ситуацій

Назва підходу	Умови застосування		
	Характер процесу	Можливості використання підходу	Недоліки
Байєсівський підхід	Стаціонарний	Потребує опису по формулі Байєса	Потребує значного обсягу надійної інформації
Нечітка логіка	Будь-який	Самоорганізація моделі, можливість прогнозування	
Статистичний аналіз	Будь-який	Визначаються вимогами багатофакторного аналізу, класифікаціях або кластеризації, які використовуються у підході	Потребує достатнього об'єму вибірки або апріорних даних
Нейронні мережі	Будь-який	Побудови загальної функції поведінки	Потребує досить високого рівня експертних оцінок
Системи масового обслуговування та ін. традиційні методи	З обмеженнями, які відповідають методу, що використовується	Суворе математичне формулювання	Обмежений аналіз
OLAP	Для відкритих систем	Транзакція в багатомірних даних	Значні витрати часу та засобів на проектування. Метод найбільш придатний для вирішення задач великої розмірності
Data Mining	Будь-який	Перетворення даних в знання	Значні часові та вартісні витрати

Постановка завдання

Метою дослідження є підвищення ефективності функціонування систем підтримки прийняття рішень в умовах виникнення техногенних проблемних ситуацій шляхом використання розроблених моделей аналізу техногенних ситуацій в умовах невизначеності.

В цілому повинна бути вирішена задача мінімізації ризику появи техногенної ПС:

$$M = \min_i R(\Delta \text{const} X_j K X_i M) \quad (1)$$

де Δconst – множина постійних факторів впливу, що враховуються в моделі, тобто множина постійних параметрів навколишнього середовища (наприклад, тип хімічно небезпечної речовини, кількість хімічно небезпечної речовини);

$X_j K$ – значення j кількісного K -го параметру навколишнього середовища (наприклад, температура повітря, вологість і т.п.);

$X_i M$ – значення i якісного M -го параметру навколишнього середовища (експертна оцінка проблемної ситуації і ризику її настання, наприклад, оцінка ризику – «слабкий», «середній», «сильний», «катастрофічний» і т.п.).

Розробка математичної моделі аналізу техногенної проблемної ситуації

Математичне моделювання процесів аналізу техногенної проблемної ситуації передбачає вибір

найбільш раціонального математичного методу для вирішення задачі.

Модель процесу аналізу техногенних проблемних ситуацій повинна враховувати множину факторів впливу і зв'язків між ними, потужність якої визначиться із заданою точністю відображення реальної техногенної ситуації, а отримані результати будуть корисні керівникам ліквідаційних загонів, що приймають рішення по ліквідації аварій та мінімізації її наслідків. Таким чином, модель повинна бути оптимально наближена до дійсності.

Методика, що розробляється повинна забезпечувати: можливість розглядати ПС з різних точок зору (реалізувати системний підхід), мати різні рівні опису, забезпечуючи підтримку життєвого циклу системи; диференційований погляд на ПС, що аналізується; групу методів моделювання і алгоритмів рішення для аналізу ситуації; єдиний репозиторій; можливість багатократного повторного застосування результатів моделювання – накопичення знань.

Отже, задачу побудови математичної моделі аналізу техногенної надзвичайної ситуацій можна поставити таким чином: для конкретної мети процесу аналізу техногенної проблемної ситуації, що моделюється, з врахуванням існуючих факторів впливу побудувати оператори моделювання результату роботи та оцінювання показника ефективності цього процесу.

Оператором в математичному моделюванні процесу аналізу техногенної проблемної ситуації будемо називати закон або правило згідно з яким кожному елементу x множини X ставиться у відповідність визначений елемент y множини Y .

Тому, математичною моделлю процесу аналізу техногенної проблемної ситуації буде кортеж вигляду:

$$M = \{ A_0, \Theta_p, A, U, H, Y, \Psi, W \}, \quad (2)$$

де A_0 – мета моделювання;

Θ_p – існуючі ресурси;

A – множина факторів впливу, що враховуються в моделі;

U – множина стратегій управління процесом аналізу техногенних проблемних ситуацій;

H – оператор моделювання результату роботи процесу аналізу техногенної проблемної ситуації;

Y – множина значень вихідних характеристик моделі аналізу техногенної проблемної ситуації;

Ψ – оператор оцінювання показника ефективності процесу аналізу техногенної проблемної ситуації;

W – показник ефективності процесу аналізу техногенної проблемної ситуації, що моделюється.

В даному випадку для моделювання використовується комп'ютер, а отже основним ресурсам (Θ_p) є його обчислювальна здатність, що включає в себе об'єм оперативної пам'яті, частоту процесора, швидкість обміну даними між пам'яттю та жорстким диском тощо.

Основними факторами впливу, що враховуватимуться при моделюванні процесу аналізу техногенної проблемної ситуації будуть:

- техніко-економічні характеристики техногенної ситуації, що досліджується;
- обсяги можливих масштабів наслідків ситуації за кожним варіантом стратегій управління;
- необхідні ресурси для реалізації кожної стратегії.
- середньорічні обсяги матеріальних ресурсів за їх видом;
- трудомісткості робіт з ТО;
- розцінки за роботу персоналу;
- розмір нанесених збитків державі та населенню.

У нашому випадку головними цілями при аналізі техногенної проблемної ситуації є мінімізація людських жертв, економічних, екологічних втрат від наслідків проблемної ситуації. Відповідно до законодавства України Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру пріоритетні завдання спрямовані на рятування життя та збереження здоров'я людей і довкілля.

Отже, до множини управління процесом аналізу техногенних проблемних ситуацій буде відноситися множина можливих територій поширення, множини можливих розмірів збитків, множина ресурсів, необхідних для реалізації кожної можливої стратегії.

Оператор моделювання (H) результату роботи процесу аналізу техногенної проблемної ситуації встановлює відповідність між множиною факторів впливу (A), що враховуються в моделі, множиною можливих стратегій управління (U) та множиною значень вихідних характеристик моделі даного процесу (Y):

$$H: A \times UA_0, \Theta_m, R_s Y \quad (3)$$

Θ_m – ресурси на етапі моделювання, що відповідають існуючим ресурсам.

R_s – властивості процесу, що моделюється.

Згідно основних принципів створення інформаційного забезпечення, система повинна відповідати таким властивостям: цілісність, вірогідність, контроль, захист від несанкціонованого доступу, єдність та гнучкість, стандартизація та уніфікація, адаптивність, мінімізація введення та виведення інформації (однократність введення інформації, принцип введення – виведення тільки змін). У інформаційних системах (ІС) мають бути передбачені необхідні заходи щодо контролю і оновлення даних в інформаційних масивах ІС, оновлення масивів після відмови будь-яких технічних засобів ІС, а також контролю ідентичності однойменної інформації в базі даних.

Оператор моделювання результату роботи процесу аналізу техногенної проблемної ситуації може бути:

- функціональним (заданий системою аналітичних функцій);
- алгоритмічним (може включати в себе математичні, логічні, логіко-лінгвістичні операції, які не приводять до аналітичних функцій).

Крім того, такий оператор може бути:

- детермінованим, тобто, коли кожному елементу множини $(A \times U)$ відповідає детермінована підмножина значень вихідних характеристик моделі (Y) ;
- стохастичним, коли кожному елементу множини $(A \times U)$ буде відповідати множина випадкових значень вихідних характеристик моделі (Y) .

Множиною значень вихідних характеристик моделі процесу (Y) буде множина стратегій заходів у сфері захисту населення і територій від техногенних проблемних ситуацій, оскільки модель призначена для підвищення ефективності функціонування систем підтримки прийняття рішень в умовах виникнення техногенних проблемних ситуацій.

Однією з найважливіших задач при розробці стратегій заходів у сфері захисту населення і територій від техногенних проблемних ситуацій є визначення їх ефективності, що в кінцевому випадку дозволить із певної кількості варіантів вибрати один – який є найбільш оптимальним в заданих умовах ризику та обмеженості ресурсів. Для вирішення цієї задачі необхідно визначити критерій ефективності, який повинен відповідати меті та завданням дослідження.

Оскільки, модель аналізу техногенної проблемної ситуації в першу чергу повинна бути направлена на вирішення задачі мінімізації ризику появи техногенної ПС, то до показників ефективності процесу аналізу техногенних проблемних ситуацій (W) , що моделюється, будуть відноситися:

- розмір нанесених збитків державі та населенню за кожною стратегією;
- кількість можливих жертв;
- масштаб забрудненої території;
- необхідні ресурси для реалізації кожної стратегії.

Оператор оцінювання показника ефективності процесу аналізу техногенних проблемних ситуацій (Ψ) ставить у відповідність множині вихідних характеристик моделі (Y) множину значень показника ефективності процесу (W) , що моделюється.

$$\psi: YAO, \theta M, RsW \quad (4)$$

Способи завдання оператора оцінювання показника ефективності (Ψ) і показника ефективності (W) процесу аналізу техногенних проблемних ситуацій розглядаються в теорії ефективності, а методи формування можливих альтернатив – в теорії прийняття рішень [6].

Оператор оцінювання показника ефективності процесу аналізу техногенних проблемних ситуацій може задавати точково-точкове перетворення і множинно-точкове перетворення. Оператор Ψ в даному випадку є множинно-точковим відображенням, так як задається на всій множині, отриманих в результаті моделювання стратегій заходів у сфері захисту населення і територій від техногенних проблемних ситуацій.

Побудова наведених операторів завжди здійснюється з врахуванням головного системного принципу – принципу мети.

На вигляд оператору моделювання результату роботи процесу аналізу техногенних проблемних ситуацій (H) та склад множини стратегій управління процесом (U) впливає об'єм ресурсів. Чим більше виділено ресурсів, тим детальнішою може бути модель і, тим більше число стратегій управління може бути розглянуто.

З теорії прийняття рішень відомо, що початкова множина можливих альтернатив повинна включати як можна більше стратегій, бо в протилежному випадку можна згубити найкращу.

Висновки

Методи, які використовуються для аналізу техногенних проблемних ситуацій, що базуються на застосуванні класичних статистичних підходів, мають низку недоліків. Перш за все, це пов'язано з їх залежністю від множини суб'єктивних факторів. Порівняння існуючих методів аналізу проблемних ситуацій показав, що у методах, заснованих на використанні штучного інтелекту більше можливостей по усуненню та ослабленню негативних проявів нечітких факторів. Проте, аналіз проблемних ситуацій – це ітераційний процес і використання одного з існуючих методів аналізу не дасть бажаного результату. Тому, модель процесу аналізу техногенних проблемних ситуацій повинна враховувати множину факторів впливу і зв'язків між ними, потужність якої визначиться із заданою точністю відображення реальної техногенної ситуації, а отримані результати повинні бути корисні керівникам ліквідаційних загонів, що приймають рішення по ліквідації аварії та мінімізації її наслідків. Таким чином, модель повинна бути оптимально наближена до дійсності. Це можна досягти розв'язавши задачу мінімізації ризику появи техногенної проблемної ситуації.

Література

1. Литвин С.С. Функціонально-морфологічний аналіз: Методичні рекомендації / С.С. Литвин. – НДЦ "Gen 3 Partners", 2007. – 7 с.
2. S. Kogan "How IT Companies Can Stay Competitive in a Global Market". ZDNet Tech News, USA,

October 10, 2006.

3. Аксельрод Б.М. Проблемно-орієнтована пошук по дії з використанням патентних баз даних: новий пошуково-вирішальної інструмент / Б.М. Аксельрод // МА ТРИЗ, Праці міжнародної конференції "Три покоління ТРИЗ". – Санкт-Петербург, 13-18 жовтня 2006 р.

4. Колчанов С.А. Концепція автоматизованої системи функціонально-орієнтованого пошуку / С.А. Колчанов, М.С. Рубін, Є.Л. Соколов // МА ТРИЗ, Праці міжнародної конференції "ТРИЗ Фест - 2007". – Москва, 9-10 липня 2007р.

5. Андрейчиго А.В. Интеллектуальные информационные ситсемы / А.В. Андрейчиков, О.Н. Андрейчикова. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 424с.

6. Ашинянц Р.А. Логические методы в искусственном интеллекте / Р.А. Ашинянц. – М.: МГАГИ, 1996 – 201с.

7. Ашинянц Р.А. Логические методы в автоматизации обучения / Р.А. Ашинянц. – М.: МГАГИ, 1996 – 201с.

8. Бондарев В.Н. Искусственный интеллект. Учебное пособие для вузов / В.Н. Бондарев, Ф.Г. Аде. – Севастополь: СевНТУ, 2002. – 615с.

9. Юхимчук С. В. Математичні моделі ризику для систем підтримки прийняття рішень / С.В.Юхимчук, А.О. Азарова. – Монографія, 2003. - 188 с.

Надійшла 26.1.2011 р.

УДК 621

А.В. КУДРЯШОВ, К.Л. ГОРЯЩЕНКО

Хмельницький національний університет

СПЕКТРАЛЬНИЙ АНАЛІЗ МОВНИХ СИГНАЛІВ В СЕРЕДОВИЩІ МАТЛАВ

Передача мовних сигналів є задачею передачі звукових фонем. Кожна з фонем є сукупністю ряду звукових сигналів різної частоти та амплітуди. Спотворення фонем призводить до спотворення прийнятого мовного повідомлення. В статті описано принципи аналізу мовних сигналів.

A transmission of linguistic signals is the task of transmission of voice phonemes. Each of phonemes is the aggregate of row of voice signals of different frequency and amplitude. Distortion of phonemes results in distortion of the accepted linguistic report. Principles of analysis of linguistic signals are described in the article.

Ключові слова: фонема, спектральний аналіз.

Вступ

Для забезпечення відновлення сигналів, що несуть у собі акустичне повідомлення, потрібно в першу чергу звернути увагу на методи їх аналізу та представлення їх у багатовимірному просторі ознак, які містять потрібну для розпізнавання інформацію.

Серед існуючих методів побудови простору ознак (спектрального аналізу) можна виділити основні, такі як [2, 4, 9]:

- Перетворення Фур'є;
- Лінійне передбачення мови;
- Кепстральний аналіз;
- Вейвлет-аналіз.

В останні роки стало очевидним, що традиційний апарат представлення довільних функцій та сигналів у вигляді рядів Фур'є виявляється малоефективним для функцій із локальними особливостям, частково, для імпульсних та цифрових сигналів та зображень, що отримали широке застосування [1, 2]. Це пов'язано з тим, що базисна функція рядів Фур'є – синусоїда ($y = U_0 \sin(\omega \cdot t)$) – визначена у просторі від $t = -\infty$ до $t = +\infty$ та за своєю природою є рівною та строго періодичною.

Таким чином, відомі методи аналізу сигналів та функцій постійно наштовхувались на принципові теоретичні обмеження, що не дозволяють серйозно говорити про кардинальне рішення проблеми однозначного їх представлення способами, створеними на основі розкладання у ряди Фур'є.

Із відкриттям вейвлетів ця складна і актуальна наукова проблема була вирішена. Основою стали розробки Гросмана та Морле, у середині 80-х років, як альтернатива перетворенню Фур'є для дослідження часових (просторових) рядів із вираженою неоднорідністю [4].

На відмінну від перетворення Фур'є, що локалізує частоти, але не дає часове розширення процесу, та від апарату d-функцій, що локалізує моменти часу, але не має частотного розширення, вейвлет-перетворення, яке наділене рухомим частотно-часовим вікном, що самоналаштується, однаково добре виявляє як низькочастотні, так і високочастотні характеристики сигналу на різних часових масштабах.

Вейвлети мають вигляд коротких хвильових пакетів з нульовим інтегральним значенням та з тією чи іншою, досить часто дуже складною, формою, локалізованих на осі незалежною перемінною t , під якою розуміють незмінний час, здатних до зсуву по ній та масштабуванню (стисненню/розтягненню).

Мовне повідомлення, що використовується у людській мові, складається з окремих фонем, що

складені послідовно між собою. Фонема – найменша (неподільна) структурно-семантична звукова одиниця, що здатна виконувати деякі функції у мовленні, так фонема творить, розділяє і розпізнає морфеми, слова, їхні форми в мовному потоці. "Фонема" є поняттям близьким до поняття "звук", однак має суттєву відмінність. Зміна у звукових складових фонемі веде до утворення іншої фонемі, а отже – зміни змістового навантаження на речове повідомлення в цілому. Тому стає зрозуміло, що питання передачі звукового повідомлення із мінімальними спотвореннями є принципово важливою задачею. Адже ціна питання – чіткість передачі змісту від одного до іншого користувача.

З технічної точки зору, мовне повідомлення, що складається з ряду фонем є послідовністю окремих звуків, а тому мовний сигнал – це є складний сигнал, що складається з багатьох сигналів різної амплітуди та частоти. При чому має місце постійна зміна як частотної так і амплітудної складової сигналу.

Модель звукового сигналу можна описати таким виразом:

$$S(t) = \sum_{i=20}^{20000} U_i(t) \cdot \sin(\omega_i \cdot t) \quad (1)$$

де $U_i(t)$ – амплітудна складова;

ω_i – частотна складова.

Межі виразу (1) від 20 до 20000 обумовлені загальним звуковим діапазоном, який людина здатна сприймати, а також тим звуковим діапазоном, що здатна створювати звукогенеруюча техніка.

Мовний сигнал $S(t)$ (1) відповідно до вейвлет перетворення буде мати вигляд [1]:

$$S(t) = \sum_l a_l \varphi_l(t) + \sum_k d_k \psi_k(t), \quad (2)$$

де: $\varphi_l(t)$ - масштабуючі або скейлінг-функції (phi-функції) з одиничним значенням інтегралу ($\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(t) dt = 1$), що визначають грубе приближення сигналу і породжують коефіцієнти апроксимації a_l .

$\psi_k(t)$ - вейвлет-функції (psi-функції) з нульовим значенням інтегралу ($\int_{-\infty}^{\infty} \psi(t) dt = 0$), що

визначають деталі сигналу і породжують коефіцієнти деталізації d_k .

Phi-функції $\varphi_l(t)$ притаманні далеко не усім вейвлетам, а тільки тим, котрі відносяться до ортогональних. Ортогональність, як прийнято в функціональному аналізі, вводиться через скалярний добуток, який позначається $\langle \rangle$ [1]:

$$\begin{aligned} \langle \varphi_l, \varphi_i \rangle &= 0 \text{ при } l \neq i; \\ \langle \psi_k, \psi_j \rangle &= 0 \text{ при } k \neq j; \\ \langle \varphi_l, \psi_k \rangle &= 0 \text{ при } l \neq k. \end{aligned}$$

Psi-функції $\psi_k(t)$ створюються на основі тієї чи іншої базисної функції $\psi_0(t)$, яка задовольняється властивостями зміщення по осі часу і масштабування та визначає тим вейвлета.

Можна переконатись, що обидві властивості об'єднуються виразом [1]:

$$\psi(t) = a^{-1/2} \psi_0\left(\frac{t-b}{a}\right),$$

де числовий параметр a задає ширину вейвлета; а числовий параметр b задає його положення на осі часу.

Вейвлети, які задаються частотним представленням задаються Фур'є-образами. У цьому випадку мова йде про огинаючу спектра вейвлета, зосередженого на осі частот. Накладаєма на функцію $\psi(t)$ умова (нульове значення інтегралу) вказує на зміщення Фур'є-образа по осі частот у сторону нуля із зосередженням навколо деякої частоти ω_0 , яку можна розглядати як *середню кругову частоту* вейвлета. У частотній області спектри багатьох вейвлетів нагадують виплески, які швидко прямують до нуля на краях. У цьому випадку говорять про *ширину смуги частот*, яку займає вейвлет.

Для сигналів обмеженої енергії $S(t)$ *пряме неперервне вейвлет перетворення* задається формулою [1]:

$$C(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_V s(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt,$$

де інтервал V відповідає області зміни безперервного часу t .

Результатом перетворення буде безперервна функція двох аргументів $C(a, b)$. Звичайно, в

комп'ютерних технологіях мови про безперервність речевого сигналу бути не може. Здійснюючи заміну безперервного часу на дискретне $t \rightarrow nT$, отримаємо дискретний аналог формули [1]:

$$C(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \sum_n s(nT) \psi\left(\frac{nT-b}{a}\right).$$

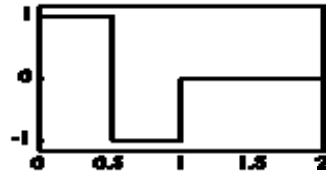
Природно припустити, що часовий зсув b також дискретизувати з кроком T . У даному випадку b буде містити стільки ж відліків, скільки містить цифровий сигнал $S(nT)$. Дискретний діапазон зміни параметру масштабування a задається самим дослідником. Таким чином, безперервна функція $C(a,b)$ перетворюється в матрицю коефіцієнтів вейвлет-розкладання розміром $l_a \times l_b$ (l - кількість відліків), що містить інформацію про особливості сигналу.

Всі вейвлети прийнято класифікувати за видом і особливостями утворюючої функції $\psi_0(t)$ та за іменем вченого, що вперше запропонував дану структуру.

Приклади часто використовуваних вейвлетів [9]:

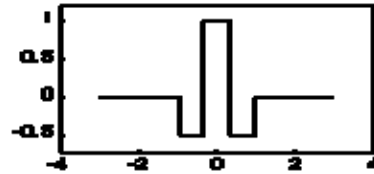
HAAR – вейвлет:

$$\psi(t) = \begin{cases} 1, & 0 \leq t < 1/2 \\ -1, & 1/2 \leq t < 1 \\ 0 & t < 0, t \geq 1 \end{cases}$$



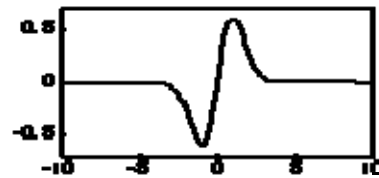
FHAT - вейвлет («Французький капелюх» - French hat):

$$\psi(t) = \begin{cases} 1, & |t| \leq 1/3 \\ -1/2, & 1/3 < |t| \leq 1 \\ 0 & |t| > 1 \end{cases}$$



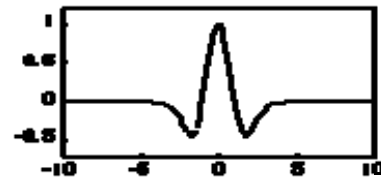
Wave – вейвлет:

$$\psi(t) = t \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)$$



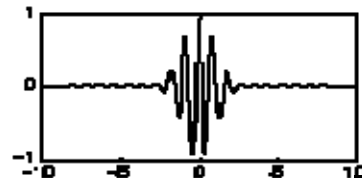
MHAT - вейвлет ("Мексиканський капелюх" - Mexican hat):

$$\psi(t) = (1-t^2) \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right)$$



Вейвлет Морле (утворює комплексний базис):

$$\psi(r) = \exp\left(ik_0 r - \frac{r^2}{2}\right)$$



Зручним інструментом для первинного аналізу та подальшої обробки звукових повідомлень є середовище MATLAB. Для прикладу можливості опрацювання існуючих даних, проведемо вейвлет-перетворення мовного повідомлення записаного у студії звукозапису і оцифрованого у 16-бітний сигнал із частотою дискретизації 44100Гц (рис.1).

Для цього використаємо середовище MATLAB:


```
>> [y,Fs,bits]=wavread('sample1',1) % Визначається частота дискретизації та кількість біт на відлік
y = -0.0064
Fs = 44100
bits = 16

>> siz=wavread('sample1', 'size') % Визначається кількість відліків у файлі та кількість каналів запису
siz = 80475 1

>>y=wavread('sample1'); % Будується часовий графік сигналу
>>plot(y); % у каналі
```

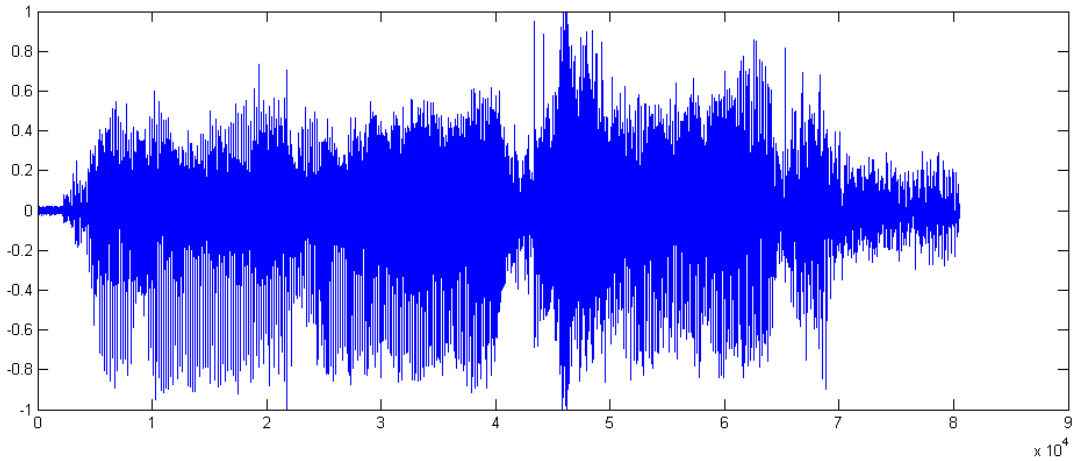


Рис. 1. Амплітудно-часова характеристика початкового сигналу

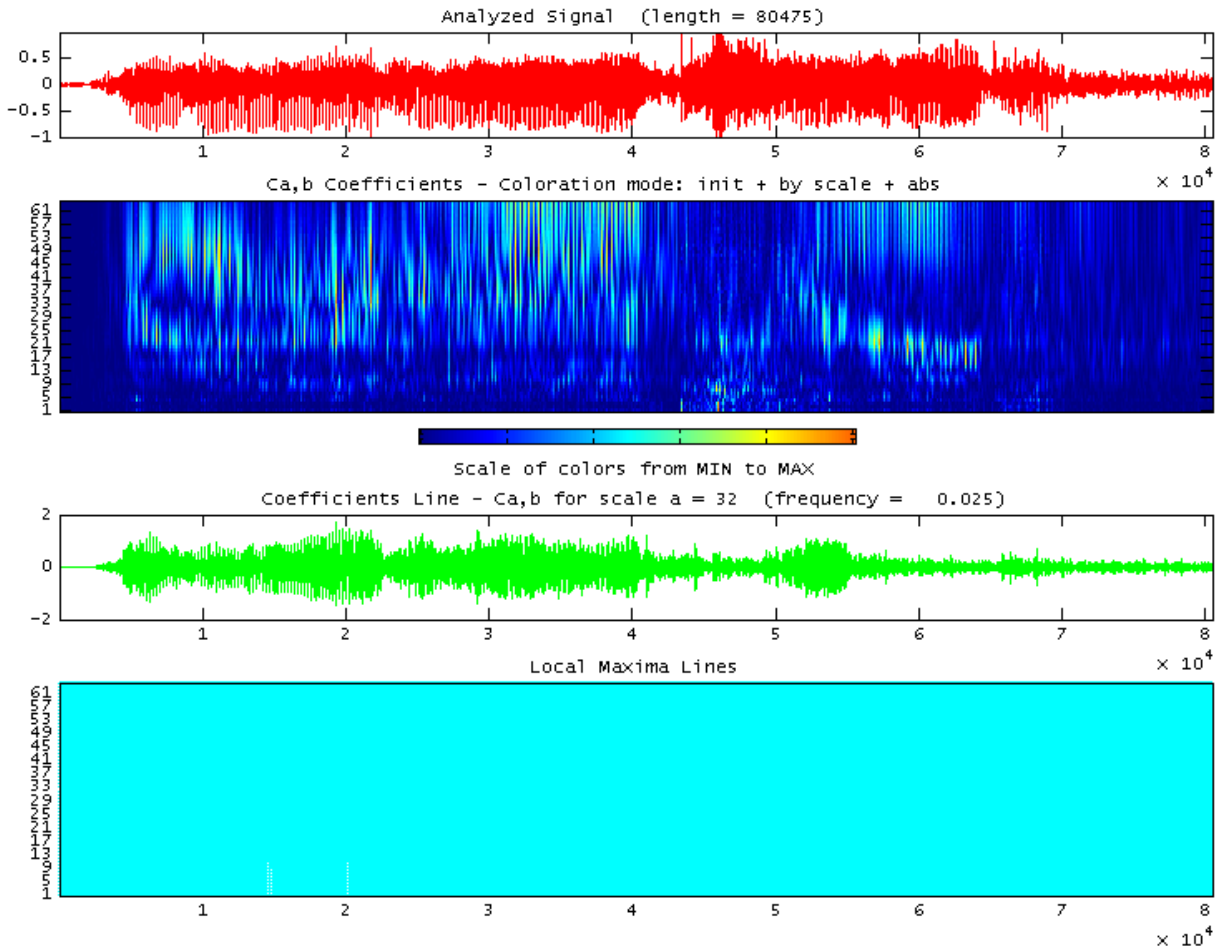


Рис. 2. Безперервне вейвлет-перетворення початкового сигналу

MATLAB здійснює роботу із вейвлетами у рамках пакета розширення **Wavelet Toolbox**, яке має графічний інтерфейс користувача (GUI).

Виклик інтерфейсу відбувається за допомогою команди:

>> wavemenu

Для проведення *одновимірного неперервного вейвлет-перетворення (Continuous Wavelet 1-D)* був обраний період дискретизації (**Sampling**): $T = \frac{1}{F_s} \approx 0.00002267573697$ сек; базисною функцією обрано *вейвлет Морле (morl)*; дискретний діапазон зміни параметру масштабування (**Scale Settings**) a був обраний за схемою «крок за кроком» (**Step by Step Mode**): min=1, max=64, step=1.

Результатом виконання буде зображення сигналу, що аналізується, спектрограми отриманої із матриці коефіцієнтів $C(a, b)$, самих коефіцієнтів та зображення ліній локальних максимумів :

Для більш детального перегляду спектрограми можливе її збільшення та зміна кольорового режиму за бажанням дослідника. Також можна забирати вікна коефіцієнтів та локальних максимумів, що призводить до зайняття спектрограмою їхнього місця у робочому просторі і як наслідок її збільшення.

Висновок. Наведений вище аналіз показав, що представлення мовних повідомлень у вигляді вейвлет-базисних функцій буде мати ряд переваг, серед яких: локалізація у часовій та частотній області, можливість масштабного перетворення і зсувів, розроблений математичний апарат для локалізації та класифікації особливих точок сигналу, відмінне відображення динаміки зміни сигналу уздовж масштабування. А середовище моделювання MATLAB наділене потужним математичним апаратом, який у поєднанні із зручністю у використанні, гнучким налаштуванням та простотою у вивченні робить його незамінним у аналізі та обробці речових повідомлень в трактах звукового мовлення.

Література

1. Солонина А.И. Цифровая обработка сигналов. Моделирование в MATLAB : учебное пособие / Солонина А.И. – СПб. : БХВ-Петербург, 2008 – 816с.: ил.
2. Попов О.Б., Рихтер С.Г. Цифровая обработка сигналов в трактах звукового вещания : [учебное пособие для вузов] / О.Б. Попов, С.Г. Рихтер. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 314с.: ил.
3. MATLAB Lecture 7. Signal Processing in MATLAB [электронный ресурс] . – Режим доступа до документу : <http://www.math.uic.edu/~jan/mcs320s07/matlec7.pdf>
4. Отнес Р., Энноксон Л. Прикладной анализ временных рядов : основные методы / Р. Отнес, Л. Энноксон / [пер. с англ.]. – М. : изд-во "Мир". – 1982. – 430 с.
5. Davis Yen Pan. Digital audio compression / Digital Technical Journal. – Vol. 5. – No. 2, Spring 1993. – p. 1-13.
6. K. Brandenburg and G. Stoll. The ISO/MPEG Audio Codec: A Generic Standard for Coding of High Quality Digital Audio / Preprint 3336, 92nd Audio Engineering Society Convention, Vienna. – 1992.
7. J. D. Johnston. Transform Coding of Audio Signals Using Perceptual Noise Criteria / IEEE Journal on Selected Areas in Communications. – vol. 6. – February 1988. – p. 314-323.
8. J. Ward and B. Stanier, "Fast Discrete Cosine Transform Algorithm for Systolic Arrays / Electronics Letters. – vol. 19. – No. 2. – January 1983.
9. Amara Graps. An introduction to Wavelets / IEEE Computational Science and Engineering, Summer 1995, vol. 2, num. 2

Надійшла 16.1.2011 р.

УДК 004.89

Т.О. САВЧУК, А.В. САКАЛЮК
Вінницький національний технічний університет

ЗАСТОСУВАННЯ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ КОЛАБОРАТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ

В статті описано основні проблеми, які виникають при розробці рекомендаційних система на основі колаборативної фільтрації та запропоновано підходи до їх вирішення, а саме використання кластерного аналізу та згладжування за допомогою нейронної мережі на основі радіальної базисної функції.

In this paper is described the main problems that arise when developing a recommendation system based on collaborative filtering and approaches for their solution, namely the use of cluster analysis and smoothing using a neural network based on radial basis functions

Ключові слова: колаборативна фільтрація, кластеризація, радіальна базисна функція, функція активації, алгоритм згладжування, розрідженість, масштабованість, самоорганізаційна карта Кохонена.

Вступ

Світ сучасної економіки наповнений товарами, властивості яких важко оцінити завчасно, виходячи

з характеристик, даних виробником. Також важливим аспектом є те, що зазвичай таких параметрів не один десяток, і просумувати їх цінність важко. До того ж існує цілий ряд товарів, важливі параметри яких неможливо емпірично визначити (це стосується значно більшої індустрії розваг – книги, фільми, ігри).

Не зважаючи на можливу подібність характеристик різних товарів, вони можуть відрізнятися. Тому, щоб зрозуміти чи об'єкт дійсно потрібен, його треба випробувати. Однак товарів надзвичайно багато і не представляється можливим випробувати всі товари, навіть тільки ті, що схожі за характеристиками.

Рішенням даної проблеми є використання рекомендацій тих, хто вже знайомий з даним об'єктом. Колаборативна фільтрація надає колективній обробці інформації принципово нову якість. Кожний апробує свої об'єкти, а з допомогою колаборативних алгоритмів індивідуальний досвід враховується для всієї системи, звільняючи користувачів від непотрібних проб і помилок [1].

Експертні фільтри не справляються з потоком інформації. Колаборативна технологія дозволяє урівноважити цей дисбаланс: який би темп не набрала генерація контенту, їй протидіє не менш продуктивна масова селекція.

Колаборативна фільтрація дозволяє встановити паритет між обізнаністю користувача і виробника про якість товару, блокуючи тенденцію погіршення відбору, яка розвивається в умовах інформаційної асиметрії.

Мета дослідження: підвищення точності рекомендацій систем на основі колаборативної фільтрації.

Об'єкт дослідження – рекомендаційні системи на основі колаборативної фільтрації.

Предмет дослідження: застосування кластерного підходу до систем колаборативної фільтрації.

Наукова новизна полягає в розробці нових алгоритмічних рішень для систем колаборативної фільтрації, де на відміну від існуючих усунуто такі проблеми як масштабованість та розрідженість оцінок.

Потужний інструментарій рекомендаційних систем, що знайшов широке застосування в різних галузях, допомагає виявити об'єкти, які пропонуються експертами користувачам з урахуванням їх загальної популярності, демографічних характеристик та аналізу поведінки, що і визначає актуальність удосконалення алгоритмів фільтрації систем означеного класу.

Формалізація задачі колаборативної фільтрації

Формально проблема вироблення рекомендацій може бути представлена таким чином: нехай C – множина користувачів, S – множина пропонованих об'єктів. Потужність множини пропонованих об'єктів S та множини користувачів C може сягати сотень тисяч і навіть мільйонів одиниць. Функція корисності u_{ij} описує корисність об'єкта s_j для користувача c_i , де i – порядковий номер користувача, j – порядковий номер об'єкта [2]:

$$u_{ij} : c_i \times s_j \rightarrow R, \quad (1)$$

де R – кількість замовлених об'єктів ($R \in N$). Для кожного користувача $c_i \in C$ обирається такий об'єкт $s'_j \in S$, для якого значення корисності максимальне для даного користувача:

$$\forall c_i \in C, s'_j = \arg \max_{s_j \in S} u_{ij}. \quad (2)$$

На основі базової технології, рекомендаційні системи у широкому змісті класифікуються на контент-орієнтовані та системи спільної фільтрації (Colaborative filtering, CF). CF підхід є найбільш часто використовуваним в рекомендаційних системах. При прогнозуванні потенційного інтересу даного користувача, такий підхід спочатку визначає безліч подібних користувачів на основі попередніх оцінок, а потім робить прогноз, заснований на поведінці цих подібних користувачів.

Принципи колаборативної фільтрації [3]:

1. Ті, хто погоджувався у минулому, схильні погодитися і в майбутньому.
2. Користувачі надають дані про свої уподобання, оцінюючи товари інтернет-магазину або вітрини.
3. Чим більше даних надає про себе користувач, тим більш якісні рекомендації він отримує.
4. Чим більше сумарний обсяг даних, тим краще рекомендації.

У колаборативних рекомендаційних системах використовуються різні підходи для обчислення міри схожості між користувачами. У більшості з них схожість між двома користувачами ґрунтується на тому, як було оцінено аналізовані об'єкти. Набули поширення кореляційний метод і метод лінійної схожості.

При цьому кореляційний метод можна представити таким чином: нехай S_{xy} – множина об'єктів оцінених користувачами x та y , тобто

$$S_{xy} = \{s \in S \mid r_{x,s} \neq \emptyset \ \& \ r_{y,s} \neq \emptyset\}. \quad (3)$$

де s – об'єкт;

$r_{x,s}, r_{y,s}$ – оцінки об'єкта s користувачами x та y .

Алгоритм лінійного методу знаходить найближчого сусіда, обчислюючи відстані між користувачами, оснований на їх інформації про вподобання та рекомендації [2]. Відстані залежать від домену, числа користувачів, числа рекомендованих елементів і ступеню співпраці між користувачами. Прогноз того,

як оцінити користувач певний об'єкт обчислюється як «середнє зважене» оцінок користувачів зі спільним інтересом стосовно цього елемента. Оскільки пошук таких користувачів у потужних базах даних є тривалим процесом, практичні алгоритми використовують евристики для розв'язання даної задачі.

Аналіз проблем колаборативної фільтрації

Серед основних проблем слід відзначити:

1. Проблеми на етапі “cold start” [4], до яких відносять:

- Проблема нового користувача. Нові користувачі не мають зв'язку з існуючими і таким чином не можуть отримати рекомендацій. Система має вивчити вподобання користувача на підставі даних ним оцінок для вироблення точних рекомендацій. Для вирішення цієї проблеми було запропоновано декілька методик. Більшість з них використовують гібридний рекомендаційний підхід, що поєднує тематичні і колаборативні алгоритми. У цих методиках використовуються стратегії, основані на популярності об'єктів, їх ентропії, персоналізації користувачів і комбінації всіх цих методик.

- Проблема нового об'єкту. Нові об'єкти регулярно додаються до рекомендаційної системи. Колаборативні системи при виробленні рекомендацій керуються тільки потребами користувачів. Тому рекомендаційна система не може рекомендувати об'єкт, поки він не отримає достатню кількість оцінок.

2. Розрідженість оцінок. У будь-якій рекомендаційній системі, кількість оцінок, які необхідно передбачити, перевищує кількість даних оцінок. Система повинна прогнозувати оцінки, виходячи з мінімальної кількості об'єктів та користувачів. Усунути проблему розрідженості оцінок можна за рахунок використання профіля користувача при пошуку міри схожості.

Колаборативна фільтрація побудована виключно на кореляції між користувачами. Тобто, рекомендації для активних користувачів надаються на підставі оцінок подібних користувачів. У разі високої розріджених матриць (> 90 % нульових значень), дуже важко знайти кореляцію між користувачами.

3. Масштабованість. У колаборативних рекомендаційних системах користувачі зі схожими вподобаннями визначаються на основі пам'ять-орієнтованого або модель-орієнтованого підходів. У пам'ять-орієнтованому підході, заснованому на активних користувачах порівняно з усіма існуючими користувачами, тому обчислювальна складність збільшується при збільшенні числа користувачів. У модель-орієнтованому підході існуючі користувачі згруповані на основі їх подібності. При виробленні рекомендації, подібні групи групуються разом, а тільки потім порівнюються користувачі всередині кластера. Такий підхід не надто впливає на вирішення проблеми масштабованості. Традиційні підходи не виконують попереднє офлайн обчислення, і тому кількість обчислень безпосередньо при запиті збільшується з числом користувачів і об'єктів. Алгоритм неможливо використовувати на великих наборах даних, якщо тільки він не використовує скорочення розмірності зменшуючи рівень якості рекомендацій.

Застосування кластеризації надає такі переваги:

1. Краще розуміння структури даних.
2. Багаторазове підвищення продуктивності.
3. Відсіювання шумів у вигляді величезної кількості незначущих даних.

Застосування простої кластеризації або статистичних моделей кластеру вважається перспективним засобом для проблеми розрідженості оцінок. Замість використання розріджених матриць рейтингу користувач-об'єкт, матриця спочатку згладжується на основі середнього рейтингу користувача.

Інтелектуальний інтегрований підхід вироблення рекомендацій використанням мережі побудованої на радіальних базисних функціях (Radial Basis Functions Network, RBFN) і колаборативних фільтрів дозволяє вирішити наведені вище проблеми. Причина для згладжування основана на теоремі Ковера про відокремленість образів [5]. Так, RBFN використовується для згладжених розріджених даних. Згладження вирішує традиційні проблеми, такі як розрідженість та «cold start».

Зниження розмірності вхідних даних при кластеризації дозволяє:

1. Зменшити обсяг обчислень при розрахунку відстані між векторами.
2. Підвищити якість кластеризації за рахунок особливих властивостей векторів головних компонент.
3. Зменшити час кластеризації.

Розглянемо вирішення проблем:

1. масштабованості – шляхом об'єднання користувачів в кластери,
2. розрідженості оцінок – згладжуванням розріджених матриць рейтингу «користувач-об'єкт» за допомогою RBFN
3. холодного старту – через рекомендацію популярних об'єктів.

Таким чином, попередня обробка (навчання), тобто ресурсозатратний розподіл множини користувачів на кластери схожих користувачів, буде проводитись завчасно. Потім онлайн обчислення (рекомендація) проводиться на основі числа кластерів. Таким чином, проблема масштабованості знижується до певної міри.

Щоб подолати труднощі викликані розрідженістю вхідних даних, розріджена матриця вподобань користувачів перетворюється в повну матрицю за допомогою функції згладжування. При згладжуванні кореляція між користувачами посилюється (число кластерів до згладжування > число кластерів після

згладжування). Так, використання згладжувальної моделі забезпечує високу якість рекомендацій.

Організація навчання рекомендаційної системи з використанням кластеризації

Важко знайти корельованих користувачів у дуже розріджених матрицях. Тому матриця «користувач-об'єкт» повинна бути згладжена таким чином, щоб вона стала повною. Згладжування проводиться за допомогою RBFN.

Нехай маємо:

1. Групу M користувачів $\{u_i \mid i = 1, 2, \dots, M\}$.

2. Групу N різних об'єктів $\{p_j \mid j = 1, 2, \dots, N\}$.

3. Рейтингову таблицю r_{ij} – матрицю $[M \times N]$, яка містить оцінки i -ого користувача j -ого об'єкта в області оцінок. Неоцінені об'єкти представлені нульовими значеннями.

Нейронна мережа на основі радіальних базисних функцій є сімейством штучних нейронних мереж, яке має три шари: вхідний шар, прихований шар і вихідний шар. Вхідний шар містить M число нейронів, до яких на вхід подається рейтинг вектор користувачів. Цей шар повністю пов'язаний з усіма нейронами в прихованому шарі. Кожен нейрон в прихованому шарі має функцію активації. Прихований шар також повністю підключений до вихідного шару. Вихідний шар містить M число нейронів, до якого згладжується рейтинг-вектор користувачів. Вихідний шар виконує просту функцію підсумовування користувачів.

Функція активації

Техніка радіальної базисної функції полягає у виборі функції F [5]:

$$F(X_i) = \sum_{k=1}^K w_k \phi(\|X_i - C_k\|) \quad (4)$$

де w_k позначає вектор ваги від прихованого шару до вихідного шару, X_i – дана множина точок, C_k є центром даної множини точок, $\|\cdot\|$ визначає норму і ϕ є функцією активації. Зазначимо три з них:

1) Функція Гауса:

$$\phi(r) = \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right), \text{ для } \sigma > 0. \quad (5)$$

2) Багатокритеріальна функція:

$$\phi(r) = r^\beta, \quad (6)$$

де $\beta > 0$ додатне непарне число.

3) Згладжуюча функція Thin-plate:

$$\phi(r) = r^k \log(r), \text{ де } k > 0. \quad (7)$$

де $r = \|X_i - C_k\|$, σ, β, k – додатні параметри.

Згладжування і алгоритм кластеризації.

Три алгоритми для згладжування розріджених рейтингових матриць та кластеризації

1) Згладжування

Вхід: Розріджена матриця оцінок користувачів $\langle r_{ij} \mid 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N \rangle$, ϕ_1^{\max} , ϕ_1^{\min} – максимум та мінімум функції активації для об'єкту i , r_{ij} – рейтинг об'єкта i від користувача j .

Вихід: Згладжена матриця оцінок користувачів $\langle r'_{ij} \mid 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N \rangle$

Алгоритм:

1. $\text{range} = (\text{max_rating} - \text{min_rating}) + 1$.

2. Знайти кількість кластерів k так, щоб $\frac{\text{range}}{k} \leq 3$.

3. Для кожного j :

3.1. Розділити користувачів на k кластерів за допомогою самоорганізаційної карти Кохонена.

3.2. Обчислити центри $C_k = \frac{\sum_{p=1}^{k1} r_{ip}}{k1}$, де $k1$ – кількість користувачів, що відносяться до даного кластеру.

3.3. Розрахувати матрицю евклідових відстаней $g_{ip} = \|r_{ip} - C_k\|$, де $1 \leq p \leq k1$. Розрахувати функцію

активації $\phi_{ip}(g)$ за допомогою (5), (6) або (7).

3.4. Розрахувати ваги використовуючи функцію псевдовипадкових ваг (8):

$$\omega_i = \frac{(\phi_I^{\max} - \phi_I(r_{iI})) / (\phi_I^{\max} - \phi_I^{\min})}{\sum_{x=1}^n (\phi_{I,x}^{\max} - \phi_{I,x}(r_{xI})) / (\phi_x^{\max} - \phi_x^{\min})}, 1 \leq i \leq M \quad (8)$$

3.5. Обчислити $r'_{ij} = F(r_{ij})$ за допомогою формули (4).

2) SOM кластеризація

Вхід: Вектор оцінок об'єкта $\langle x_i | 1 \leq i \leq M \rangle$, α_{old} – швидкість навчання, $\omega_j(t)$ – вектор ваг в момент часу t , $n1$ означає кількість ітерацій.

Вихід: Розподілені k векторів.

Алгоритм:

1. Ініціалізація випадковими значеннями ваг $w_j = \{w_{1j}, w_{2j}, \dots, w_{mj}\}$ для кожного нейрона j з вихідної карти.

2. Випадково обрати для розгляду вектор x .

3. Обчислити відстань d_j (в M -вимірному просторі),

$$d_j = \sqrt{\sum (x_i - w_{ij})^2}. \quad (9)$$

4. Обчислити нейрона-переможця – нейрона k , який найближче до вектора x .

5. Змінити всі вектори ваг

$$\alpha_{new} = \alpha_{old} \cdot 0.5 \quad (10)$$

$$w_j(t+1) = w_j(t) + \alpha_{new} \cdot (x - w_j(t)) \quad (11)$$

6. Повторити кроки 2-5 $n1$ разів.

3) Кластеризація з використанням кореляційної функції.

Вхід: Згладжена матриця оцінок користувачів $\langle r'_{ij} | 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N \rangle$, t – набір об'єктів, оцінених користувачами i та j , \bar{r}_i, \bar{r}_j – середні оцінки користувачів i та j відповідно.

Вихід: Розподілені k кластерів ($Clus_k$ - набір корельованих користувачів).

Алгоритм:

Для кожного користувача i ($1 \leq i \leq M$, схожість обчислюється між M користувачами).

1. $sim_count(i) = 0$.

2. Для кожного користувача j ($1 \leq j \leq M$)

3. Знайти схожість користувачів i та j за формулою кореляції Пірсона (12):

$$sim_{i,j} = \frac{\sum_{t \in r_i \Delta r_j} (r'_{it} - \bar{r}_i) \cdot (r'_{jt} - \bar{r}_j)}{\sqrt{\sum_{t \in r_i \Delta r_j} (r'_{it} - \bar{r}_i)^2} \sqrt{\sum_{t \in r_i \Delta r_j} (r'_{jt} - \bar{r}_j)^2}} \quad (12)$$

4. Якщо $sim_{i,j} = 1$, то $sim_count(i) = sim_count(i) + 1$.

5. Визначити k користувачів, які мають навищу подібність, як голову кластера для кластера k .

6. Позначити користувачів до відповідних кластерів.

7. Повторити пункти 2 та 3 для всіх M користувачів.

Особливості організації функціонування рекомендаційної системи

Архітектура рекомендаційної системи показано на рис. 1

Функціональні характеристики:

1. Якщо немає оцінених об'єктів (проблема холодного старту), потім відправити T найпопулярніших об'єктів з кожного кластера рекомендаційному агенту.

2. В іншому випадку, визначаємо позитивні і негативні сусідні кластери використовуючи кореляційну функцію Пірсона [6]:

$$sim_{i,j} = \frac{\sum_{t \in r_i \Delta r_j} (r'_{it} - \bar{r}_i)(r'_{jt} - \bar{r}_j)}{\sqrt{\sum_{t \in r_i \Delta r_j} (r'_{it} - \bar{r}_i)^2} \sqrt{\sum_{t \in r_i \Delta r_j} (r'_{jt} - \bar{r}_j)^2}}. \quad (13)$$

3. Визначаємо найближчі позитивні і негативні сусіди з корельованих кластерів використанням Косинус-функції схожості:

$$csim_{i,j} = \frac{\sum_{k=1}^N r_{ik} \cdot r_{jk}}{\sqrt{\sum_{k=1}^N r_{ik}^2 \cdot \sum_{k=1}^N r_{jk}^2}} \quad (14)$$

4. Прогнозування оцінки об'єктів з нульовою оцінкою за допомогою функції прогнозування. Обираємо підмножину К найбільш подібних користувачів на основі їх схожості з активним користувачем. Середньозважене відхилення від сусіда [7]:

$$P_{ui} = \bar{r}_i + \frac{\sum_{m=1}^c (r'_{mi} - \bar{r}_m) \cdot csim_{u,m}}{\sum_{m=1}^c csim_{u,m}} \quad (15)$$

5. У крок 4 для негативну кореляцію користувачів.

6. Позначимо X, як множина рекомендованих об'єктів прогнозована на підставі результатів позитивних найближчих сусідів і Y, як множина рекомендованих об'єктів прогнозована на основі результатів негативних найближчих сусідів.

7. Розрахувати Z = X - Y. Множина Z направляється до рекомендаційного агента.

8. Рекомендувати множину об'єктів T активному користувачу.

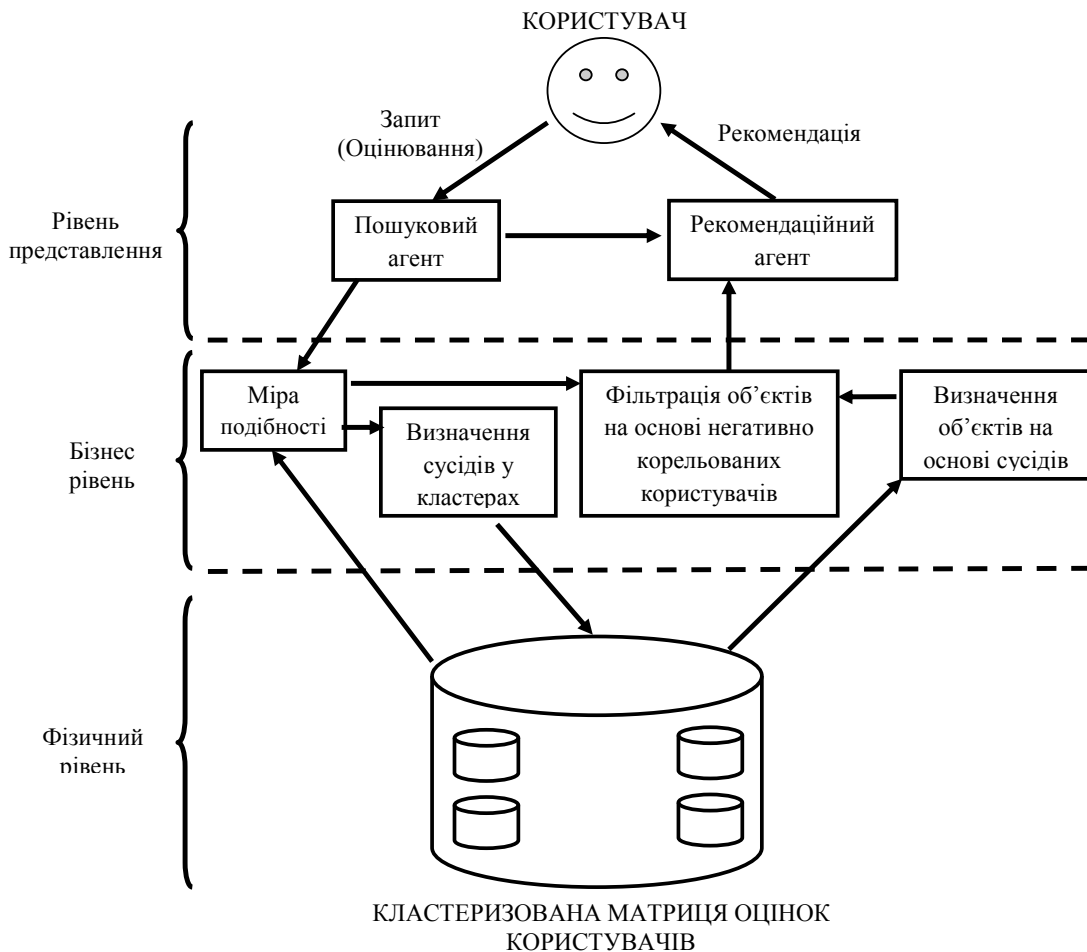


Рис. 1. Архітектура рекомендаційної системи

Перспективи використання:

1. Впровадження в електронні магазини і вітрини для полегшення пошуку товарів, які цікавлять користувачів
2. Вивчення користувацьких вподобань для розміщення максимально затребуваних товарів
3. Можливість отримати різні вибірки користувачів по інтересам, підбір однодумців та користувачів зі спільними вподобаннями [6].

Висновки

Рекомендаційні системи як нові маркетингові стратегії відіграють важливу роль, особливо в електронній торгівлі. Серед різних рекомендаційних систем, колаборативні рекомендаційні системи (CRS) широко використовуються в ряді різних систем. Інтелектуальні підходи до вироблення рекомендацій

пропонуються з метою подолання традиційних проблем CRS. Аналіз різних алгоритмів колаборативної фільтрації показують, що запропонований підхід є більш ефективним, ніж інші існуючі підходи з точки зору точності та актуальності вироблених рекомендацій.

Для подолання проблем колаборативної фільтрації, рекомендаційна система повинна використовувати гібридні технології (колаборативна та контент-фільтрація), щоб забезпечити точність рекомендацій.

Завдяки використанню кластерного аналізу для розбиття користувачів за схожістю вподобань вдосконалений алгоритм роботи рекомендаційної системи забезпечує зменшення часу на обробку даних та підвищує точність рекомендацій.

Таким чином, колаборативна фільтрація з попереднім згладженням набору даних та кластеризацією користувачів забезпечує високу якість надаваних їм рекомендацій.

Література

1. Xiaoyuan Su. A Survey of Collaborative Filtering Techniques / Xiaoyuan Su, Taghi, M. Khoshgoftaar. – Hindawi Publishing Corporation USA, 2009. – 215 p. – ISBN:1- 85233-661-7.
2. Сегаран Т. Программируем коллективный разум. / Т. Сегаран; [пер. с англ. А. Слинкина]. – СПб. : Символ-Плюс, 2008. – 368 с., ил. – ISBN 5-93286-119-3.
3. Gediminas Adomavicius and Alexander Tuzhilin, "Toward the Next Generation of Recommender Systems: A Survey of the State-of-the-Art and Possible Extensions," IEEE Trans. on Knowledge and Data Engineering, vol. 17, no. 6, June 2005, pp. 734-749.
4. Bardul M. Sarwar, George Karypis, Joseph A. Konstan, and John T. Riedl, "Analysis of recommendation algorithms for e-commerce," in Electronic Commerce, 2008.
5. M. Deshpande and G. Karypis. Item-based top-n recommendation algorithms. ACM Trans. Inf. Syst., 22(1):143–177, 2004.
6. B. Mobasher, "Recommender systems," Kunstliche Intelligenz, Special Issue on Web Mining, vol. 3, pp. 41–43, 2007.
7. J. Herlocker, J. Konstan, L. Terveen, and J. Riedl. «Evaluating collaborative filtering recommender systems», ACM Translations on Information Systems, Vol. 22(1), 2004.

Надійшла 8.1.2011 р.

УДК 681.3.01

Т.О. САВЧУК, А.В. КОЗАЧУК
Вінницький національний технічний університет

РЕЗУЛЬТАТИ МОДЕЛЮВАННЯ СТАНУ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ЗАЛІЗНИЧНОЇ ЦИСТЕРНИ

У статті описані результати моделювання стану температурного поля залізничної цистерни, отримані в результаті роботи розробленої комп'ютерної програми. Отримані результати дають змогу передбачити час вибуху цистерни при різних зовнішніх та внутрішніх умовах.

The article describes the results of simulation of temperature field of tank, obtained as a result of developed software application. A result of simulation allows to predict the explosion of the tank with various external and internal conditions.

Ключові слова: моделювання температурного поля залізничної цистерни, надзвичайні ситуації на залізничному транспорті, імітаційне моделювання, чисельні методи.

Вступ

Широке розповсюдження залізничного транспорту в Україні накладає високі вимоги щодо безпеки залізничних перевезень. Щоб збільшити рівень безпеки на залізниці слід проводити прогнозування стану рухомого складу потяга з метою попередження надзвичайних ситуацій та оперативної ліквідації їх наслідків. Прогнозування (моделювання) стану температурного поля залізничної цистерни дає можливість отримати уявлення про процеси, що відбуваються всередині цистерн як в штатних, так і в нештатних ситуаціях.

Необхідно, маючи інформацію про зовнішнє джерело тепла A , представлену у вигляді тривимірного закону розподілу, фізичні параметри речовини, що перевозиться q , фізичні та геометричні характеристики цистерни c , визначити стан температурного поля цистерни у довільний момент часу t . Метою дослідження є отримання результатів моделювання стану температурного поля залізничної цистерни.

Результати моделювання стану температурного поля цистерни

На основі співвідношень, описаних у [1] розроблено комп'ютерну програму прогнозування стану залізничної цистерни під час пожежі. Розроблена програма реалізовує кінцево-елементний алгоритм моделювання термодинамічного стану речовини, описаний у [1, 2]. Програма передбачає можливість зміни геометричних параметрів цистерни, завдання особливостей джерела тепла та речовини, що перевозиться.

Програму написано мовою C#. Для візуалізації використовується технологія Windows Presentation Foundation (WPF). Для побудови графіків – бібліотека WPF Toolkit DVC. Інтерфейс програми зображено на рис. 1.

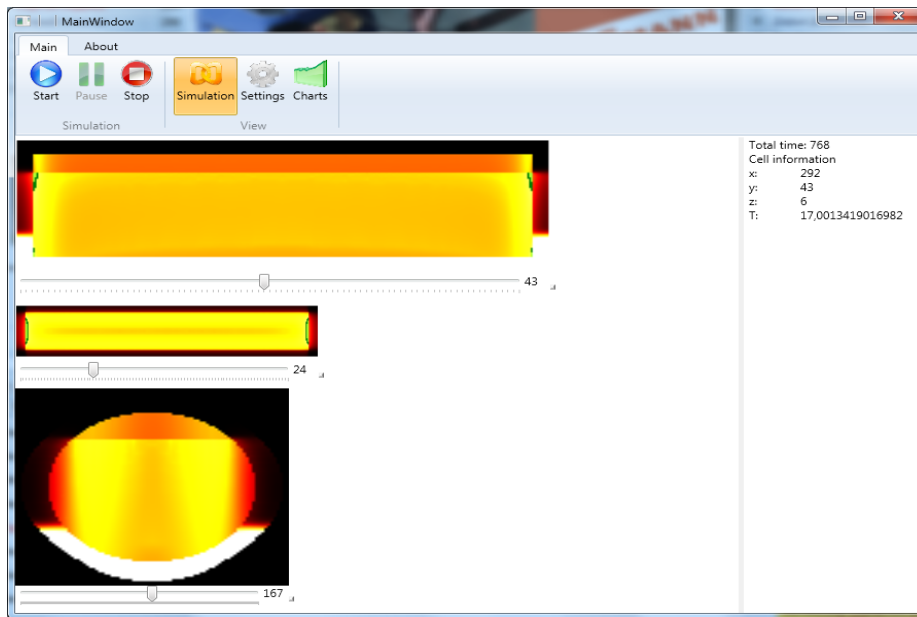


Рис. 1. Головне вікно програми прогнозування стану залізничної цистерни

За допомогою розробленої програми проведено моделювання стану залізничної цистерни під час нагріву зовнішнім джерелом тепла.

У роботах [3,4] наведено експериментальні дані, отримані при нагріві залізничної цистерни, заповненої водою. Було створено відповідні кінцевоелементні моделі залізничних цистерн та проведено прогнозування стану цистерни. Параметри моделі та результат прогнозування представлені на рисунках 2 – 4.

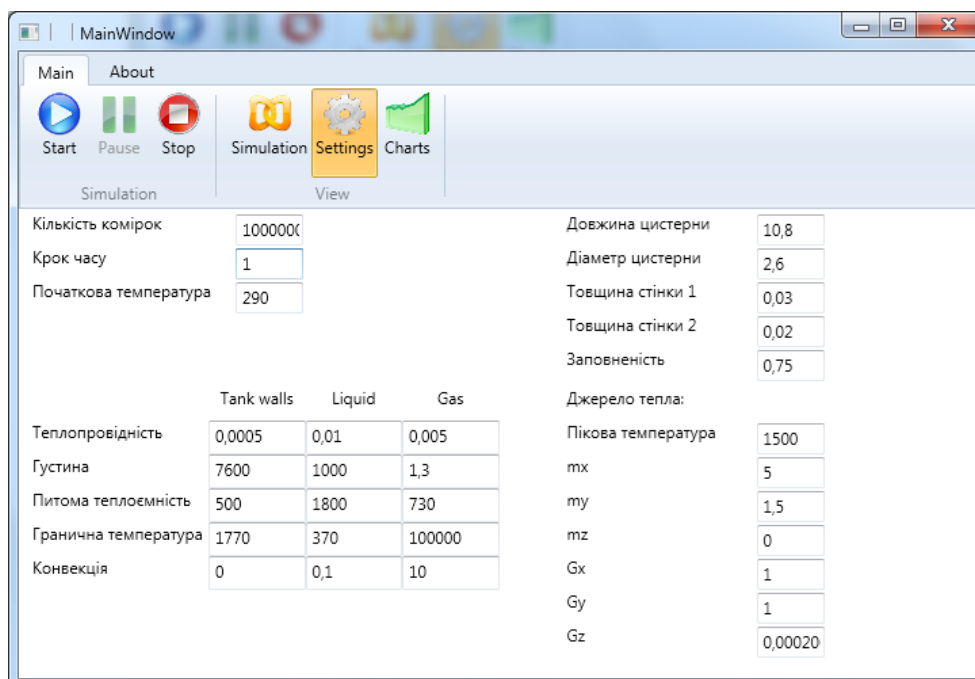


Рис. 2. Параметри моделювання цистерни з водою

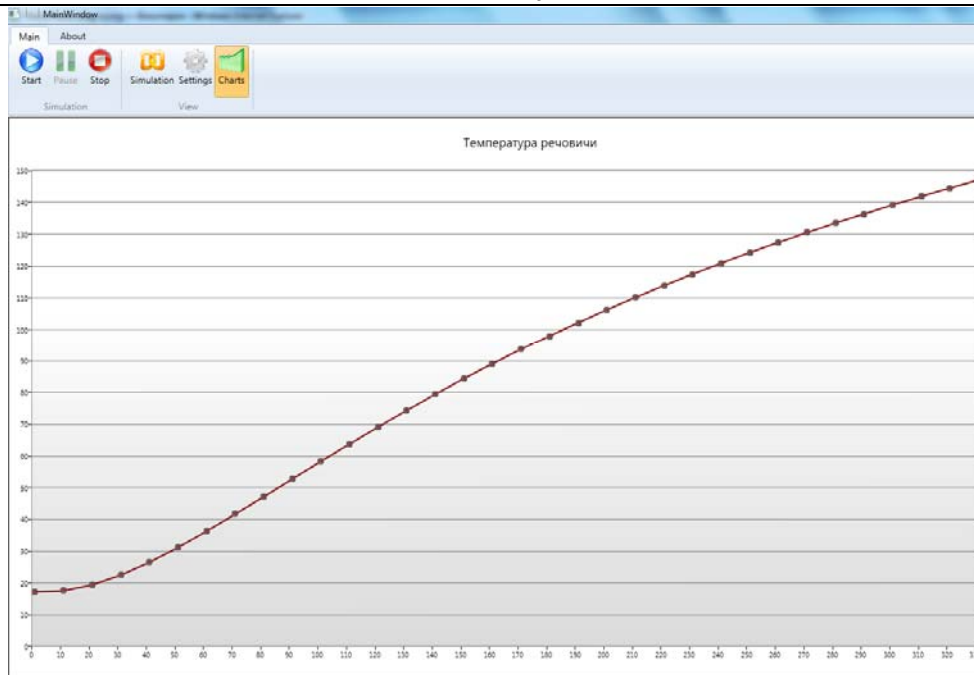


Рис. 3. Залежність температури газу від часу при заповненості цистерни у 33 %

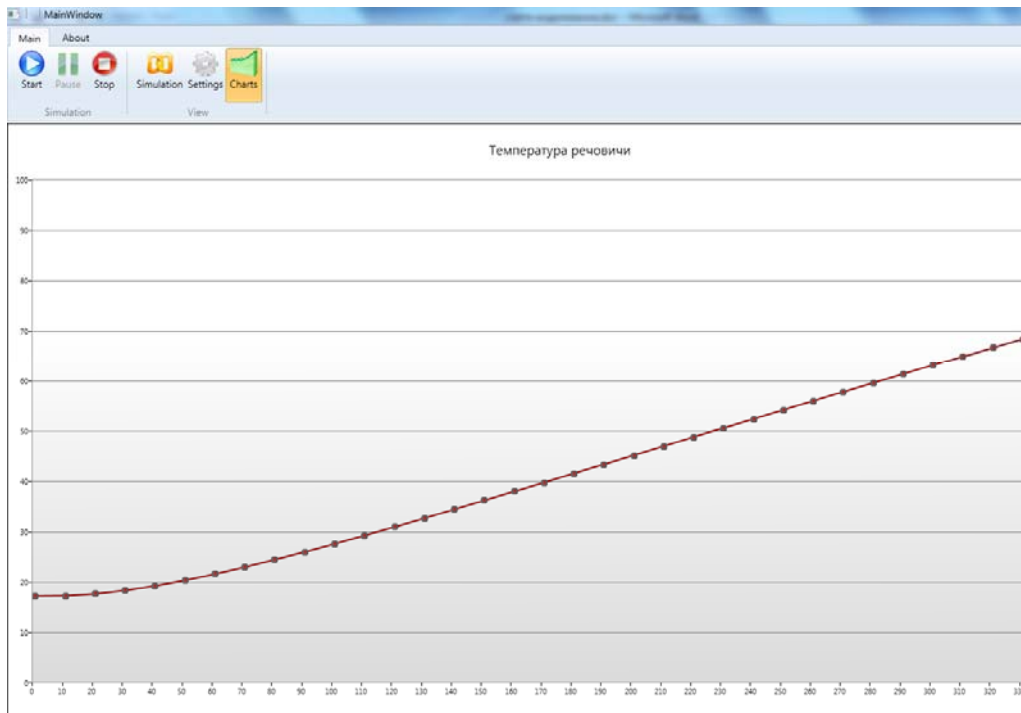


Рис. 4. Залежність температури рідини від часу при заповненості цистерни у 33 %

На рисунках 5, 6 показано порівняння прогнозованого значення температури з експериментальним. Похибка обчислень для прогнозування стану газу склала 11 %, при прогнозуванні стану рідини – 12 %.

Було проведено залежність результату прогнозування від таких параметрів моделі, як кількість елементарних комірок та проміжок часу між ітераціями. Дослідження показали, що результат моделювання при зміні кроку часу та кількості комірок змінюється не більше ніж на 10 %. Але при досягненні певних критичних значень, які залежать, також, і від параметрів речовини у цистерні починають накопичуватись завади, пов'язані з похибками обчислень чисел з плаваючою комою. Накопичення завад відбувається у певних «вузлах», які легко помітні на діаграмі температур. Поява вузлів знижує точність прогнозу, тому бажано використовувати такі параметри моделі, при яких вузли не виникають.

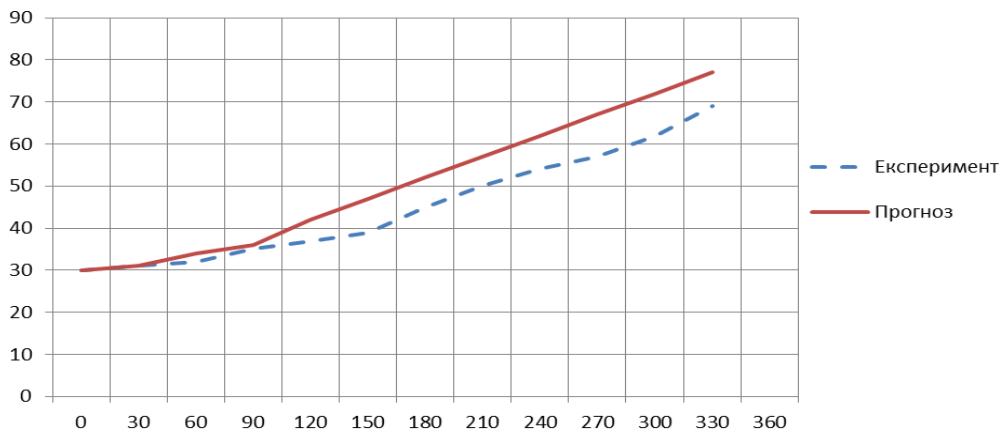


Рис. 5. Порівняння отриманого прогнозу температури рідини з експериментальними даними

Причиною можливого вибуху є підвищення температури та тиску газоповітряної суміші у цистерні, що може призвести до безпосереднього руйнування стінок цистерни через зростаюче статичне навантаження або, за певних умов, до спалаху газоповітряної суміші, що призводить до вибуху цистерни з великою імовірністю.

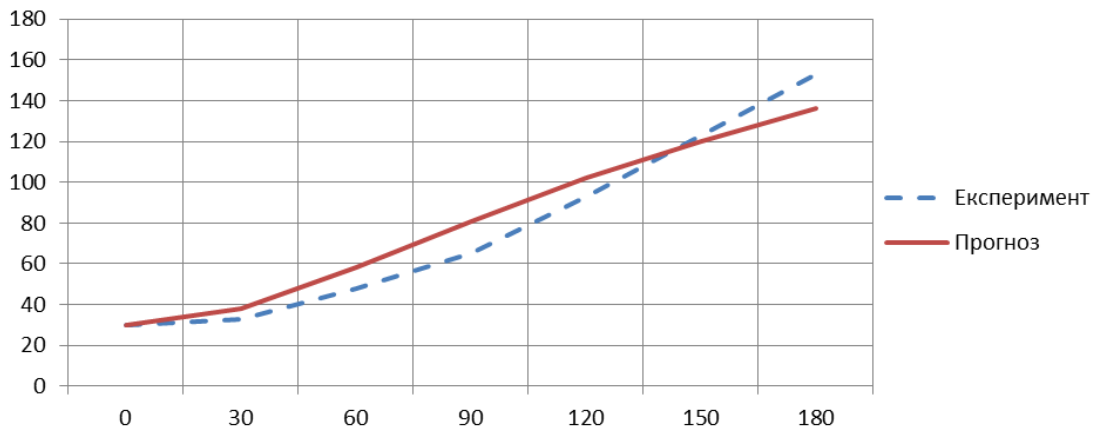


Рис. 6. Порівняння отриманого прогнозу температури газу з експериментальними даними

Рівняння стану газоповітряної суміші можна описати рівнянням Ван дер Ваальса (1), де p – тиск газу, V – об'єм газу, T – температура, v – кількість молів речовини, R – універсальна газова стала, a , b – поправки до рівняння стану ідеального газу.

$$\left(p + \frac{av^2}{V^2}\right)\left(\frac{V}{v} - b\right) = RT \quad (1)$$

Припустивши, що об'єм газу та кількість речовини не змінюються, двічі застосуємо формулу (1) до газу з параметрами (p_1, V_1) , та (p_2, V_2) відповідно та поділимо отримані співвідношення одне на одного.

$$\frac{p_2 + \frac{av^2}{V^2}}{p_1 + \frac{av^2}{V^2}} = \frac{T_2}{T_1} \quad (2)$$

$$p_2 = \frac{T_2}{T_1} p_1 + \frac{av^2}{V^2} \left(\frac{T_2}{T_1} - 1\right) \quad (3)$$

Таким чином, маючи значення температури газу, можна визначити тиск всередині цистерни у будь-який момент часу, що дає можливість оцінити час з моменту появи полум'я до виникнення надзвичайної ситуації.

Висновки

Отже, за допомогою розробленої комп'ютерної програми, було проведено моделювання стану температурного поля залізничної цистерни. Отримані результати дають можливість отримати значення тиску у цистерні в будь-який момент часу і на основі цього значення оцінити імовірність вибуху цистерни, що дозволяє проводити прогнозування стану швидкоплинної надзвичайної ситуації на залізничному транспорті.

Література

1. Перевозніков С.І. Емпіричні та стійкі чисельні методи для прогнозування фізичного стану вантажу потяга / С. І. Перевозніков, А. В. Козачук // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – №1(17). – Вінниця: Універсум. – 2010. – 102 с.
2. Михеев М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев // Энергия. – Москва. – 1977. – 343 с.
3. US Coast Guard Office of Research and Development. Fire testing of independent fiberglass fuel tanks with and without protective coating of fire retardant paint, May 8, 1972. Report AD 740783. Washington, DC
4. Хабибулин Р.Ш. Валидность компьютерной модели теплового воздействия очага пожара на резервуар с горючей жидкостью [электронный ресурс] / Р.Ш. Хабибулин // <http://narod.yandex.ru/100.xhtml?agps-2006.narod.ru/ttb/2008-1/06-01-08.ttb.pdf>

Надійшла 18.1.2011 р.

УДК 631.321

І.В. ТРОЦІШИН

Хмельницький національний університет

НАПРЯМКИ КВАНТОВОЇ ТЕОРІЇ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН НА ОСНОВІ ЄДИНОЇ ДРОБОВО-РАЦІОНАЛЬНОЇ ШКАЛИ ВИМІРЮВАНЬ

Стаття присвячена детальному розгляду принципів особливостей Квантової теорії вимірювань на прикладі АЦП. Показано суттєві переваги і більш високі технічні параметри АЦП коінциденції, і особливо супер-АЦП у порівнянні із класичними. Приведено характеристики перетворення та структурну схему АЦП.

Article is devoted to detailed consideration of the key features of the quantum theory of measurement for example ADC. Shown significant advantages and higher technical parameters coincidence ADC, and especially the super-ADC compared to classical. The characteristics of transformation and block diagram of ADC.

Ключові слова квантова теорія, АЦП, метод коінциденції, шкала вимірювального перетворення.

Вступ

Сучасна вимірювальна техніка, метрологія та приладобудування мають принципове обмеження і в рамках сучасних уявлень принципово не допускають одночасного підвищення і точності і швидкодії вимірювального цифрового перетворення. В рамках теорії ФЧВ і ПР авторами проекту вдалося довести і практично досягнути значного збільшення (в 10-100 разів), і покращити суперечливий параметр ТОЧНІСТЬ×ШВИДКОДІЯ ВИМІРЮВАНЬ саме для фазочастотних параметрів радіосигналів [1-3].

Враховуючи, що в основі досягнутих унікальних результатів є заміна у використанні самої “ідеології” до процедури вимірювального перетворення та поняття шкали вимірювання, як із цілими так і дробовими поділками, які опираються на квантовані значення матриці можливих вимірювальних значень. Тому, очевидно є можливість створення єдиної теорії вимірювального цифрового перетворення фізичних величин для вирішення принципової проблеми одночасного підвищення параметру ТОЧНІСТЬ×ШВИДКОДІЯ ВИМІРЮВАНЬ.

Об'єкт дослідження: процеси та процедури здійснення аналого-цифрового перетворення реальних значень фізичних (електричних та неелектричних) у вимірювальних приладах;

Предмет дослідження: теорія та практика і метрологічні аспекти вимірювальних перетворень фізичних (електричних та неелектричних) величин.

Загальною проблемою приладобудування є наявність принципового обмеження і неможливості (в рамках існуючих класичних концепцій та методів) одночасного підвищення точності (роздільної здатності) і швидкодії вимірювальних операцій, тобто знаходження числового значення невідомої величини.

Конкретна фундаментальна задача полягає у розробці єдиної теорії та методології і її широкого впровадження, яка базується на використанні понять реперних точок матриці можливих станів для збільшення роздільної здатності вимірювальної шкали аналогово-цифрового перетворення, шляхом використання не лише цілочисельної частини позначок шкали (класичні методи), а також і всіх можливих дробових значень (Квантова теорія).

Метою наукової розробки – є створення єдиної теорії та методологічної системи нових, саме “ідеологічних”, підходів до розв'язання головної проблеми вимірювальної техніки і метрології: – одночасного підвищення і точності і швидкодії вимірювальних приладів різних фізичних величин (електричних та неелектричних).

Основними завданнями в процесі розробки і створення Квантової теорії вимірювань (КТВ) є:

- створення та розробка математичних моделей вимірювальних процедур різних фізичних величин, адекватних до реальних а не ідеалізованих параметрів;
- перегляд та встановлення ієрархічної залежності існуючих та розроблених нових методів вимірювань із врахуванням причинно-наслідкових та метрологічних аспектів процедури вимірювальних АЦП;

- дослідження принципів та особливостей утворення дробової частини поділок на єдиній цілочисельній шкалі вимірюваних значень;
- дослідження метрологічних характеристик нової вимірювальної шкали, визначення важливих метрологічних характеристик (лінійності, нерівномірностей, статистичних параметрів та характеристик шкал);
- дослідження динаміки утворення матриці можливих значень вимірювальних шкал в рамках нової теорії та концепції реперних точок;
- розробка методології та методик використання результатів розробленої нової теорії та практики для одночасного підвищення і точності і швидкодії вимірювального цифрового перетворення в різних галузях приладобудування;
- написання та видання монографії за результатами та досягненнями досліджень з детальним описом КТВ.

1. Суть проблеми

Головна проблема вимірювальної техніки – потенційна неможливість одночасного підвищення як точності так і швидкості вимірювань та вимірювальних приладів існує з тих часів коли почали вимірювати фізичні величини. Суттєвим проривом в цьому напрямку стали поява електричних сигналів та вимірювання їх характеристик і параметрів, а інші фізичні величини почали перетворювати в електричні сигнали.

Теоретичною квантовою межею є відома межа невизначеності Гейзенберга та теорема дуальності ($df \cdot df < 1$ в галузі частотних вимірювань). Вказані принципи обмеження внесені та закріплені у ДСТУ, викладено у монографіях і підручниках. Проте, є окремі прояви явищ, методів та приладів у яких спостерігається можливість подолання вказаних обмежень, а найбільш характерними є різновиди так званих методів одно та двосторонніх ноніусів, і особливо метод коінцидентії [4-5].

Але ні у вітчизняних ні у зарубіжних вчених немає єдиної чіткої теорії, яка б мала єдині принципи та методологію, що пояснюють отримані локальні результати. Нам же вдалося не лише отримати їх, а і пояснити, створивши теорію Фазочастотних вимірювань і перетворень радіосигналів (ФЧВ і ПР), для найбільш характерного класу вимірювальних сигналів (радіосигналів), досягши покращення проблематичного параметру ТОЧНІСТЬ × ШВИДКОДІЯ ВИМІРЮВАНЬ в 10-100разів!!!, без ускладнення, а навіть навпаки за рахунок спрощення структури приладів [1-5].

Розроблена концепція саме фазочастотного підходу, (замість класичного – частотного), дозволила пояснити та прорахувати метрологічні характеристики під час вимірювання частоти сигналів із обмеженим часом доступу. Точність в 1Гц було досягнуто за час вимірювання ~ одиниць мілісекунд в діапазоні одиниць МГц. Вказані результати опубліковано в монографії, докторській та 8 кандидатських дисертаціях, майже 60 статтях, та 10 патентах, сотні доповідей, а також практично реалізовані у реальних приладах, які пройшли неодноразове випробування [2-4]. В основі успішної реалізації нової концепції КТВ лежить гіпотеза, про те, що картина реального світу, як правило, суттєво відрізняється від тих існуючих математичних моделей якими прийнято користуватися, і які у багатьох випадках були уведено не з позицій метрології і вимірювальної техніки, а для зручності та простоти представлення і використання вже напрацьованих математичних методів.

Тому критичний перегляд саме теоретичних основ введення математичних моделей із дотриманням причинно-наслідкових зв'язків та вже доведеного фазочастотного підходу і ідеї утворення і використання вимірювальної шкали не лише із цілочисельними значеннями, а також і дробовими квантованими значеннями поділок між цілочисельними значеннями, на єдиній шкалі вимірювання. Використання як найвищого ступеню ієрархії побудови вимірювального перетворення фізичних величин саме на основі методу коінцидентії, який вже проявив себе в деяких галузях вимірювань, але не лише не має конкретної теорії в світі, а і не має наукового обґрунтування досягнутих результатів, окрім теорії ФЧВ і ПР (для фазочастотних параметрів радіосигналів) [1, 2].

В результаті планується отримати глибоке наукове і філософське обґрунтування принципово нових знань та встановлення закономірностей утворення Повної вимірювальної шкали, концептуальних засад наявності у природі квантованих значень матриці можливих числових станів вимірюваних параметрів при визначеному алгоритмі аналого-цифрового перетворення. Квантова теорія вимірювань, яка спирається на поняття природних реперних точок, і розробка в її межах нових методів вимірювання фізичних величин, та побудови приладів і суттєвим покращенням параметру ТОЧНІСТЬ × ШВИДКОДІЯ ВИМІРЮВАНЬ та інших метрологічних характеристик, у порівнянні із тими, що є тепер, є проривом у науковому пізнанні саме реальної а не ідеалізованої картини Світу. Будь яка інформація про аналогічні досягнення в Україні або за кордоном відсутні, і є принципово неможливими без переходу на нові принципи теорії ФЧВ і ПР [1].

2. SUPER ADC – особливості та характеристики

Для прикладу приведемо розгляд створення АЦП нового виду із використанням принципів Квантової теорії вимірювань, які наглядно доводять значне покращення характеристик АЦП у порівнянні із класичними та відкривають принципово нові можливості самого аналогово-цифрового перетворення.

Спочатку розглянемо загальний випадок коли використовується повний інформаційний обсяг параметричного перетворення амплітудних значень в цифровий код із використанням принципу

коінциденції для утворення повної шкали перетворення. Наприклад, для АЦП (паралельного типу Flesh) для 8R роздільна здатність і шкала мають 2^N и $2^N - 1$, що складе $8-1 = 7$ значень шкали, і 7 компараторів. Разове використання методу коінциденції шляхом додавання ще одного набору 8R-резисторів і 15 компараторів, ми отримаємо повну шкалу з 22 значеннями, що дає збільшення кількості відліків шкали в діапазоні 0-1,0 з 7 до 22.

Повна шкала всіх можливих значень такого перетворення лежить в діапазоні значень $\frac{1}{2^N} \div 2^N$, і загальна кількість точок відліку (поділок шкали) дорівнює 43!

Повторне застосування принципу коінциденції і перехід до тривимірної (просторової) інтерпретації перетворення (при збільшенні загальної кількості резисторів до 53R, отримаємо Повну шкалу в діапазоні $\frac{1}{2^N} \div 2^N$, $\frac{1}{64} \div 64$, з 331 значенням поділок, при цьому 166 значень лежить в діапазоні 0-1,0.

За цих же умов класичний Flesh ADC, навіть з 64 R (замість 53R) забезпечує тільки 63 значення шкали (в діапазоні 0-1,0), а шкали вище 1,0 взагалі не існує.

У логарифмічному масштабі це будуть такі співвідношення діапазонів, щодо класичного:

$$B_{coin} = \frac{43}{7} (48 \text{ Дб}), B_{super} = \frac{331}{64} (72 \text{ Дб}).$$

У таблиці 1 наведено характерні параметри для шкал при інших значення кількості R, а також співвідношення числових значень на класичній, одиночній і подвійній шкалах коінциденції.

Таблиця 1

Характерні параметри для шкал

Тип АЦП	NR	Кіл. Поділок	Кіл. компараторів	Виграш Кіл.поділ.	Динаміч. Діапазон. Дб	Питома Дб/поділка
Flesh (класич.)	8	7	7	7/7	18	3,4
Coincidence	16	43	43	43/7	36	1,16
SUPER ADC	52	331	331	331/7	72	0,217
Тип АЦП	NR	Кіл. Поділок	Кіл. компараторів	Виграш Кіл.поділ.	Динаміч. Діапазон. Дб	Питома Дб/поділка
Flesh (класич.)	16	15	15	15/15	24	2,13
Coincidence	32	159	159	159/15	48	0,402
SUPER ADC	200	2921	2921	2921/15	96	0,033
Тип АЦП	NR	Кіл. Поділок	Кіл. компараторів	Виграш Кіл.поділ.	Динаміч. Діапазон. Дб	Питома Дб/поділка
Flesh (класич.)	32	31	31	31/63	30	1,16
Coincidence	64	647	647	647/63	60	0,1402
SUPER ADC	1568	43355	43355	43355/63	120	0,0033

Графічно результати для випадку 8R можливо представити наступною послідовністю нормованих шкал перетворення для вказаних типів АЦП.

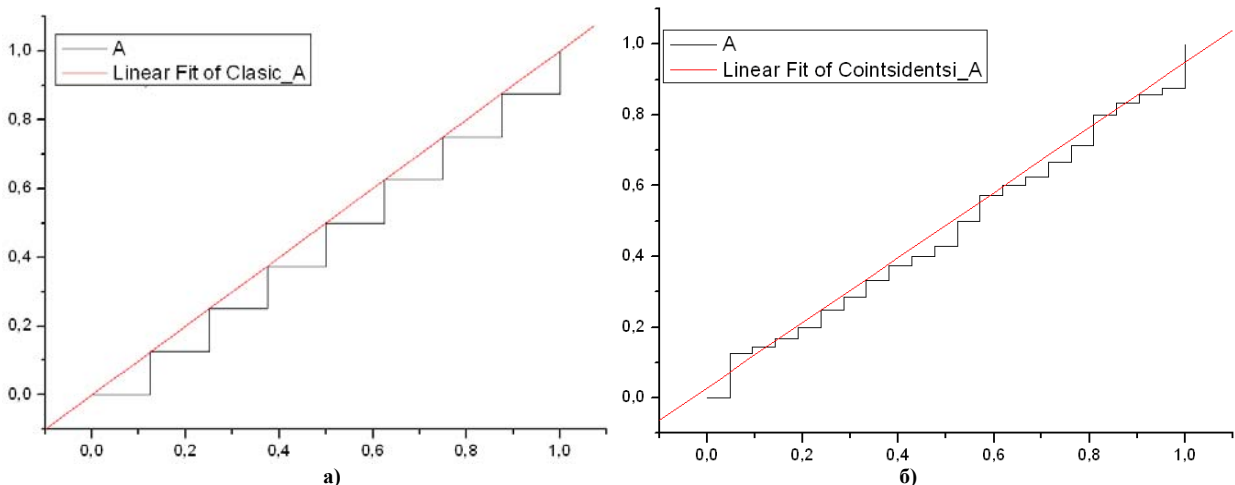


Рис. 1. Нормовані характеристики перетворення АЦП: а) класичний, б) коінциденції

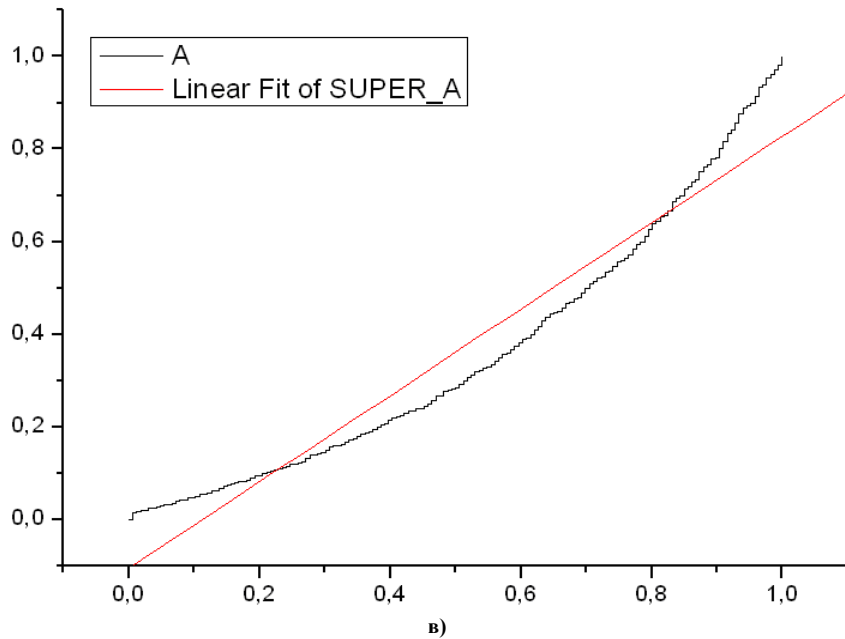


Рис. 1. Нормовані характеристики перетворення АЦП: в) супер-АЦП (продовження)

Очевидним є наявність значних переваг методів Квантової теорії вимірювань для збільшення роздільної здатності шкали вимірювального перетворення, у відповідності до таблиці 1.

3. Математичне обґрунтування методу

Для методу коінциденції (подвійного збігу) можливо записати систему рівнянь які пов'язують основні параметри:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_x = \frac{N_{on}}{N_x} U_{on} - \text{Основне рівняння коінциденції} \\ \Delta U_x \cong \frac{U_{on}}{2^{2n_{on}-2}} - \text{Оцінка роздільної здатності шкали} \\ \delta_{U_x} \cong \frac{1}{2^{2n_{on}-2}} - \text{Відносна похибка перетворення} \end{array} \right\} \quad (1)$$

Роздільна здатність АЦП дорівнює мінімальній величині зміни аналогової напруги на вході АЦП, при зміні коду на 1 МЗР, для СУПЕР_АЦП дорівнює ΔU_x , яке залежить від розрядності АЦП і визначатися кількістю поділок шкали $N_{шк} \cong 2^{2 \cdot n_{АЦП}-2}$.

Наприклад, для двох 12 розрядних ЦАП: $N_{шк} \cong 2^{2 \cdot 12-2} = 2^{22} = 51000120 \text{ поділ}$.

Розрядність АЦП визначається за тією ж формулою: $n = \log_2 b$, b – число значень вихідного коду = $N_{шкали}$.

Характеристика перетворення і всі її параметри визначаються як і для класичного АЦП, з тією лише різницею, що крок квантування визначається не тільки як 2^{-n} (класичний АЦП), але і має всередині кожного з інтервалів класичної шкали ще до 2^{n-2} додаткових значень.

Відхилення коефіцієнта перетворення, нелінійності АЦП відповідно в 2^{n-2} менші ніж у класичного, і допускають встановлення необхідної кількості поділок в будь-якій зоні шкали, шляхом «проріджування та формування рівномірності шкали», шляхом вибору необхідного кроку квантування, в класичному ці величини жорстко пов'язані.

Динамічний діапазон шкали перетворення в дБ може бути виражений як:

$$D = \frac{U_{\max}}{U_{\min}}, \quad (2)$$

для шкали коінциденції має кілька значень.

Так в діапазоні 0-1,0000 дорівнює $N_{шк} = 51000120/2 = 2550060 \text{ поділ}$, і стільки ж для діапазону 1,0000-4096, тобто $D = 20 \log N_{шк}$, дасть відповідно $D = 126 \text{ дБ}$.

Для забезпечення роботи тільки в дробовій частині і забезпечення шкали перетворення в 126дБ необхідно зрушити початок шкали на $1 / 4096$ опорного напруги, або ж можна використовувати всю

дробово-раціональну шкалу, 1/4096-4096. Такий незалежний вибір і гнучкість дозволяють оптимізувати АЦП під вирішуване завдання.

1) Частота роботи лічильника обмежена тільки швидкістю ЦАПів, і без проблем може бути більше 10 МГц, для типових, і 100 МГц для спеціальних швидкодіючих, лічильник адресного простору шкали без проблем забезпечує 100 МГц і більше.

2) Частота вимірюваного (перетвореного) сигналу визначається за відомою формулою теореми Вибіроч (Котельникова), і для трьох варіантів виконання АЦП:

- 1) розгортуючого перетворення;
- 2) послідовного наближення;
- 3) паралельного типу,

відповідно становитиме:

$$f = \frac{1}{2} f_{\text{выбор}} = \frac{1}{2} \frac{f_{\text{такт.ген}}}{\sum N_{\text{шкали}}}; \quad (3)$$

$$f = \frac{1}{2} f_{\text{выбір}} = \frac{1}{2} \frac{f_{\text{такт.ген}}}{\log_2 \sum N_{\text{шкали}}}; \quad (4)$$

$$f = \frac{1}{2} f_{\text{выбір}} = \frac{1}{2} \frac{1}{\tau_{\text{зат.компар}}}. \quad (5)$$

де $\sum N_{\text{шкали}}$ – сумарна кількість квантованих поділок шкали перетворення, (зазначено в SUPER_ADC, і розраховується для конкретної розрядності ЦАПів, розрядність, яких може бути і неоднаковою, все залежить, яку частину шкали, нам необхідно більш деталізувати.

Так що, при 10 МГц і 16 розрядних ЦАП для випадку послідовного наближення частота сигналу:

$$f = \frac{1}{2} f_{\text{выбір}} = \frac{1}{2} \frac{f_{\text{такт.ген}}}{\log_2 \sum N_{\text{шкали}}} = \frac{1}{2} \frac{10^7}{\log_2 \approx 10^9} \approx 160 \text{ кГц}. \quad (6)$$

У ROM занесені розрахункові квантовані значення всієї шкали перетворення, з урахуванням властивостей симетрії, кількість яких визначено виходячи з розв'язуваної задачі, і необхідного алгоритму перетворення. Організація і розмір пам'яті для двох 12 розрядних ЦАП і алгоритму послідовного наближення складе 2x12 розрядних слів кількість яких визначено кількістю поділок шкали, і для випадку

$$N_{\text{шк}} = 51000120 / 2 = 25500060 \text{ под. } n_{RPP} = \log_2 N_{\text{шк}} = 22 \div 24.$$

3. Структура АЦП з коротким описом

Структурна схема АЦП коінциденції для випадку використання методу послідовного наближення представлена на рис. 2.

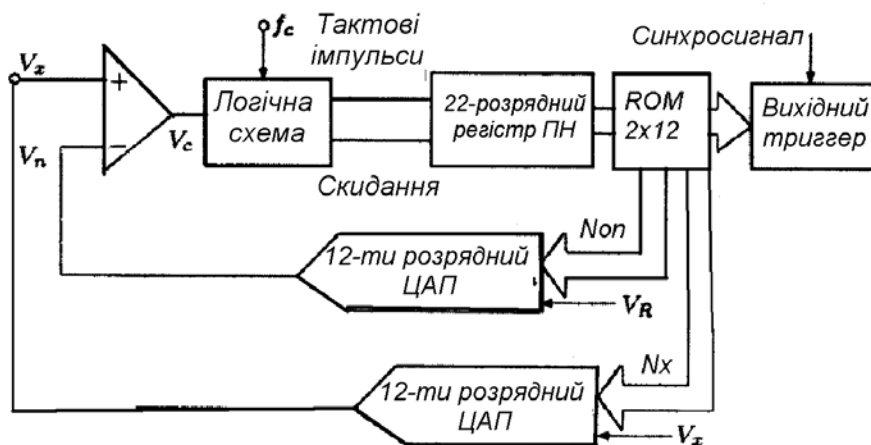


Рис. 2. Структурна схема АЦП коінциденції за методом послідовного наближення

Схема використовує за основу класичну, додані ще один 12 розрядний ЦАП на вхід якого подається вхідний напруга U_x , Регістр послідовного наближення має 20-23 розрядів (залежно від кількості «прошитих» значень шкали перетворення), коди управління ЦАПами формуються на ROM у вигляді 2x12 розрядних слів.

Алгоритм послідовного наближення працює аналогічно класичному, причому для випадку непарної кількості значень, необхідно на один такт менше, що вимагає для повного циклу перетворення 22-25 тактів. Результуючі значення в зручній для відображення або передачі формі знімається з регістра на тригерах-засувках.

Для забезпечення динамічного діапазону в 126 дБ потрібно компаратор з роздільною здатністю не гірше ΔU_x , в той же час, реально сигнал ділиться у кожному з дільників (ЦАП) в 1024 разів меншу величину, ніж у класичній схемі послідовного наближення з 21 розрядом. На відміну від дельта-сігма перетворення, використовується прямий алгоритм квантованого перетворення, а не принцип дельта-модуляції.

Висновки

Використання результатів нової теорії (КТВ) та її методології можливо скрізь, де потрібно одночасно підвищувати параметр: ТОЧНІСТЬ × ШВИДКОДІЯ ВИМІРЮВАНЬ фізичних величин (військова техніка, медицина (томографія, експрес-аналіз, УЗД), високотехнологічні галузі виробництва, нанотехнології, авіаційно-космічна галузь, мікроелектроніка, системи контролю технологічних процесів, робототехніка, вимірювальна техніка та метрологія, приладобудування тощо).

Особливо високоефективним впровадження нового, саме “ідеологічного підходу” у навчальний процес підготовки фахівців в галузі сучасного приладобудування.

Глобально, нова теорія дозволяє збільшити випуск одиниць якісної продукції в одиницю часу (ТОЧНІСТЬ × ШВИДКОДІЯ ВИМІРЮВАНЬ).

В цілому нова теорія із її феноменальними результатами та встановлення нових невідомих раніше закономірностей може слугувати заявкою на відкриття. Патентування можливе в конкретних галузях приладобудування, а також надання ліцензій для провідних розробників прецизійних вимірювальних приладів.

Література

1. Троцишин І.В. Вимірювання та перетворення фазочастотних параметрів радіосигналів / І.В. Троцишин. – Хмельницький, ПП Ковальський В.В. – 2002. – 382 с.
2. Троцишина Л.В. Вимірювання частоти за методом коінциденції / Троцишина Л.В., Войтюк О.П., Троцишин І.В // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – № 2. – С. 198-203.
3. Троцишин І.В. Теорія та практика фазочастотних вимірювань і перетворень радіосигналів // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2007. – № 2. – С. 7-22.
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 коінциденції 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.

Надійшла 20.01.2011 р.

УДК 677.027.4

М.Г. МАРТОСЕНКО

Полтавський університет економіки і торгівлі

О.В. ПАХОЛЮК

Луцький національний технічний університет

З.М. СЕМАК

Львівська національна академія мистецтв

ВИКОРИСТАННЯ РОСЛИННИХ БАРВНИКІВ ДЛЯ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ ТА СВІТЛОСТАБІЛІЗАЦІЇ ЦЕЛЮЛОЗОМІСТКИХ ТЕКСТИЛЬНИХ ПОЛОТЕН

Дана порівняльна характеристика світлостійкості забарвлень і субстрату пофарбованих екстрактами коренів марени фарбувальної і кори яблуні лісової (дички) бавовняних і бавовнянокотонінових (20 % лляного катоніну) трикотажних полотен, а також бавовняної і лляної тканин платтяно-сорочкового призначення. Вивчено також вплив протравлювачів ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ і $CuSO_4 \cdot 5H_2O$) на зміну світлостійкості забарвлень і субстрату названих полотен.

The comparative characteristics colors obtained and substrate dyed madder root extracts of bark painting and wood apple (crab-tree), cotton (20 % linen cottonin) knitted fabrics and cotton and linen fabrics dress-shirt destination. Investigated the influence canvases ($KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ і $CuSO_4 \cdot 5H_2O$) to change colors and substrate obtained these cloths.

Ключові слова: бавовняне полотно, бавовнянокотонінове полотно, бавовняна тканина, лляна тканина, екстракт коренів марени фарбувальної, екстракт кори яблуні лісової, світлостійкість забарвлення, протравлювач.

Актуальність проблеми та її зв'язок з важливими науково-практичними завданнями. Як свідчить зарубіжний досвід та вітчизняна практика, використання рослинної лікарсько-технічної сировини (РЛТС) в різних галузях вітчизняної промисловості (фармацевтичній, харчовій, текстильній, парфумерно-косметичній та інших) дозволяє суттєво підвищити рівень екологічної безпечності та гігієнічності готової продукції, збагатити і розширити її асортимент, більш ефективно і повно використати наявні в країні сировинні ресурси. Особливістю багатьох видів РЛТС є те, що вони володіють поліфункціональними властивостями, а тому успішно можуть використовуватись для виготовлення нових лікарських препаратів, підвищення харчової та біологічної цінності харчових продуктів, екологізації технології виробництва та асортименту текстильних матеріалів і виробів одягового ат інтер'єрного призначення, екологізації асортименту та властивостей багатьох видів парфумерно-косметичних товарів.

Створення на базі РЛТС різноманітних екологобезпечних груп і видів товарів обумовило появу в багатьох економічно розвинутих країнах окремих спеціалізованих сегментів ринків цих товарів. Для будь-якої країни є ознакою престижності розвитку її економіки наявність таких ринків. Окремі сегменти таких ринків вже сформовані в нашій країні. Це стосується, передусім, отриманих на базі РЛТС лікарських препаратів та харчових продуктів.

Розглянемо більш детально шляхи екологізації технологій виробництва, асортименту та властивостей екологобезпечних текстильних матеріалів і виробів одягового та інтер'єрного призначення (екотекстилю), використовуючи для цього наявні в країні види РЛТС (рослинні волокна, рослинні барвники та інші види текстильно-допоміжних речовин, отриманих на рослинній основі).

Одним із найбільш перспективних і економічно та екологічно виправданих напрямків формування асортименту екотекстилю та створення на його основі вітчизняного сегменту екоринку, як показали дослідження [1-5], є більш широке використання рослинних барвників для фарбування целюлозомістких одягових та інтер'єрних матеріалів взамін високотоксичних марок синтетичних барвників.

Аналіз останніх наукових досліджень даної проблеми і визначення питань, що потребують вирішення. Слід підкреслити, що пошуку шляхів екологізації технологій виробництва текстильної сировини і готової продукції, оптимізації структури асортименту основних груп екотекстилю, подальшому вдосконаленню системи стандартизації і сертифікації цих товарів, а також методів комплексної оцінки рівня їх якості та екологічної безпечності в періодичних і монографічних виданнях, на нашу думку, приділяється ще недостатньо уваги. На часі створення міжгалузевої державної програми формування вітчизняного ринку екотекстилю.

Мета роботи. Обґрунтування економічної і екологічної доцільності часткової заміни токсичних марок синтетичних барвників рослинними у малотоннажному текстильному виробництві целюлозомістких одягових текстильних матеріалів, а також пошук шляхів світлостабілізації одягових матеріалів літнього асортименту. Представлялось доцільним також вивчити роль протравлювачів у формуванні світлостійкості забарвлень і субстрату целюлозомістких платтяно-сорочкових матеріалів.

Викладення основного матеріалу дослідження з науковим авторським обґрунтуванням отриманих результатів. Об'єктами дослідження в даній роботі служили бавовняне та бавовнянокотонінове (20 % лляного катоніну) верхньотрикотажні полотна, а також бавовняна і лляна платтяно-сорочкові

тканини. Заправні дані досліджуваних матеріалів наведені в табл. 1.

Для фарбування брали вибілені за класичною технологією полотна, а їх фарбування екстрактами коренів марени фарбувальної та кори яблуні лісової (дички) проведено за раніше описаною методикою [6]. Для одночасного з фарбуванням протравлювання досліджуваних полотен були використані поширені види протравлювачів – $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ і $CuSO_4 \cdot 5H_2O$.

Таблиця 1

Заправні дані досліджуваних матеріалів

№ з/п	Назва матеріалу	Лінійна густина ниток, текс	Щільність – кількість петель (ниток) на 100 мм	Вид переплетення	Поверхнева густина полотна, г/м ²
1	Чистобавовняне трико-тажне полотно вибілене	20x2	64/63 ^{**})	комбіноване на базі повного жакарду	182,2
2	Бавовнянокотонінове (20 % лляного катоніну) трико-тажне полотно вибілене	15,4x2	63/57	- // -	175,4
3	Чистобавовняна тканина вибілена	22/22 [*])	320/217	полотняне	135,0
4	Чистолляна тканина вибілена	34/34	201/170	- // -	120,0

Примітка: *) в чисельниках умовних дробів наведена лінійна густина пряжі в тканинах за основою, а в знаменниках – за утком.

***) в чисельниках наведена щільність трико-тажних полотен по горизонталі (а тканин по основі), а в знаменниках – трико-тажних полотен по вертикалі (тканин відповідно по утку).

З метою оцінки тривалої дії сонячного опромінення на зміну світлостійкості забарвлень і субстрату досліджуваних полотен в липні-серпні 2010 року в селищі Опішня полтавської області була проведена їх інсоляція. При цьому використовувалась наступна методика: зразки полотен закріплювались на дерев'яних рамах і встановлювались на спеціально підготовленій площадці під кутом 45° до горизонту на південь; інсоляція проводилась з 8 до 18 години. При цьому вплив на досліджувані полотна в процесі їх інсоляції опадів, роси і туману був виключений. Зміна температури повітря в процесі експозиції полотен коливалась від 22 до 38°C. Загальна тривалість інсоляції полотен становила 300 год. При цьому зміни в показниках світлостійкості забарвлень полотен оцінювались після 75, 150, 225 і 300 год, а субстрату тільки після 300 год експозиції полотен.

Про зміну світлостійкості забарвлень на досліджуваних полотнах після відповідних періодів їх інсоляції судили за показниками загального колірного контрасту, а світлостійкості субстрату – за показниками розрахункового розривного навантаження. При цьому величину показників загального колірного контрасту (в од. ΔE) визначали спектрофотометричним методом з використанням спектрофотометра Spectro: 5100 і розрахункових формул системи CIEL^a*b^x (1976 р.) [7]. Розривні характеристики полотен до і після 300 год їх інсоляції визначались з допомогою динамометра РТ-250М за загальноприйнятою методикою. Отримані результати досліджень наведені в табл. 2 і на рис. 1–4.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика світлостійкості забарвлень і субстрату досліджуваних полотен (тканин)

№ з/п	Вид полотна, рослинного барвника та протравлювача	Загальний колірний контраст після 300 год сонячного опромінення, од. ΔE	Зниження розрахункового розривального навантаження полотен за вертикаллю (основою) після 300 год сонячного опромінення, %
1	2	3	4
1	Бавовняне трико-тажне полотно, вибілене	-	53,0
2	Те ж, пофарбоване екстрактом коренів марени фарбувальної без протравлювання	9,5	47,6
3	Те ж, з протравлюванням $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	4,0	24,4
4	Те ж, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	4,3	21,2
5	Бавовнянокотонінове трико-тажне полотно, вибілене	-	48,5
6	Те ж, пофарбоване екстрактом коренів марени фарбувальної без протравлювання	9,1	45,5
7	Те ж, з протравлюванням $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	5,3	22,2
8	Те ж, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	5,3	20,8
9	Бавовняне трико-тажне полотно, вибілене	-	53,0

1	2	3	4
10	Те ж, пофарбоване екстрактом кори яблуні лісової (дички) без протравлювання	4,6	49,7
11	Те ж, з протравлюванням $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	18,1	42,3
12	Те ж, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	7,0	43,7
13	Бавовнянокотонінове трикотажне полотно, вибілене	-	48,5
14	Те ж, пофарбоване екстрактом кори яблуні лісової (дички) без протравлювання	3,5	24,1
15	Те ж, з протравлюванням $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	16,8	23,3
16	Те ж, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	6,9	20,7
17	Бавовняна тканина, вибілена	-	21,4
18	Те ж, пофарбоване екстрактом коренів марени фарбувальної без протравлювання	5,8	27,0
19	Те ж, з протравлюванням $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	3,7	15,4
20	Те ж, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	3,2	13,7
21	Лляна тканина, вибілена	-	25,0
22	Те ж, пофарбоване екстрактом коренів марени фарбувальної без протравлювання	6,0	17,7
23	Те ж, з протравлюванням $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	4,1	19,0
24	Те ж, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	4,6	23,1
25	Бавовняна тканина, вибілена	-	21,4
26	Те ж, пофарбоване екстрактом кори яблуні лісової (дички) без протравлювання	5,0	24,0
27	Те ж, з протравлюванням $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	16,9	21,0
28	Те ж, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	8,3	24,1
29	Лляна тканина, вибілена	-	25,0
30	Те ж, пофарбоване екстрактом кори яблуні лісової (дички) без протравлювання	4,0	25,1
31	Те ж, з протравлюванням $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	16,3	15,2
32	Те ж, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	3,9	21,1

Використання інструментальної колориметрії замість традиційної візуальної при оцінюванні світлостійкості забарвлень на досліджуваних полотнах пояснюється низкою причин, таких як:

1. Суб'єктивність, недосконалість та трудомісткість існуючого стандартного методу оцінювання стійкості забарвлень на текстильних матеріалах, зафіксованого в ГОСТ 9733.0-83 «Материалы текстильные. Методы испытания устойчивости окрасок к физико-химическим воздействиям».

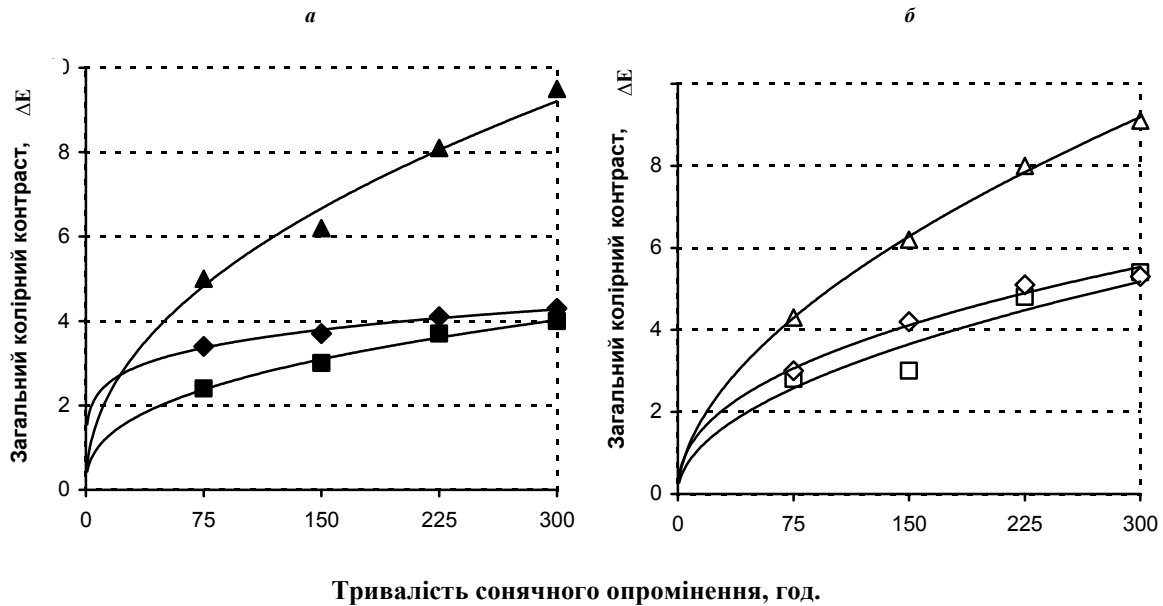
2. Поява в останні роки в країнах СНД серії стандартів, які регламентують загальні вимоги і порядок визначення стійкості забарвлень на текстильних матеріалах об'єктивними інструментальними методами (ДСТУ 4067 – 2002, ДСТУ ГОСТ ІСО 105-j01: 2004, ДСТУ ГОСТ ІСО 105-j03: 2004 та інші), які узгоджені з вимогами відповідних міжнародних стандартів.

3. Значне поширення інструментальних методів оцінки стійкості забарвлень на текстильних матеріалах в практиці роботи не тільки галузевих науково-дослідних установ, але й виробничих лабораторіях текстильних підприємств.

Як видно з аналізу даних табл. 2 і рис. 1– 4, світлостійкість забарвлень і субстрату досліджуваних трикотажних і тканих полотен залежить не тільки від виду рослинного барвника і виду протравлювача, але в значній мірі і від волокнистого складу цих полотен, а також від тривалості дії на них сонячної радіації. Оскільки досліджувані полотна в основному використовуються для пошиття платтяно-сорочкових виробів літнього асортименту, то домінуючу роль у визначенні зносостійкості цих виробів буде відігравати світлостійкість їх забарвлень. Саме від світлостійкості забарвлень полотен залежить не тільки збереження високоякісного художньо-естетичного вигляду названих виробів і відповідність їх вимогам моди, але й ефективне використання потенційних ресурсів і волокнистої основи цих полотен.

Встановлено, що в результаті фарбування досліджуваних полотен екстрактами коренів марени фарбувальної і кори яблуні лісової (дички) більш висока світлостійкість забарвлень досягається при використанні екстракту кори дички. Ця закономірність зберігається як на бавовняних і бавовнянокотонінових трикотажних полотнах, так і на бавовняних і лляних тканинах. Причому ця різниця у світлостійкості забарвлень більш помітна на трикотажних полотнах. Так, наприклад, якщо після 300 год сонячного опромінення загальний колірний контраст на пофарбованому екстрактом кори дички бавовняному і бавовнянокотоніновому трикотажному полотні досягає відповідно 4,6 і 3,5 од. ΔE, то на пофарбованих екстрактом коренів марени фарбувальної тих же полотнах відповідно в 9,5 і 9,1 од. ΔE, або в 2– 3 рази більше. Аналогічна закономірність, хоча і менш виражена, спостерігається і на бавовняних і

ляних тканинах (табл. 2, рис. 3–4).



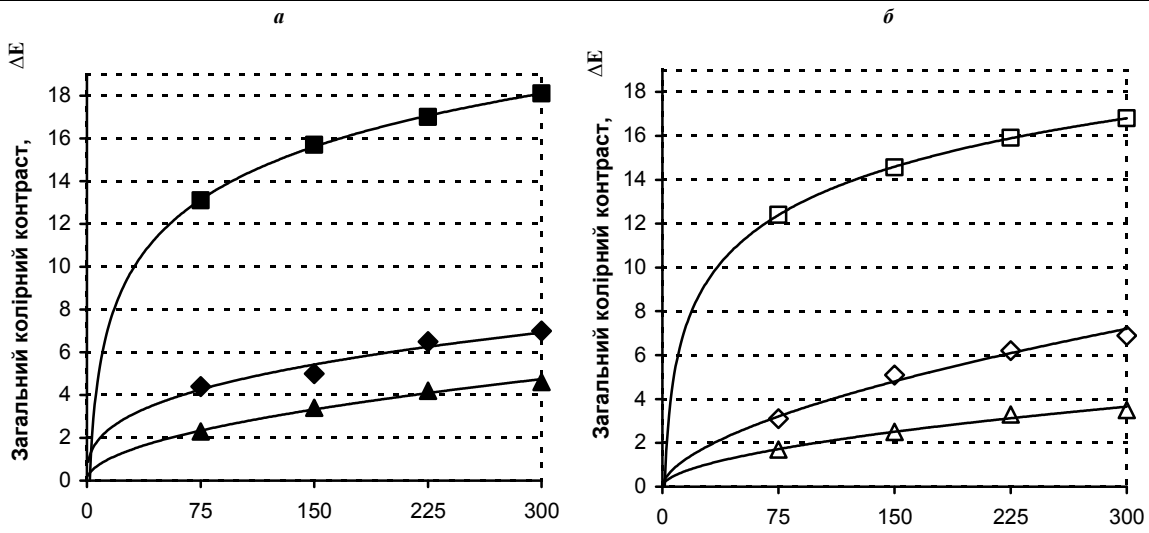
Тривалість сонячного опромінення, год.

№ кривої	Умовні позначення	Вид оброблення	Рівняння	R ²
а) Бавовняне трикотажне полотно, пофарбоване:				
1	—▲—	екстрактом коренів марени фарбувальної без протравлювання	$y = 0,4836x^{0,5191}$	0,99
2	—■—	те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	$y = 0,3747x^{0,4178}$	0,99
3	—◆—	те ж, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	$y = 1,4438x^{0,1912}$	0,99
б) Бавовняно-котоїнове трикотажне полотно, пофарбоване:				
1	—△—	екстрактом коренів марени фарбувальної без протравлювання	$y = 0,4008x^{0,5491}$	0,99
2	—□—	те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	$y = 0,2933x^{0,5032}$	0,84
3	—◇—	те ж, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	$y = 0,4818x^{0,428}$	0,98

Рис. 1. Залежність світлостійкості забарвлень пофарбованого екстрактом коренів марени фарбувальної бавовняного (а) і бавовняно-котоїнового (б) трикотажного полотна від тривалості інсоляції

При цьому, співставляючи ці дані, слід мати на увазі, що встановлений спектрофотометричним методом загальний колірний контраст, що виникає в результаті знебарвлення текстильних матеріалів під тривалою дією сонячного опромінення, величиною 8 од. ΔE відповідає контрасту, який оцінюється відповідно 2-а балами темної шкали сірих еталонів [2]. Цей показник вважається граничною межею світлостійкості забарвлень одягових текстильних матеріалів і широко використовується в практиці матеріалознавчих і товарознавчих досліджень як об'єктивний критерій оцінювання стійкості забарвлень на текстильних матеріалах в процесі їх експлуатації. Тому, використовуючи даний критерій для оцінки зміни світлостійкості забарвлень на досліджуваних полотнах, світлостійкими можна вважати обидва види взятих нами екстрактів (отриманих з коренів марени фарбувальної і кори дички). Це дозволяє рекомендувати екстракти з коренів марени фарбувальної і кори дички для фарбування целюлозомістких текстильних одягових і декоративних матеріалів літнього асортименту в малотоннажному текстильному виробництві та художніх промислах замість високотоксичних марок синтетичних барвників.

Далі встановлено, що суттєвий вплив на світлостійкість забарвлень пофарбованих екстрактами коренів марени фарбувальної і кори дички може мати одночасне з фарбуванням протравлювання досліджуваних полотен $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ і $CuSO_4 \cdot 5H_2O$. При цьому протравлювання не тільки сприяє збагаченню та розширенню колірної гами забарвлень [6], але й може суттєво впливати на зміну світлостійкості забарвлень (табл. 2, рис. 1–4). Окрім цього, на характер і інтенсивність цього впливу мають вплив не тільки вид рослинного барвника і вид протравлювача, але й вид субстрату і особливості його будови.



Тривалість сонячного опромінення, год.

№ кривої	Умовні позначення	Вид оброблення	Рівняння	R ²
а) Бавовняне трикотажне полотно, пофарбоване:				
1	—▲—	екстрактом кори яблуні лісової (дички) без протравлювання	$y = 0,2576x^{0,5107}$	0,99
2	—■—	те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	$y = 3,5799Ln(x) - 2,3254$	0,99
3	—◆—	те ж, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	$y = 0,9355x^{0,3509}$	0,93
б) Бавовняно-котонінове трикотажне полотно, пофарбоване:				
1	—△—	екстрактом кори яблуні лісової (дички) без протравлювання	$y = 0,1639x^{0,5441}$	0,98
2	—□—	те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	$y = 3,1832Ln(x) - 1,3526$	0,99
3	—◇—	те ж, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	$y = 0,2569x^{0,5846}$	0,98

Рис. 2. Залежність світлостійкості забарвлень пофарбованого екстрактом кори яблуні лісової (дички) бавовняного (а) і бавовняно-котонінового (б) трикотажного полотна від тривалості інсоляції

Візьмемо для прикладу бавовняні та бавовнянокотонінові трикотажні полотна. Так, якщо протравлювання пофарбованих екстрактом коренів марени фарбувальної полотен $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ і $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ веде до суттєвого (майже в 2 рази) гальмування процесу фотодеструкції забарвлень на цих полотнах (рис. 1), то протравлювання пофарбованих екстрактом кори дички названими протравлювачами, навпаки, суттєво прискорює процес фото деструкції отриманих на полотнах забарвлень. Особливо це помітно на бавовняному та бавовнянокотоніновому полотнах після їх протравлювання $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ і $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ (рис. 2).

Аналогічна закономірність зберігається і після протравлювання $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ і $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ пофарбованих екстрактами коренів марени фарбувальної (рис. 3) і кори дички (рис. 4) бавовняної і лляної тканин. Це дозволяє зробити однозначний висновок про недоцільність використання протравлювачів $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ і $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ для протравлювання целюлозовмісних полотен, пофарбованих екстрактами кори дички. І, навпаки, названі протравлювачі виявились ефективними світло стабілізаторами забарвлень, отриманих на цих же полотнах екстрактами коренів марени фарбувальної.

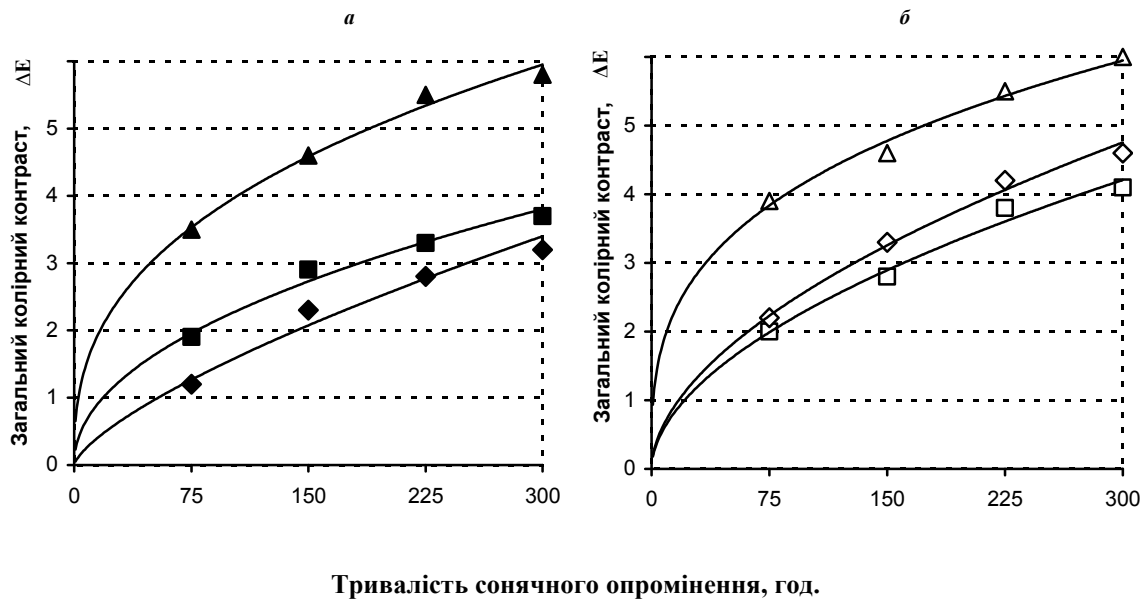
На рис. 1– 4 наведені математичні моделі, які описують залежність світлостійкості забарвлень на досліджуваних полотнах від тривалості їх сонячного опромінення. Ці залежності, як правило, описуються степеневими рівняннями типу:

$$y = ax^b,$$

де y – загальний колірний контраст, од. ΔE ;

x – тривалість сонячного опромінення полотен, год.;

a і b – константи, що характеризують вплив будови і оброблення полотен на світлостійкість їх забарвлень.

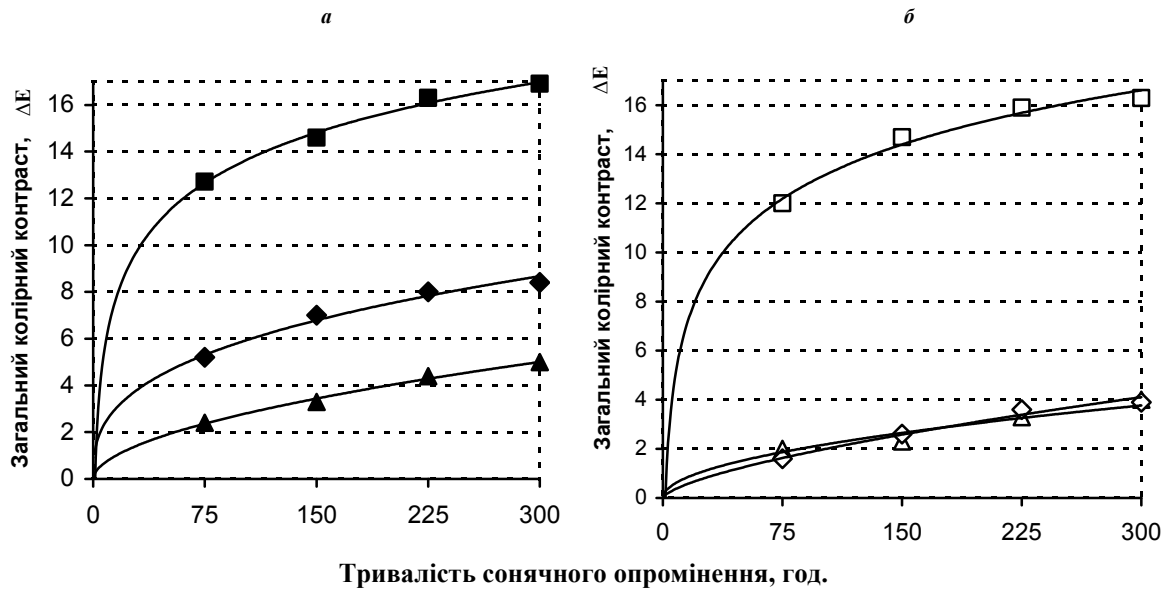


№ кривої	Умовні позначення	Вид оброблення	Рівняння	R ²
<i>а)</i> Бавовняна тканина, пофарбована:				
1	—▲—	екстрактом коренів марени фарбувальної без протравлювання	$y = 0,6932x^{0,3769}$	0,99
2	—■—	те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	$y = 0,2474x^{0,4791}$	0,98
3	—◆—	те ж, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	$y = 0,0585x^{0,7122}$	0,97
<i>б)</i> Лляна тканина, пофарбована:				
1	—△—	екстрактом коренів марени фарбувальної без протравлювання	$y = 0,9801x^{0,3161}$	0,98
2	—□—	те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	$y = 0,193x^{0,5404}$	0,99
3	—◇—	те ж, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	$y = 0,2111x^{0,5461}$	0,99

Рис. 3. Залежність світлостійкості забарвлень пофарбованої екстрактом коренів марени фарбувальної бавовняної (а) і лляної (б) тканини від тривалості інсоляції

Далі з аналізу даних табл. 2 видно, що світлостійкість субстрату виявилась значно вищою, ніж світлостійкість забарвлень, хоча обрані нами види рослинних барвників, як відзначалось, забезпечують на досліджуваних полотнах достатньо високу світлостійкість забарвлень (особливо при використанні екстракту кори дички). Тому, основним резервом підвищення термінів експлуатації виробів із досліджуваних полотен є пошук більш світлостійких видів рослинних барвників і світлостабілізуючих видів протравлювачів, які б гарантували більш повне і ефективно використання потенційних ресурсів субстрату за його механічними властивостями.

Встановлено також, що світлостійкість субстрату трикотажного бавовняного і бавовнянокотонінового полотен виявилась значно нижчою, ніж світлостійкість субстрату аналогічних за призначенням бавовняної та лляної тканин з аналогічним обробленням. Це слід пояснити більш рихлою і доступною для сонячного опромінення будовою трикотажних полотен. Виявлено також, що обрані види рослинних барвників залежно від своєї будови можуть прискорювати фотодеструкцію субстрату або дещо її гальмувати. Що стосується обраних протравлювачів, то вони суттєво гальмують фотодеструкцію субстрату.



№ кривої	Умовні позначення	Вид оброблення	Рівняння	R ²
а) Бавовняна тканина, пофарбована:				
1	—▲—	екстрактом кори яблуні лісової (дички) без протравлювання	$y = 0,2288x^{0,5409}$	0,99
2	—■—	те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	$y = 3,1099Ln(x) - 0,7677$	0,99
3	—◆—	те ж, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	$y = 1,1467x^{0,3548}$	0,98
б) Лляна тканина, пофарбована:				
1	—△—	екстрактом кори яблуні лісової (дички) без протравлювання	$y = 0,2104x^{0,5057}$	0,91
2	—□—	те ж, з одночасним протравлюванням $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$	$y = 3,1885Ln(x) - 1,5744$	
3	—◇—	те ж, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$	$y = 0,0907x^{0,6684}$	0,99

Рис. 4. Залежність світлостійкості забарвлень пофарбованої екстрактом кори яблуні лісової (дички) бавовняної (а) і лляної (б) тканини від тривалості інсоляції

Висновки та перспективи подальших наукових розробок в даному напрямі. Встановлено, що світлостійкість забарвлень і субстрату досліджуваних полотень залежить не тільки від виду рослинного барвника, але й від виду протравлювача, волокнистого складу самих полотень і тривалості їх сонячного опромінення. При цьому показано, що використання екстрактів кори яблуні лісової забезпечує на целюлозомістких полотнах більш високу (майже в 2–3 рази) світлостійкість забарвлень. Окрім цього, виявлено, що протравлювання полотень $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ і $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ суттєво гальмує фотодеструкцію забарвлень, отриманих екстрактами коренів марени фарбувальної, і навпаки, значно прискорює фотодеструкцію забарвлень, отриманих на цих же полотнах екстрактами кори яблуні лісової. Запропоновані математичні моделі, які описують залежність світлостійкості забарвлень досліджуваних полотень від тривалості їх опромінення. Встановлено, що досліджувані види рослинних барвників, незважаючи на їх високу світлостійкість, ще не гарантують повного і ефективного використання потенційних ресурсів, закладених в світлостійкість субстрату. Тому доцільно продовжити пошук більш світлостійких видів рослинних барвників і фотоінгібуючих видів протравлювачів для фарбування целюлозомістких платтяно-сорочкових полотень літнього асортименту.

Література

1. Семак З. М. Фарбування текстильних матеріалів рослинними барвниками : [навч. посібник для вузів] / З. М. Семак, Б. Б. Семак. – Львів : Світ, 2005. – 368 с.
2. Семак Б. Б. Наукові засади формування ринку рослинної технічної сировини та його окремих сегментів в Україні : [монографія] / Семак Б. Б. – Львів : Вид-во Львівської комерційної академії, 2007. – 512 с.
3. Демкович О. В. Льоновмісні одягові тканини: шляхи екологізації технології виробництва, оптимізації структури асортименту та підвищення конкурентоспроможності / О. В. Демкович, А. В.

Добровольська, Б. Б. Семак // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 1. – С. 163–167.

4. Пахолук О. В. Вплив виду протравлювача та способу протравлювання пофарбованих рослинними барвниками бавовняної і лляної сорочкових тканин на їх екологічну безпечність / О. В. Пахолук, Б. Б. Семак // Проблеми легкой и текстильной промышленности Украины. – 2009. – № 1 (15). – С. 37–45.

5. Мартосенко М. Г. Способи оптимізації асортименту та властивостей верхнетрикотажних полотен / М.Г. Мартосенко, Б.Д. Семак // Науковий вісник Полтавського університету споживчої кооперації України. Серія технічні науки, 2009. - №1 (37). – С. 13-20.

6. Мартосенко М. Г. Роль рослинного барвника і протравлювача у формуванні колірної гами забарвлень целюлозомістких текстильних матеріалів / М. Г. Мартосенко, О. В. Пахолук, З. М. Семак // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 4. – С. 217–220.

7. Кириллов Е. А. Цветоведение / Кириллов Е. А. – М. : Легпромбытиздат, 1987. – 128 с.

Надійшла 27.1.2011 р.

УДК 687.04

О.В. ЯРОЩУК, О.П. БОХОНЬКО, О.Ю. ЛЕПКАШ
Хмельницький національний університет

СТРУКТУРНИЙ ПІДХІД ДО ОПТИМІЗАЦІЇ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ВИРОБІВ З НИХ

Розглянуті нормативні документи системи показників якості продукції, питання оптимізації показників якості текстильних матеріалів та швейних виробів і питання впливу окремих факторів на їх якість та розроблена блок-схема оптимізації показників якості швейних виробів.

Regulations are considered indicators of quality, how to optimize quality textiles and garments and questions on individual factors on their quality and designed flowchart for optimizing quality garments.

Ключові слова: властивість, якість, номенклатура показників якості, швейні вироби, стандарти, нормативні документи, формалізовані цілі, оптимізація показників якості.

Постановка проблеми

На сучасному етапі розвитку промисловості України велике значення приділяється випуску конкурентоспроможної продукції, яка визначається в першу чергу якістю і ціною.

Випуск якісних швейних виробів на підприємствах забезпечується системою управління якістю і рішучим чином залежить від відповідності оптимальним вимогам стандартів, технічних вимог і інших нормативних документів.

Для вирішення задач підвищення якості конкретних видів виробів на всіх стадіях їх життєвого циклу і на всіх рівнях управління рекомендується проектувати властивості продукції згідно стандартів системи показників якості продукції. Нормативні документи із стандартизації рекомендують класифікувати і групувати показники якості продукції в стандартах системи по однорідності, етапу виробництва та формі представлення властивостей, які характеризуються з врахуванням раціональних областей застосування.

Таким чином, оптимізація показників якості продукції текстильних матеріалів та виробів з них є актуальною проблемою, яка потребує уваги на сучасному етапі.

Метою роботи є аналіз факторів які впливають на оптимізацію показників якості та їх систематизація.

Виклад основного матеріалу

В теперішній час перед підприємствами виникає проблема вибору номенклатури показників якості продукції та оптимізація її показників. При цьому потрібно виконати вибір такого варіанту об'єкту стандартизації, при якому задана ціль досягається з мінімальними затратами, чи економічний ефект при заданих вимогах буде максимальним. В цьому випадку виконується і одна із основних цілей стандартизації, що полягає в оптимізації ступеня різноманітності продукції і значень її показників якості.

Для оцінки якості одягу в легкій промисловості широко використовується метод оцінки якості, в основу якого покладена оцінка властивостей продукції об'єднана в групи за визначеними ознаками [1].

Номенклатура показників якості одягу визначається методом оцінки, етапом, на якому виконується оцінка, характером розв'язання задач і вимогами, які висувають до якості одягу та текстильних матеріалів [2].

В даний час при формуванні номенклатури показників якості одягу рекомендується відбирати лише ті властивості, які в даний момент направлені на задоволення особистих і соціальних потреб та найбільш повно характеризують рівень якості виробу і націлюють підприємство на випуск доброякісного одягу.

Число груп показників, які приймають для характеристики якості одягу та матеріалів, повинно бути достатнім для об'єктивної оцінки, так як недостатня кількість груп зменшує точність їх об'єктивної оцінки,

а занадто велике їх число ускладнює розрахунки. При цьому перелік показників повинен достатньо повно і об'єктивно характеризувати суспільну корисність речі, згідно з конкретними вимогами споживача.

Оскільки чіткого підходу до визначення показників властивостей продукції немає, то вибір номенклатури показників якості рекомендується здійснювати керуючись нормативними документами та вимогами і потребами суспільства.

Слід відмітити, що в теперішній час проводиться значна робота з актуалізації та перегляду існуючих стандартів, гармонізації їх на відповідність сучасним міжнародним та європейським стандартам цієї групи. З цією метою були переглянуті стандарти, що регламентують номенклатуру показників якості до швейних, трикотажних виробів та виробів з хутра і відповідних матеріалів до них, так на території України продовжено термін дії стандартів цієї групи це: ГОСТ 4.13-89, ГОСТ 4.34-84, ГОСТ 4.45-86, ГОСТ 4.51-87, ГОСТ 12.4.016-83, ГОСТ 12.4.058-84, ГОСТ 12.4.073-79, а також галузевий стандарт на номенклатуру показників якості на текстильні полотна ОСТ 17-18-003-94. Набрали чинності і діють нові стандарти, а саме: ДСТУ 3045-95, ДСТУ 3046-95, ДСТУ 3047-95, ДСТУ 3048-95. Показники діючих стандартів номенклатури якості товарів швейної і трикотажної промисловості представлені в таблиці 1.

Для вибору номенклатури показників якості швейних виробів за нормативними документами потрібно використовувати необхідний перелік груп якості та властивостей, які вони містять. Однак аналіз показав, що в стандартах кількість груп різна для різних об'єктів, що значно ускладнює вибір необхідних параметрів.

Слід відмітити, що для існуючих показників якості не характерна уніфікованість. Наприклад, в ряді стандартів не розглядаються такі групи, як надійність, ергономічність, естетичність, технологічність. На сучасному етапі показники екологічності, безпеки і економічності мають велике значення, однак і ці групи показників розглядаються не у всіх існуючих нормативних документах. В деяких стандартах взагалі не розглядаються групи показників якості, а розглядаються лише одиничні показники властивостей продукції, що ще більше ускладнює їх вибір.

Вважаємо, що при оптимізації показників якості швейної та трикотажної продукції необхідно обґрунтовано підходити до вибору груп номенклатури показників якості кожного асортименту із врахуванням призначення, умов експлуатації, груп споживачів та інших необхідних вимог.

Розподіл показників якості продукції за групами в діючих нормативних документах представлений в таблиці 1. У разі відсутності груп показників в нормативних документах в таблиці вказана їх відсутність, а конкретна властивість умовно віднесена до тієї чи іншої групи.

Таблиця 1

Розподіл показників якості продукції за групами в стандартах СПКП

№ п/п	Нормативний документ. Об'єкт стандартизації і область розповсюдження дії	Показники якості						
		Призначення	Надійності	Економічного використання сировини	Ергономічні	Естетичні	Технологічні	Безпеки
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	ГОСТ 4.13-88 СПКП Изделия текстильно-галантерейные бытового назначения. Номенклатура показателей.	Розглядається за групами	Розглядається за групами	Не розглядається	Не розглядається	Не розглядається	Розглядається за групами	Не розглядається
2	ГОСТ 4.34-84 СПКП Полотна нетканые и штучные нетканые изделия бытового назначения. Номенклатура показателей. Взамін ГОСТ 4.34-72	Розглядається за групами	Розглядається за групами	Не розглядається	Не розглядається	Не розглядається	Не розглядається	Не розглядається
3	ГОСТ 4.45-86 СПКП Изделия швейные бытового назначения. Номенклатура показателей. Взамін ГОСТ 4.45-77	Розглядається за групами	Розглядається за групами	Не розглядається	Не розглядається	Не розглядається	Не розглядається	Не розглядається
4	ГОСТ 12.4.016-83 ССБТ Одежда специальная защитная. Номенклатура показателей качества. Взамін ГОСТ 12.4.016-75	Розглядається за групами	Розглядається за групами	Не розглядається	Розглядається за групами	Розглядається за групами	Не розглядається	Не розглядається

1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	ГОСТ 12.4.058-84 ССБТ Материали с полимерным покрытием для специальной одежды. Номенклатура показателей качества. Взамін ГОСТ 12.4.058-78	Розглядається за групами	Не розглядається	Не розглядається	Не розглядається	Не розглядається	Не розглядається	Розглядається за групами
6	ГОСТ 12.4.073-79 ССБТ Ткани для спецодежды и средств защиты рук. Номенклатура показателей качества. Взамін ГОСТ 4.35-73	Розглядається за групами	Не розглядається	Не розглядається	Розглядається за групами	Не розглядається	Не розглядається	Не розглядається
7	ОСТ 17-18-003-94 Текстильні полотна. Номенклатура показників якості. Текстильні полотна. Номенклатура показників якості.	Розглядається за групами	Не розглядається	Не розглядається	Розглядається за групами	Розглядається за групами	Не розглядається	Розглядається за групами
8	ДСТУ 3045-95 Полотна та вироби трикотажні, хутро штучне трикотажне. Класифікація та номенклатура показників якості.	Розглядається за конкретними властивостями	Розглядається за конкретними властивостями	Не розглядається	Розглядається за конкретними властивостями	Не розглядається	Не розглядається	Розглядається за конкретними властивостями
9	ДСТУ 3046-95 Пряжа. Класифікація та номенклатура показників якості. Взамін ГОСТ 4.419-86, ГОСТ 4.8-68.	Розглядається за конкретними властивостями	Розглядається за конкретними властивостями	Не розглядається	Розглядається за конкретними властивостями	Не розглядається	Не розглядається	Розглядається за конкретними властивостями
10	ДСТУ 3047-95 Тканини та вироби ткани поштучні. Класифікація та номенклатура показників якості. Взамін ГОСТ 4.3-78, ГОСТ 4.51-87, ГОСТ 4.6-85	Розглядається за конкретними властивостями	Розглядається за конкретними властивостями	Не розглядається	Розглядається за конкретними властивостями	Не розглядається	Не розглядається	Розглядається за конкретними властивостями
11	ДСТУ 3048-95 Вироби текстильні кручені. Класифікація та номенклатура показників якості.	Розглядається за конкретними властивостями	Розглядається за конкретними властивостями	Не розглядається	Розглядається за конкретними властивостями	Не розглядається	Не розглядається	Розглядається за конкретними властивостями

Особливості розробки та вибору номенклатури показників якості текстильних матеріалів та швейних і трикотажних виробів полягає в оптимізації показників номенклатури з одночасним врахуванням вимог стандартів та вимог споживачів. Найбільш ефективним методом оптимізації є кількісний метод, який базується на кількісній оцінці показників якості продукції, теорії дослідження операцій і прийняття рішень, а також на теорії проектування та сучасних математичних методах оптимізації. Розробка математичної моделі оптимізації показників якості продукції є складним завданням оскільки необхідно розглядати комплекс факторів: вимоги нормативних документів, вимоги споживачів, умови та можливості виробництва та інші. При цьому необхідно відзначити, що оптимізація має визначений сенс тільки при визначенні кількісних характеристик продукції. При оптимізації показників якості необхідно враховувати перелік показників, що характеризує відповідність вимогам НД, вимогам споживачів, а також додаткові фактори, які характеризують асортимент і призначення швейних виробів, об'єм та час випуску продукції, та інші додаткові умови виробництва.

Метою роботи є оптимізація та формування показників якості продукції у вигляді блочно-модульної схеми. Показники якості, що стандартизовані позначають як P_i ($i=1,2,\dots,n$), період випуску продукції – T_b , об'єм продукції – H_1, H_2, \dots . Тоді ефективність від оптимізації показників якості при випуску даного асортименту продукції в загальному випадку є функцією:

$$Ц = f(P_1, P_2, \dots, P_n, H_1, \dots, H_i)$$

Цю функцію вважаємо цільовою, оскільки вона лежить в основі оптимізації кількісних вимог показників. При оптимізації параметричного ряду в показник P_i входить показник $P_{\alpha\beta}$ всіх типорозмірів ряду швейних виробів і т. д.

За своєю суттю цільова функція є математичним описом мети виробництва з використанням об'єкту стандартизації при зміні показників якості і тимчасових параметрів. Оптимізацію цільової функції визначає показник якості об'єкту стандартизації, тобто визначає його максимальне або мінімальне експериментальне значення, яке потрібно отримати в результаті оптимізації.

Задача оптимізації показників якості продукції зводиться до визначення таких величин показників якості P_i і часових параметрів T_b , за яких цільова функція досягає максимального (мінімального) значення при заданих затратах підприємства.

При розробці показників якості необхідно сумісно оптимізувати всі параметри P_i , T_b , які розглядаються, так як між ними існують суттєві залежності. Крім того, потрібна ще більш загальна постановка задачі, тобто оптимізація визначених параметрів спільно з оптимізацією інших показників, таких як врахування насиченості ринку аналогічною продукцією, час випуску продукції, можливості підприємства, розміри підприємств і т. д. Для вирішення цієї проблеми необхідно деякі параметри враховувати як задані. Розподіл параметрів на задані і ті, які визначаються, може служити основою класифікації оптимізації показників якості продукції, які подані в табл. 2.

Можна виділити задачі постійні в часі і задачі, в яких параметри оптимізуються з врахуванням часу. Крім того існують задачі з попередньо визначеними параметрами. Підхід до визначення оптимальних показників в цих випадках буде різним.

Вибір номенклатури показників якості для текстильних матеріалів та виробів з них може розглядатися як процес переробки вхідної інформації і обробки вихідної. До вхідної інформації при кількісній оптимізації відносяться:

- затрати на виробництво і експлуатацію у вигляді функції від показників якості та інших параметрів;
- ефект від визначення або реалізації продукції у вигляді функції від показників якості та інших параметрів;
- функціональний зв'язок між показниками якості і тимчасовими параметрами;
- організація визначених ресурсів, тобто організація виробничої потужності, фінансів, кількості кадрів, забезпечення сучасними технологіями, обладнанням, сировиною та ін.

Всі перераховані фактори повинні бути виражені кількісно, тобто у вигляді величин або функцій від них.

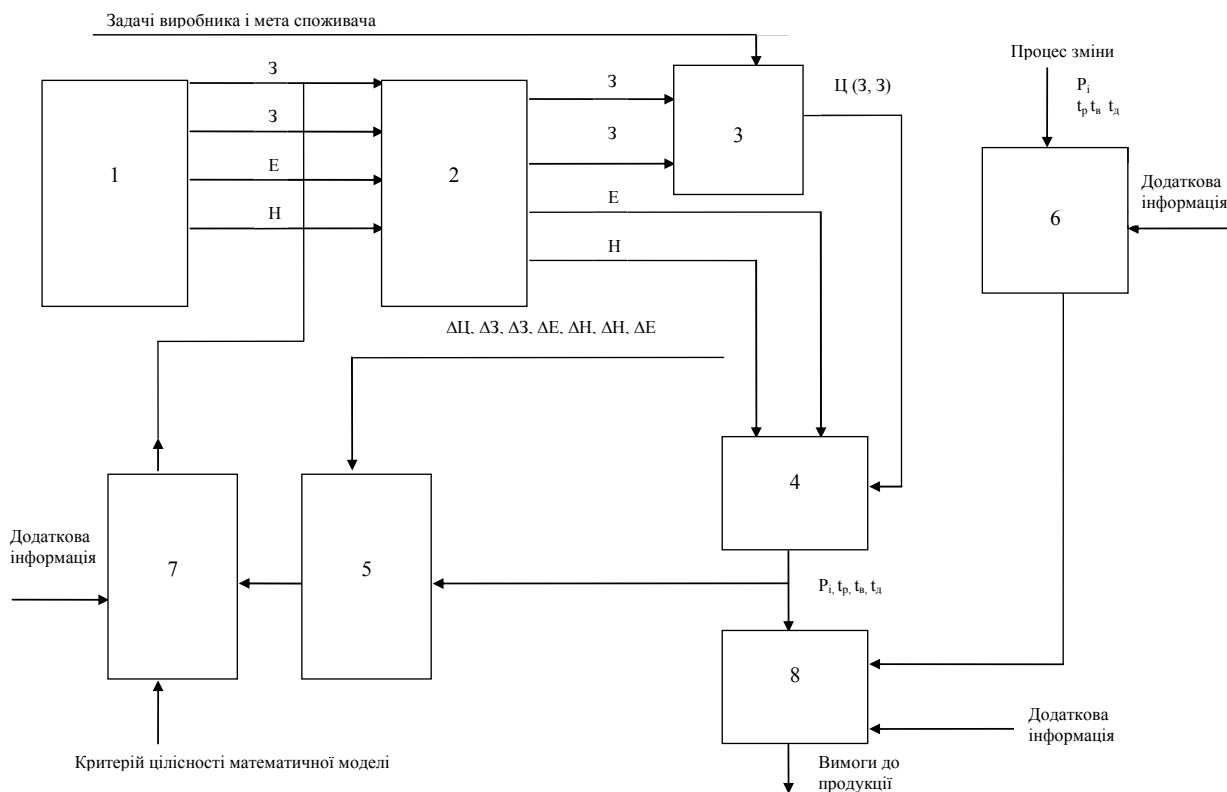


Рис. 1. Загальна блок-схема оптимізації номенклатури показників якості швейних виробів

Спрощена схема кількісного методу оптимізації вимог до показників якості складається з восьми блоків (рис. 1):

1 – блок отримання вхідної інформації: функції затрат на розробку, виготовлення і експлуатацію – 3; функції ефекту від вживання або реалізації продукції – Е (ця функція може виражатися в грошовому еквіваленті, наприклад, оптовою ціною продукції і в натуральних величинах – штуках, одиницях, а також в

показниках якості і в умовних одиницях); функціональних зв'язків між показниками якості і тимчасовими параметрами – Е; органічний у вигляді нерівності – Н (на можливості виробництва, з техніки безпеки та інше).

2 – блок прогнозування зміни вхідної інформації (функції Е, З, Ц, Н) в майбутньому.

3 – блок оптимізації у вигляді алгоритму показників якості для визначення на ЕОМ оптимальних показників якості, від асортименту одягу, умов та часу експлуатації, а також терміну використання.

4 – блок отримання інформації згідно з вимогами нормативних документів, визначення оптимальних значень показників якості окремих властивостей, їх гармонізація і актуалізація.

5 – блок визначення показників доцільності постановки задачі (в тому числі, вибору об'єму вихідної інформації і шуканих параметрів) або, іншими словами, придатності даної математичної моделі. Ці показники можуть представляти собою зміну відшукуваних функцій в результаті зміни об'єму вхідної інформації або сукупності вихідних параметрів. Вихід з цього блоку служить матеріалом для корегування математичних

моделей і технічного завдання на розробку технічних документів на продукцію та швейні вироби, а також для прийняття рішень по об'єму вхідної інформації і динамічності постановки задачі.

6 – блок безпосереднього прогнозування окремих параметрів (показників якості продукції, значень властивостей та тимчасових параметрів).

7 – блок прийняття рішень щодо застосування або корегування математичної моделі.

8 – блок прийняття рішень по вимогам до якості продукції, її надійності чи терміну її експлуатації.

Загальне число оптимізованих параметрів (ті чи інші розмірні ознаки і число оптимізованих параметрів) визначає час, необхідний для розв'язання задачі, а також можливості для її розв'язання за допомогою ЕОМ. З метою зменшення розміру задачі і числа оптимізованих величин потрібно деякі параметри розраховувати на перших етапах, а потім їх уточнювати. Для цього пропонується враховувати деякі числа показників якості з заданими постійними або тимчасовими параметрами, а також прогнозованим об'ємом продукції і т. д. Для цього служить блок 6.

Важливе значення має така модель, при якій вимоги до якості швейних виробів одночасно враховують такі показники оптимізації, як показники властивостей текстильних матеріалів, допоміжних та прикладних матеріалів та фурнітури. Оптимальним при цьому є одночасне врахування ціни продукції, спеціалізації виробництва та ін.

Відмітимо, що для прийняття рішень стосовно математичної моделі оптимізації щодо номенклатури показників якості до швейних виробів, а також до інших об'єктів стандартизації, важливим є можливість корегування отриманих даних. Якщо існує додаткова інформація, яка не врахована при дослідженні, то необхідно для отримання об'єктивних значень ввести в розрахунки нові дані. При цьому вплив прийнятих додаткових значень на кінцеві результати потрібно корегувати можливими варіаціями вихідних величин і припущень.

В блок 1 включені об'єктивні кількісні вхідні дані, а в блоках 3, 6, 7 включені неформалізовані цілі і директиви, досвід та інтуїція робітників (на рис. 1 окремо).

Схема, наведена на рис. 1, не розглядає всі особливості в кожній конкретній математичній моделі і може бути розширена і удосконалена.

Слід відмітити, що відповідно з цією схемою досвід сучасних підприємств використовується в якості характеристики нових зв'язків між показниками якості (нових текстильних матеріалів чи технологічних можливостей), а не розглядається як спосіб безпосередніх корекцій виходу тих чи інших показників якості. Тільки в результаті оптимізації визначають, які показники якості повинні бути прийняті для конкретних умов і даної цілі, а які не враховані.

Висновки:

1. Аналіз існуючих документів показав відсутність чіткого підходу до вибору номенклатури показників якості до швейних виробів та іншої продукції швейної та текстильної промисловості. Особливо слід відмітити відсутність деяких регламентованих значень вищезазначених показників, що не дозволяє проводити роботу з оптимізації показників якості, а також розробляти та вдосконалювати критерії по окремих показниках.

2. Необхідність проведення оптимізації показників якості, що визначаються у встановленні таких показників, які дозволяють найбільш ефективно використовувати об'єкт стандартизації.

3. Більш широко використовувати комп'ютерні технології, що значно підвищить об'єктивність отриманих значень, дасть можливість враховувати додаткову інформацію, змінювати її згідно з сучасними вимогами, а також удосконалювати процес вибору необхідних показників.

Література

1. Окрепилов В. В. Управление качеством / Окрепилов В. В. – М. : Экономика, 1998. – 640 с.
2. Качество продукции, испытания, сертификация. Справочное пособие. – М. : Изд-во стандартов, 1989. – Выпуск 4. – 144 с.
3. Ярошук О. В. Аналіз нормативних документів системи показників якості текстильних матеріалів

Надійшла 9.1.2011 р.

УДК 677.027.423.12

О.Я. СЕМЕШКО, Ю.Г. САРИБЕКОВА, А.В. ЕРМОЛАЕВА
Херсонский национальный технический университет**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОРАЗРЯДНОЙ ОБРАБОТКИ
РАСТВОРОВ КИСЛОТНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ
НА СКОРОСТЬ КРАШЕНИЯ ШЕРСТЯНОГО ВОЛОКНА**

В статті вивчено вплив температури на процес фарбування вовни розчинами кислотних барвників після електророзрядної обробки та досліджено кінетику їх сорбції. Показано, що електророзрядна обробка розчинів барвників сприяє збільшенню швидкості фарбування і підвищує нафарбовуваність вовняного волокна при зниженій температурі.

The paper studied the effect of temperature on the process of dyeing wool dyes acid solutions after electric discharge machining and kinetics of sorption. Shown that the electric discharge machining dye staining increases the speed and increases the amount of dye on the wool at lower temperatures.

Ключові слова: кислотные красители, шерстяное волокно, электроразрядная обработка.

Постановка проблемы. В настоящее время к текстильным материалам и изделиям предъявляются жесткие экологические требования, отображенные в стандарте ЭКО-ТЕКС-100 и других системах оценки качества (ГОСТ, ДСТУ, ISO). Сложившаяся ситуация на мировом рынке ставит перед производителями текстиля ряд достаточно серьезных задач по достижению соответствия качества продукции международным экологическим стандартам.

С экологической точки зрения физические методы интенсификации различных процессов красильно-отделочного производства текстильной промышленности являются наиболее перспективными.

Традиционно процесс крашения шерсти кислотными красителями осуществляется при температуре кипения красильного раствора на протяжении длительного периода времени. Этот метод крашения приводит к повреждению волокна и нерациональному использованию энергоресурсов, а потому требует совершенствования. Поэтому применение физических методов в операциях крашения текстильных материалов является актуальным.

Анализ последних исследований и публикаций. Как показывает анализ научно-технической информации, посредством направленного воздействия на процессы гидратации красящих веществ и активации молекул красителей можно достичь значительных эффектов в практике крашения. Так электромагнитная и ультразвуковая активация растворов красителей дает возможность повысить сорбцию красителей шерстяным волокном на 13–16 % и уменьшить время крашения на 13–14 % [1–3]. Однако следует отметить, что вышеупомянутые способы интенсификации процесса крашения все же не нашли широкого практического применения.

В ранее проведенной работе [4] выявлено, что электроразрядная обработка растворов кислотных красителей повышает их сорбцию. Согласно утверждению авторов [5–7] электроразрядная нелинейная объемная кавитация (ЭРНОК) способна интенсифицировать ряд химико-технологических операций, связанных с процессами диффузионного массопереноса, что является определяющим в процессе крашения.

Формулировка целей исследования. Целью данной работы являлось изучение кинетики крашения шерстяного волокна электроактивированными растворами кислотных красителей и определение оптимальных технологических параметров процесса крашения.

Изложение основного материала. Обработке подвергали отбеленную цигайскую полутонкую шерсть 50 качества. Крашение осуществлялось периодическим способом красителями кислотным красным 2С и кислотным ярко-синим антрахиноновым. Состав красильной ванны (% от массы волокна):

краситель – 1;

сульфат натрия – 10;

уксусная кислота 30-процентная – 4.

Модуль ванны при крашении составлял 50. Время электроразрядной обработки растворов красителей составляло 60с.

Исследование влияния температуры на процесс крашения шерсти электроактивированными растворами осуществлялось при температуре 60, 70, 80, 90 и 100°C. Для оценки эффективности действия электроактивированных растворов шерсть окрашивали и по традиционной технологии. Крашение осуществлялось в изотермических условиях в течение 60 мин. На рис. 1 представлены зависимости сорбции красителей на волокне от температуры крашения.

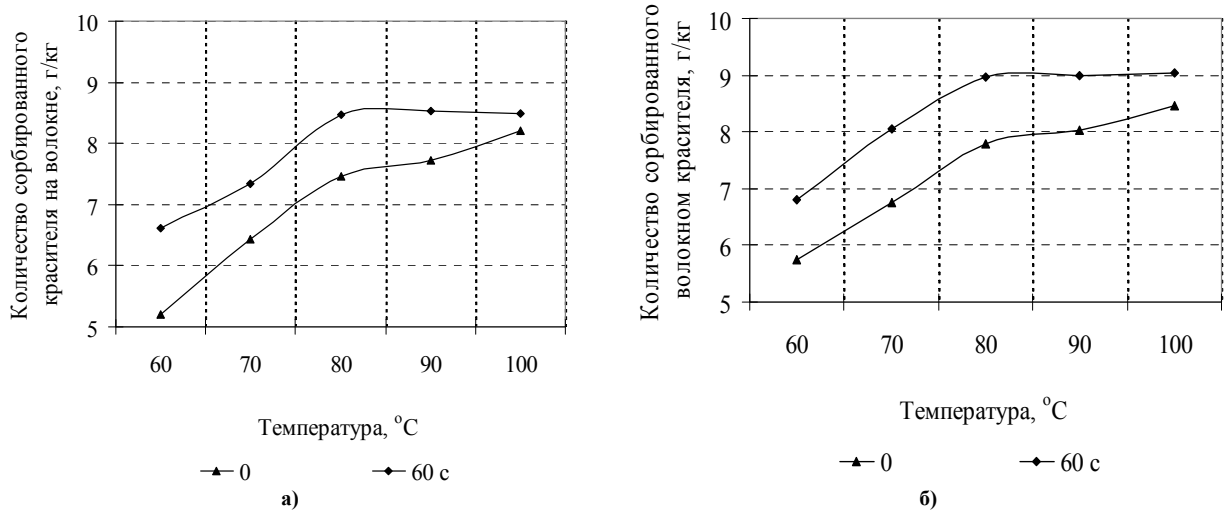


Рис. 1. Зависимость количества сорбированного кислотного красителя от температуры крашения: а) кислотного красного 2С; б) кислотного ярко-синего антрахинонового

Анализ данных, характеризующих изменение сорбции красителей волокном в зависимости от температуры (рис. 1) показывает, что интенсифицирующее действие ЭРНОК при оптимальной её длительности в процессе крашения шерстяного волокна проявляется во всем исследуемом интервале температур крашения, довольно равномерно достигая максимума при температуре 80°C. Дальнейшее повышение температуры крашения не оказывает заметного влияния на выбирание красителя.

Известно, что скорость крашения является главным фактором, определяющим степень неравномерности в распределении красителя по всей массе волокна, которая характерна для начальной стадии крашения. Для того чтобы иметь представление о скорости крашения активированными растворами красителей, была исследована кинетика сорбции кислотных красителей шерстью.

Кинетические кривые сорбции можно охарактеризовать двумя факторами: равновесным показателем сорбции и скоростью, с которой это равновесие достигается. Скорость крашения определяли по времени половинного накрашивания.

Крашение проводилось активированными растворами при 80°C и традиционным способом при 80 и 100°C. Кинетику крашения оценивали по определению сорбированного красителя (в г/кг волокна) в образцах путём колориметрирования остаточных ванн на спектрофотометре КФК-2 при длине волны, соответствующей максимуму поглощения для каждого красителя. На основе полученных данных после соответствующих расчетов построены кривые зависимости сорбции красителей от времени, которые показаны на рис. 2.

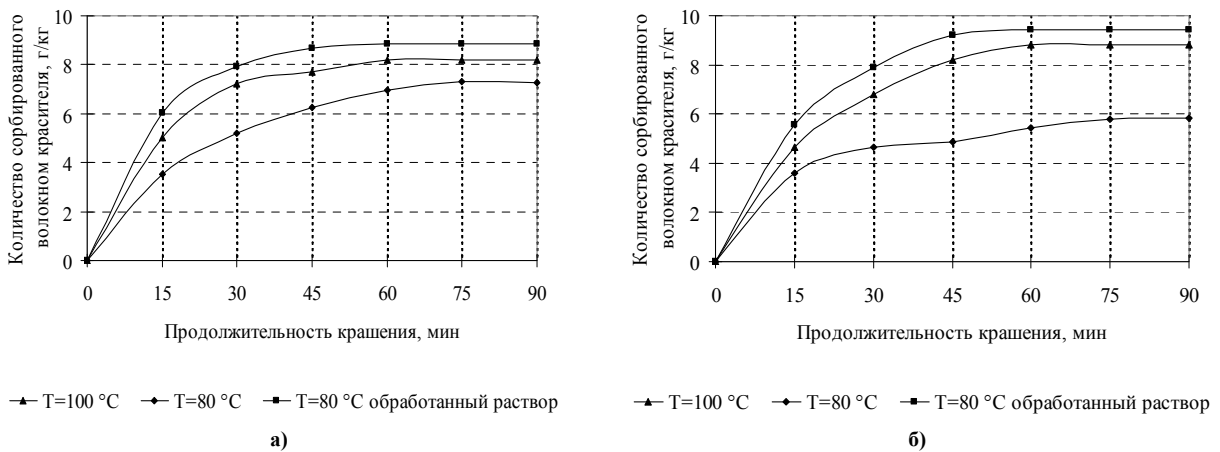


Рис. 2. Кинетические кривые сорбции кислотных красителей: а) кислотного красного 2С; б) кислотного ярко-синего антрахинонового

Анализ кинетических кривых представленных на рис. 2 свидетельствует о явном преимуществе крашения электроактивированными растворами кислотных красителей. Так, при температуре 80°C скорость крашения обработанными растворами выше, чем скорость крашения при 100°C по традиционной технологии. Данные, характеризующие сорбцию при крашении электроактивированным раствором кислотного красного 2С показывают, что наибольшее количество сорбированного красителя достигается по истечении 45 мин и составляет 8,7 г/кг, а через 90 мин сорбция достигает 8,9 г/кг (повышается лишь на 0,2 г/кг). По традиционной технологии крашения при 100°C количество сорбированного красителя через 45 мин

крашения составляет лишь 7,7 г/кг. Аналогичные результаты получены при изучении влияния ЭРНОК на кинетику сорбции кислотного ярко-синего антрахинонового.

Значение равновесной сорбции при крашении электроактивированными растворами исследуемых красителей на 17– 23 % выше, чем при крашении традиционным способом. Время половинного окрашивания сокращается в 1,25– 1,33 раза.

На основе полученных кинетических кривых произведен расчет коэффициентов диффузии D [8] (табл. 1).

Таблица 1

Коэффициенты диффузии процесса крашения шерстяного волокна электроактивированными растворами кислотных красителей

Условия крашения	Коэффициент диффузии, $D \cdot 10^{-11}$, м ² /с	
	Кислотный красный 2С	Кислотный ярко-синий антрахиноновый
100°С	1,47	0,89
80°С	0,73	0,53
80°С обработанный раствор	2,19	1,75

Анализ данных, приведенных в табл. 1, показывает, что коэффициент диффузии кислотного красного 2С при крашении электроактивированным раствором при 80°С превышает стандартный образец, окрашенный при 100°С в 1,5 раза, а окрашенный при 80°С – в 3 раза. В случае крашения электроактивированным раствором кислотного ярко-синего антрахинонового коэффициент диффузии превышает стандартный образец, окрашенный при 100°С в 2 раза, а окрашенный при 80°С – в 2,4 раза.

О возможности снижения длительности крашения могут свидетельствовать также и рассчитанные константы скорости крашения по уравнению Стирлинга [9]:

$$K_i = \frac{1}{\tau_i} \cdot \ln \frac{C_0}{C_i}, \quad (1)$$

где K_i – константа скорости крашения;
 C_0 – концентрация красителя в начальный период времени;
 C_i – концентрация красителя в период времени τ_i .

Расчетные константы скорости выщипывания электроактивированных растворов кислотных красителей шерстяным волокном представлены в табл. 2.

Таблица 2

Константы скорости выщипывания кислотных красителей шерстяным волокном

Условия крашения	Константа скорости, $K \cdot 10^{-4}$, с ⁻¹	
	Кислотный красный 2С	Кислотный ярко-синий антрахиноновый
100°С	4,54	4,68
80°С	3,13	3,78
80°С обработанный раствор	5,27	5,48

Полученные данные свидетельствуют о том, что электроразрядная обработка растворов кислотных красителей увеличивает скорость их выщипывания шерстяным волокном при 80°С в 1,1– 1,3 раза, что создает предпосылки для сокращения длительности процесса крашения.

Таким образом, ЭРНОК обладает интенсифицирующим действием и позволяет проводить процесс крашения шерсти кислотными красителями при температуре ниже 100°С (80°С), а также способствует сокращению времени крашения без снижения интенсивности окрасок. Показатели устойчивости окрасок, полученных с применением ЭРНОК, к физико-химическим воздействиям высокие и соответствуют показателям устойчивости окрасок, полученных по классическому способу. Повышение сорбции красителя волокном обеспечивает увеличение выщипываемости красителя из красильной ванны и соответственно снижение его содержания в сточных водах, что позволяет улучшить экологичность технологии, а сокращение температуры и времени крашения предоставляет возможность снизить энергозатраты предприятий. Потому применение ЭРНОК является целесообразным для интенсификации процесса крашения шерстяного волокна кислотными красителями.

Выводы

Изучение кинетики крашения шерстяного волокна электроактивированными растворами кислотных красителей позволяет определить следующие преимущества применения ЭРНОК:

- температура крашения снижена со 100 до 80°С;
- значение равновесной сорбции при крашении растворами кислотных красителей, подвергнутых

воздействию ЭРНОК на 17–23 % выше, чем при крашении необработанными красителями;
 - сокращение времени половинного окрашивания для кислотного красного 2С и кислотного ярко-синего антрахинонового в 1,25 и 1,33 раза позволяет сократить продолжительность процесса крашения, что подтверждается увеличением рассчитанных коэффициентов диффузии и констант скорости выбирания красителей.

Литература

1. Новорядовская Т. С. Химия и химическая технология шерсти / Т.С. Новорядовская, С.Ф. Садова. – М. : Легпромбытиздат, 1986. – 200 с.
2. Леднева И. А. Современное состояние и перспективы развития технологии крашения шерсти / И. А. Леднева, Б. В. Каменский ; [под ред. Б.Н. Мельникова]. – М. : Легпромбытиздат, 1988. – 136 с.
3. Сафонов В. В. Интенсификация химико-текстильных процессов отделочного производства / Сафонов В. В. – М. : МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2006. – 405 с.
4. Семешко О. Я. Исследование влияния электроразрядной нелинейной объемной кавитации на процесс крашения шерсти кислотными красителями / О. Я. Семешко, Ю. Г. Сарибекова, А. В. Ермолаева // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2010. – № 1(37). – С. 166–170.
5. Юткин Л. А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1986. – 253 с., ил.
6. Малюшевская А. П. Разработка основ ресурсосберегающей технологии глубокой переработки льноволокна с использованием электроразрядной нелинейной объемной кавитации : дис. ... канд. техн. наук : 05.19.03/ А. П. Малюшевская. – Николаев, 2005. – 189 с.
7. Промтов М. А. Машины и аппараты с импульсными энергетическими воздействиями на обрабатываемые вещества : [учеб. пособие] / М.А. Промтов. – М. : Машиностроение-1, 2004. – 136 с.
8. Лабораторный практикум по химической технологии волокнистых материалов / [М. В. Корчагин, Н. М. Соколова, И. А. Шиканова и др.]. – М. : Легкая индустрия, 1976. – 352 с.
9. Красовский И. В. Физическая и коллоидная химия / И. В. Красовский, Е. И. Вайль, В. Д. Безуглый. – К. : Вища школа, 1983. – 352 с.

Надійшла 6.1.2011 р.

УДК 675.017.63

А.А. ГОРБАЧОВ

ТОВ «ГВП – Хімматеріали», м. Київ

Г.В. САВЧЕНКО, Б.М. ЗЛОТЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

ВПЛИВ ЕЛЕКТРОПРОВІДНОСТІ ВОДИ НА ОСНОВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ХУТРА КРОЛЯ

У статті представлено результати досліджень щодо впливу електропровідності води (електроактивованої та не активованої) на основні характеристики хутра кроля, що відповідає ГОСТ 2974–75.

The results of researches on influence of water's conductivity (electro-activated and not activated) on the main characteristics of rabbit fur which corresponds to GOST 2974-75 are presented in the article.

Ключові слова: електроактивована вода, електропровідність, температура зварювання дерми, оптична густина.

Рідинні процеси при виробництві хутра повною мірою пов'язані з наявністю в розчині води електролітів, які утворились внаслідок дисоціації іонів хімічних утворень в структурі білка, гідролізу зв'язків, носіями яких є структурні елементи білка, а також відносно вільні іони. Разом з тим, приймають участь іони, які введені з водою як розчинником хімічних компонентів, зокрема іони Na^+Cl^- . Звичайна вода (водопровідна) та дистильована вода в своїй структурі мають мінімальну електропровідність, а аноліт і католіт мають електропровідність в 2–3 рази більшу [1], що вказує на те, що електропровідність у цих розчинах забезпечується не тільки іонами Na^+Cl^- , але й іонами, які утворені внаслідок надлишку рухомих іонів з позитивним чи негативним зарядом, носіями яких може бути угруповання з молекулами води.

Постановка завдання

Взуття (зокрема взуття для немовлят) повинне відповідати певним вимогам, які б задовольняли фізико-механічні та гігієнічні показники, стійкі в часі та при експлуатації. Для вирішення цієї проблеми придатна електроактивована вода (аноліт та католіт) з відповідною електропровідністю ($>1000 \mu\text{S}/\text{cm}$).

Об'єкти та методи досліджень

Об'єктом дослідження було обрано зразки шкур кроля прісносухого методу консервування зі збереженим волосним покривом, вичинені в середовищах з різною електропровідністю води. Визначали

вплив електропровідності води на основні хімічні показники хутра кроля, зокрема на вміст жиру в шкірній тканині, температуру її зварювання та на показник формування об'єму дерми. Дослідження проводились відповідно до [2–3].

Результати та їх обговорення

Результати досліджень, викладених в [1], показали, що на технологічні процеси (відмочування, пікелювання (при використанні технічної та дистильованої води), дублення, жирування та сушіння) суттєво впливає загальна характеристика води, яку можна звести до її електропровідності, та основні показники готової продукції (рис. 1–3) зі значеннями квадрату коефіцієнту кореляційного відношення R , більшими 0,8.

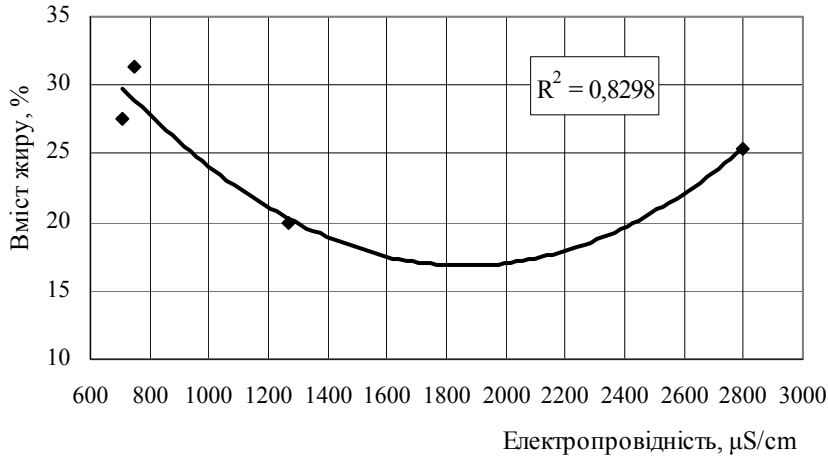


Рис. 1. Вплив електропровідності води на вміст жиру в шкірній тканині

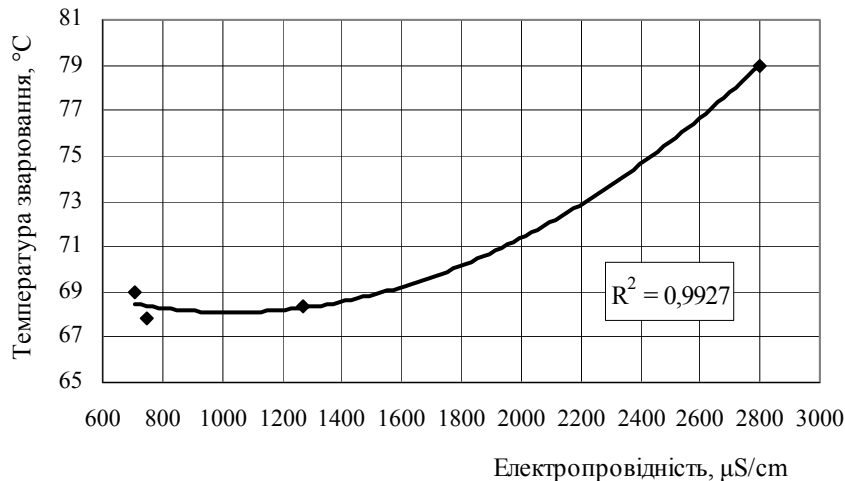


Рис. 2. Вплив електропровідності води на температуру зварювання шкірної тканини

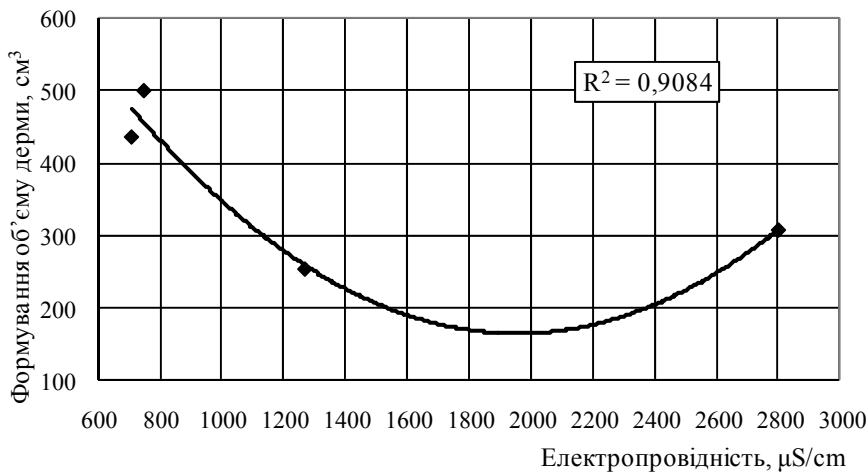


Рис. 3. Вплив електропровідності води на формування об'єму дерми

Використовуючи в якості розчинника воду з різною електропровідністю було встановлено, що вона суттєво впливає на ступінь полярної частини як розчинних речовин, так і безпосередньо гідрофобно-гідрофільний баланс всередині дерми. Це призводить до різної взаємодії функціональних груп як у розчині,

так і між розчиненими у воді сполуками та активними групами, які наявні в товщі дерми. Результатом такої взаємодії є зміна показників аналітичних характеристик шкірної тканини та показника формування об'єму дерми. Про позитивний заряд аміногруп можна стверджувати на підставі існування характерних хвиль довжиною 3410 см^{-1} і 1663 см^{-1} , особливо в кислому середовищі при пікелюванні (рис. 4). При певній електропровідності спостерігається максимальне значення оптичної густини. Збільшення та зменшення приводить до відхилення в меншу сторону значення оптичної густини при частоті коливань хвиль 3410 см^{-1} і 1663 см^{-1} .

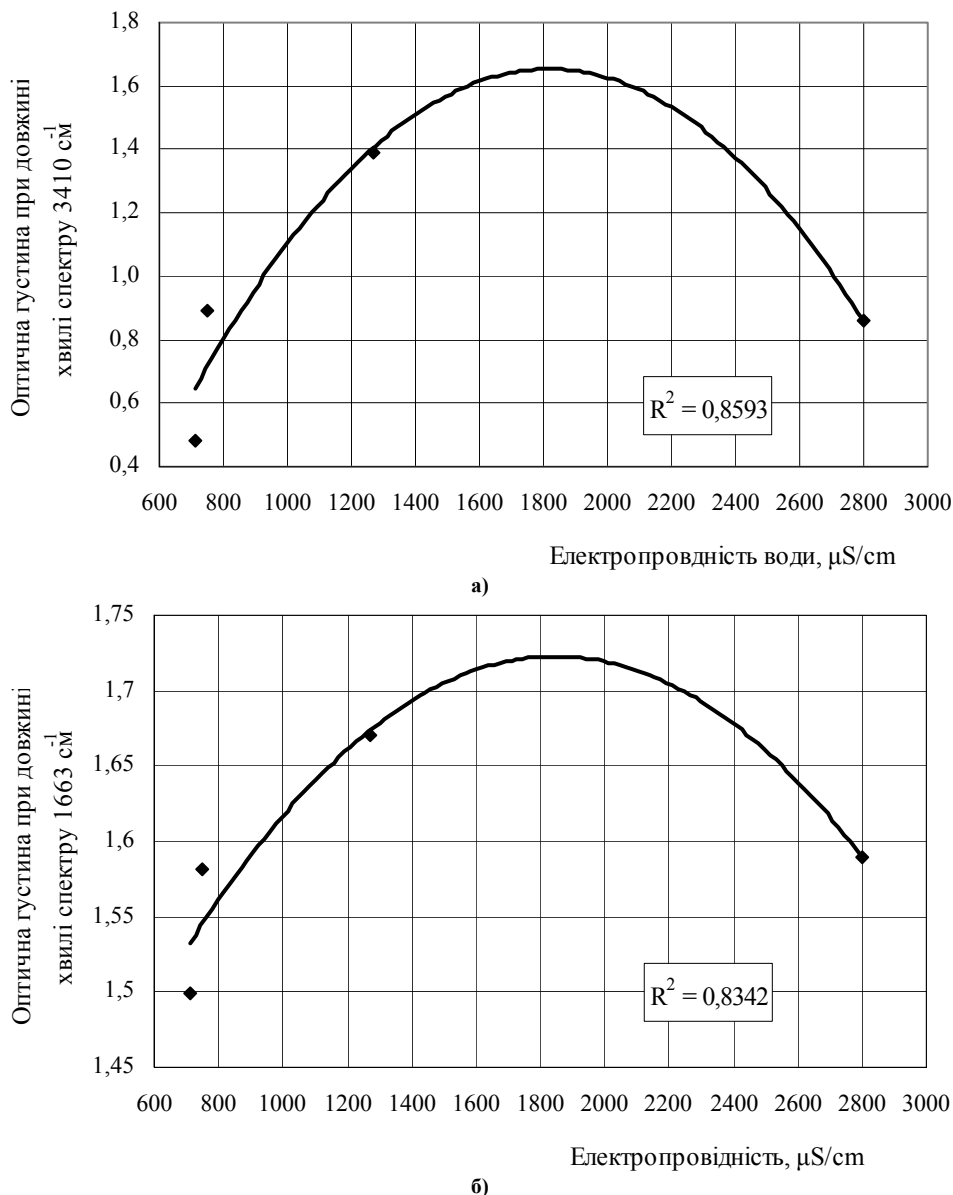


Рис. 4. Вплив електропровідності води на оптичну густину при хвилі спектру: а) 3410 см^{-1} ; б) 1663 см^{-1}

Довжини хвиль 3410 см^{-1} та 1663 см^{-1} пов'язані з утворенням водневих зв'язків, значна кількість яких суттєво впливає на температуру зварювання колагену дерми. Сутність цих зв'язків полягає в тому, що вони після розриву в одному місці знову утворюються в іншому місці, що певною мірою забезпечує можливість здійснення деформації та закріплення залишкової деформації.

Висновки

Обробка хутра електроактивованою водою в технологічному циклі його виготовлення суттєво впливає на кількісні показники, що об'єктивно характеризують якість шкірної тканини (вміст жиру в шкурці, температура зварювання дерми) та приймає участь в формуванні структури шкіри (показник формування об'єму), а також має внесок в пружно-пластичні властивості шкірки, які необхідно враховувати при виготовленні взуття для немовлят.

Розглянуто найбільш вірогідні реакції з шкірною тканиною кроля з використанням води з різною характеристикою електропровідності в присутності природної солі (технічної води), дистильованої води в присутності повареної солі, а також дистильованої води в присутності повареної солі, утвореної на катоді та аноді (католіт та аноліт). Останні проявили свою специфічність у впливі на технологічні процеси

виробництва хутра зі шкурок кроля. Властивості готових шкірок у повній мірі залежать від вмісту компонентів, які можуть бути носіями електричного заряду.

Література

1. Савченко Г.В. Вплив електроактивованої води на спектральні характеристики шкірної тканини шкурок кроля / Г.В. Савченко, О.П. Цимбаленко, А.А. Горбачов // Вісник КНУТД. – 2010. – № 6. – с. 73–76.
2. Шкурки меховые и овчина шубная. Методы определения содержания несвязанных жировых веществ : ГОСТ 26129-84. – [Введ. 26.03.84]. – М. : Изд-во стандартов, 1984. – 5 с.
3. Шкурки меховые и овчина шубная. Метод определения температуры сваривания : ГОСТ 17632-72. – [Введ. 01.10.89]. – М. : Изд-во стандартов, 1980. – 3 с.

Надійшла 5.1.2011 р.

УДК 677.044.132

А.Я. ГАНЗЮК, Ю.О. ЯФИНОВИЧ

Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ АНТИСТАТИЧНОЇ ОБРОБКИ НА ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Досліджено вплив дії поверхнево-активних речовин, які виступають в якості антистатичних агентів на капілярність, жорсткість та стійкість до прання. Показано, що не відбувається суттєва зміна цих параметрів, а максимальний ефект і збереження антистатичного агента на волокні не спостерігаються вже після третього циклу прання. Тому перспективним завданням буде розробка полімерних композицій, які проявлятимуть добрий антистатичний ефект і суттєво не впливатимуть на фізико-механічні властивості текстильних матеріалів.

Investigational influence actions of poverkhnevo-aktivnikh matters, which come forward in quality anti-static agents on a capillarity, inflexibility and firmness, to the washable. It is rotined that a substantial change of these parameters is not, and a maximal effect and maintainance of anti-static agent on a fibre is not observed already after the third cycle of washable. Therefore a perspective task will be development of polymeric compositions which will show a good anti-static effect and substantially not influence on fiziko-mechanical properties textile materials.

Ключові слова: антистатика, поверхнево-активні речовини, електричний опір, електропровідність.

Постановка проблеми

В наш час вчені докладають великі зусилля для вивчення такого прояву, як статична електризація. Розробляються нові методи і засоби боротьби з цим негативним проявом. На виробництві впроваджуються нові матеріали для спецодягу і взуття, в структурі яких знаходяться матеріали, які нейтралізують статичний заряд або розподіляють його по всій поверхні. Для покращення виготовленої продукції, зниження браку, захисту обладнання і, насамперед, захисту персоналу, впроваджуються прилади нейтралізації статичної електрики. В побуті все більше стали застосовуватись засоби пом'якшення і надання антистатичних властивостей. Від перманентних антистатиків стали відмовлятися, тому що вони негативно впливають на якість текстильних матеріалів. Надають більшу увагу обробці на виході готового виробу відповідних текстильних полотен шляхом застосування більш дорогої не перманентної антистатика [1– 2].

Електризація – складний комплекс процесів і за сучасним уявленням є результатом різних видів взаємодії [3– 4]. Механізму виникнення зарядів присвячена велика кількість робіт вітчизняних і зарубіжних авторів. Однак і до тепер не розроблена загальноприйнята теорія, яка пояснює причини виникнення електростатичних зарядів.

Найбільш розповсюдженою стала теорія, яка розглядає електризацію як результат переходу носіїв зарядів (електронів або іонів) з однієї контактуючої поверхні на іншу. При торканні діелектрика, найчастіше текстильного волокна з металом, з поверхні останнього сходять електрони, які мають визначений рівень енергії, і “прилипають” до поверхні діелектрика, передаючи йому негативний заряд. Але на практиці волокна при торканні з металом можуть заряджатися як негативно (наприклад, полівінілхлоридні волокна, нітрошовк), так і позитивно (капронові, лавсанові, віскозні, природні волокна). Електризацію діелектрика позитивним зарядом пояснюють присутністю на його поверхні електронів, здатних при окремих умовах, залишаючи діелектрики, залишати “дірки”, котрі можуть розглядатись як позитивні заряди. В результаті негативні електрони і позитивні “дірки” утворюють між контактуючими поверхнями подвійний електричний прошарок [5– 6].

Текстильні волокна є полімерними діелектриками, макромолекули яких мають полярні групи, що свідчить про їх постійні дипольні моменти. На поверхні тіл рівновага зарядів порушена, і тому існує окремий поверхневий потенціал, величина якого залежить від поляризації молекул, характеру їх місцезнаходження в поверхневому прошарку і його густина.

При торканні двох поверхонь виникає електричне поле, під дією якого відбувається орієнтація диполів, в результаті чого між контактуючими поверхнями виникає подвійний електричний прошарок. При порушенні контакту поверхонь подвійне електричне поле роз'єднується і кожна з контактуючих поверхонь

залишається зарядженою електрикою протилежного знаку [5– 6].

Електризація матеріалів є поверхневим явищем, яке виникає в результаті порушення контакту між двома поверхнями. При терті електризація підвищується внаслідок того, що саме тертя – це ряд послідовних виникнень та порушень контактів поверхонь, які труться. Підвищення поляризації та деполіаризації молекул при терті пов'язано з тим, що тепло, яке випромінюється, сприяє більшій рухливості диполів та їх більш легкій орієнтації.

Формулювання цілі статті

Мета і завдання роботи – встановлення доцільності використання ПАР у якості антистатичних агентів та вивчення впливу різних факторів на фізико-механічні властивості текстильних матеріалів до і після обробки.

Виклад основного матеріалу

Важливою фізичною характеристикою текстильного матеріалу, яка обумовлює появу і величину електричного заряду, є його ізолююча властивість, яка характеризується величиною електричного опору або оберненої їй величини електричної провідності. В області електризації текстильних матеріалів не встановлений закономірний взаємозв'язок провідності та факторів, від яких вона залежить. Однак відомо, що електрична провідність текстильного матеріалу залежить від його вологопоглинаючої здатності, структури і хімічної будови, наявності сторонніх домішок або яких-небудь речовин на його поверхні (катализатори, стабілізатори полімеризації, текстильно-допоміжні речовини, які використовуються при різних видах обробки тканин). Але вирішальними факторами є структурні особливості і хімічна будова текстильних матеріалів, вологість навколишнього середовища, яка дуже впливає на електричну провідність текстильного матеріалу.

Антистатики є продуктами, за допомогою яких можна зняти або знизити до допустимого рівня електростатичні заряди, які утворюються при виробництві волокон і при їх експлуатації та змінюють наступні характеристики волокна:

- збільшують електропровідність поверхні волокна;
- створюють проміжний прошарок з високою діелектричною постійною між волокном і поверхнею тертя;
- знижують потенціал контакту, збільшують гладкість волокна.

Гарний антиелектростатичний ефект показують поверхнево-активні речовини, які мають полярну будову, що свідчить про наявність гідрофільних груп і гідрофобних вуглеводневих ланцюгів. Антистатична дія виявляється тим краща, чим більше проявляється полярна будова.

В роботі досліджено вплив обробки антистатичних агентів на жорсткість текстильних матеріалів за ДСТУ 8977-74.

Аналізуючи результати впливу антистатичних агентів на жорсткість оброблених і необроблених згідно методики зразків можна зробити висновок, що для перших трьох текстильних матеріалів: нейлону, лавсану 100 % і лавсану – бавовни спостерігалось різке збільшення жорсткості при максимальній концентрації препаратів 25 г/л, а для поліестер трикотаж 1 і трикотаж 2 таке зростання спостерігалось при 20 г/л. При обробці зразків препаратом “Semana” спостерігалось незначне зростання жорсткості, що дає можливість пропонувати його в якості пом'якшувача (табл. 1).

Таблиця 1

Вплив антистатичних препаратів на жорсткість текстильних матеріалів

Артикул тканини	Концентрація ПАР	Жорсткість E, мкН*см ² (обробленого ПАР)		Жорсткість E, мкН*см ² (обробленого “Semana”)	
		основа	уток	основа	уток
1	2	3	4	5	6
Нейлон 2218	Необроблений зразок	75,92	67,16	75,92	67,16
	5	80,92	71,54	76,89	70,08
	10	92,8	90,12	214,88	210,05
	15	97,25	68,62	135,98	67,16
	20	80,92	71,54	168,74	120,98
	25	103,88	99,18	254,85	238,54
Лавсан 100 % 53012	Необроблений зразок	266,53	82,61	266,53	82,61
	5	234,73	165,2	187,73	134,3
	10	362,18	245,76	370,91	280,13
	15	175,98	138,69	360,94	167,01
	20	198,54	200,2	320,01	159,82
	25	1319,04	1260,02	454,74	369,90

1	2	3	4	5	6
Лавсан 68 %, бавовна 32 % 53012	Необроблений зразок	190,07	119,7	190,07	119,7
	5	196,09	138,69	178,90	177,78
	10	199,89	185,65	728,8	708,21
	15	143,66	138,69	143,07	119,7
	20	188,56	177,78	138,90	136,69
	25	183,9	176,8	159,76	165,2
Поліестер трикотаж 1 Н-1228	Необроблений зразок	183,44	109,49	183,44	109,49
	5	168,89	140,07	165,76	110,43
	10	179,13	141,87	154,09	100,74
	15	183,44	121,17	176,8	124,09
	20	676,76	198,92	129,98	103,66
	25	288,09	200,06	165,97	122,3
Поліестер трикотаж 2 2112	Необроблений зразок	266,53	156,23	266,53	156,23
	5	169,01	134,31	156,78	131,39
	10	382,76	278,45	175,89	172,95
	15	148,9	131,39	156,23	143,07
	20	798,23	204,23	244,76	168,09
	25	244,77	204,98	244,77	188,09

Капілярність матеріалів є характеристикою водовбираючої здатності поздовжніх пор у матеріалі. А тому вивчався вплив антистатичних препаратів на капілярність текстильних матеріалів; результати досліджень наведені в таблиці 2

Таблиця 2

Вплив антистатичних препаратів на капілярність текстильних матеріалів

Артикул тканини	Концентрація ПАР	Капілярність зразка тканини, мм, (оброблених ПАР)	Капілярність зразка тканини, мм, (оброблених "Semana")
Нейлон 2218	Необроблений зразок	55; 57; 53	55; 57; 53
	5	70; 71; 72	75; 70; 72
	10	85; 84; 87	53; 55; 57
	15	87; 85; 86	70; 71; 74
	20	70; 71; 70	47; 49; 51
	25	77; 78; 77	60; 65; 66
Лавсан 100 % 53012	Необроблений зразок	29; 30; 32	29; 30; 32
	5	46; 44; 47	55; 50; 56
	10	54; 53; 55	31; 34; 37
	15	66; 65; 67	70; 72; 71
	20	59; 60; 62	40; 42; 41
	25	70; 70; 70	77; 75; 78
Лавсан 68 %, бавовна 32 % 10004	Необроблений зразок	139; 139; 140	139; 139; 140
	5	155; 158; 160	154; 152; 155
	10	163; 164; 160	155; 150; 157
	15	180; 183; 185	185; 183; 186
	20	165; 166; 165	46; 45; 46
	25	164; 160; 165	55; 60; 57
Поліестер трикотаж 1 Н-1228	Необроблений зразок	37; 40; 40	37; 40; 40
	5	35; 40; 42	43; 41; 42
	10	30; 35; 30	31; 34; 30
	15	45; 47; 48	32; 31; 30
	20	30; 34; 35	25; 26; 25
	25	50; 55; 57	27; 30; 32
Поліестер трикотаж 2 2112	Необроблений зразок	36; 38; 38	36; 38; 38
	5	65; 67; 70	70; 74; 73
	10	35; 32; 36	50; 51; 49
	15	70; 68; 69	71; 70; 74
	20	40; 39; 40	39; 40; 42
	25	55; 54; 58	45; 50; 48

Аналіз впливу антистатичних препаратів на капілярність оброблених тканини дозволяє стверджувати, що запропоновані ПАР збільшують капілярність при їх концентрації 15 г/л, при чому ця закономірність спостерігається для досліджуваних зразків тканин. Препарат "Semana" максимальну ефективність виявляє також при концентрації 15 г/л.

Так як випробувальні препарати є нестійкими до мокрих обробок, тому досліджено, після кількох циклів прання антистатик залишається на поверхні волокна.

Важливим при наданні антистатичного ефекту текстильним матеріалам зберегти ефективність впливу їх якомога довше. Аналізуючи результати таблиць 3–4 можна зробити висновок, що вже після третього циклу прання антистатика практично на волокні не залишається, навіть при концентрації його 25 г/л.

Таблиця 3

Залежність питомого поверхневого опору текстильних матеріалів, оброблених ПАР від тривалості дії миючого розчину

Назва матеріалу концентрація ПАР (С) г/л	Цикли прання					
	I прання		II прання		III прання	
	R_s	ρ_s	R_s	ρ_s	R_s	ρ_s
1	2	3	4	5	6	7
Нейлон						
5	$2,3 \cdot 10^6$	$2,13 \cdot 10^8$	$1,8 \cdot 10^7$	$1,67 \cdot 10^9$	$5,6 \cdot 10^7$	$5,19 \cdot 10^9$
10	$1,3 \cdot 10^6$	$1,20 \cdot 10^8$	$0,5 \cdot 10^7$	$4,63 \cdot 10^8$	$8,3 \cdot 10^7$	$7,68 \cdot 10^9$
15	$1,2 \cdot 10^6$	$1,11 \cdot 10^8$	$0,6 \cdot 10^7$	$5,56 \cdot 10^8$	$7,8 \cdot 10^7$	$7,22 \cdot 10^9$
20	$0,75 \cdot 10^6$	$6,9 \cdot 10^7$	$0,5 \cdot 10^7$	$4,25 \cdot 10^8$	$9,6 \cdot 10^7$	$8,89 \cdot 10^9$
25	$0,77 \cdot 10^6$	$7,1 \cdot 10^7$	$0,6 \cdot 10^7$	$5,56 \cdot 10^8$	$1,9 \cdot 10^8$	$1,76 \cdot 10^{10}$
Лавсан 100 %						
5	$8 \cdot 10^{11}$	$7,41 \cdot 10^{13}$	$8,9 \cdot 10^{11}$	$8,24 \cdot 10^{13}$	$6,5 \cdot 10^{12}$	$6,02 \cdot 10^{14}$
10	$8,6 \cdot 10^{11}$	$7,96 \cdot 10^{13}$	$9,4 \cdot 10^{11}$	$8,7 \cdot 10^{13}$	$2,4 \cdot 10^{12}$	$2,22 \cdot 10^{14}$
15	$9,4 \cdot 10^{11}$	$8,7 \cdot 10^{13}$	$9,8 \cdot 10^{11}$	$9,07 \cdot 10^{13}$	$0,5 \cdot 10^{12}$	$4,63 \cdot 10^{13}$
20	$9,8 \cdot 10^{11}$	$9,07 \cdot 10^{13}$	$9,8 \cdot 10^{11}$	$9,07 \cdot 10^{13}$	$9,9 \cdot 10^{11}$	$9,17 \cdot 10^{13}$
25	$9,8 \cdot 10^{11}$	$9,07 \cdot 10^{13}$	$9,8 \cdot 10^{11}$	$9,07 \cdot 10^{13}$	$9,9 \cdot 10^{11}$	$9,17 \cdot 10^{13}$
Лавсан 68 %, бавовна 32 %						
5	10^{13}	$9,26 \cdot 10^{15}$	10^{13}	$9,26 \cdot 10^{15}$	$20 \cdot 10^{12}$	$1,85 \cdot 10^{15}$
10	$8,5 \cdot 10^9$	$7,87 \cdot 10^{11}$	$20 \cdot 10^9$	$1,85 \cdot 10^{12}$	$20 \cdot 10^{10}$	$1,85 \cdot 10^{13}$
15	$9,5 \cdot 10^9$	$8,79 \cdot 10^{11}$	$9,8 \cdot 10^9$	$9,07 \cdot 10^{11}$	$9,8 \cdot 10^9$	$9,07 \cdot 10^{11}$
20	$9,7 \cdot 10^9$	$8,98 \cdot 10^{11}$	$9,9 \cdot 10^9$	$9,17 \cdot 10^{11}$	$9,8 \cdot 10^9$	$9,07 \cdot 10^{11}$
25	$9,6 \cdot 10^8$	$8,89 \cdot 10^{10}$	$10 \cdot 10^9$	$9,26 \cdot 10^{11}$	$9,9 \cdot 10^9$	$9,17 \cdot 10^{11}$
Поліестер трикотаж 1						
5	$1,6 \cdot 10^9$	$1,48 \cdot 10^{11}$	$1,9 \cdot 10^{10}$	$1,76 \cdot 10^{12}$	$2,0 \cdot 10^{11}$	$1,85 \cdot 10^{14}$
10	$9,0 \cdot 10^9$	$2,49 \cdot 10^{11}$	$9,5 \cdot 10^{10}$	$8,80 \cdot 10^{12}$	$9,9 \cdot 10^{12}$	$1,85 \cdot 10^{15}$
15	$5,8 \cdot 10^{11}$	$5,37 \cdot 10^{13}$	$5,5 \cdot 10^{11}$	$5,09 \cdot 10^{13}$	$5,3 \cdot 10^{11}$	$4,91 \cdot 10^{13}$
20	$7,9 \cdot 10^{10}$	$7,31 \cdot 10^{12}$	$7,6 \cdot 10^{10}$	$7,04 \cdot 10^{12}$	$7,7 \cdot 10^{11}$	$7,13 \cdot 10^{13}$
25	$9,9 \cdot 10^{10}$	$9,17 \cdot 10^{12}$	$9,9 \cdot 10^{10}$	$9,17 \cdot 10^{12}$	$4,6 \cdot 10^{11}$	$4,26 \cdot 10^{13}$
Поліестер трикотаж 2						
5	10^{13}	$9,26 \cdot 10^{15}$	10^{13}	$9,26 \cdot 10^{15}$	10^{13}	$9,26 \cdot 10^{15}$
10	$19 \cdot 10^{13}$	$1,76 \cdot 10^{15}$	10^{13}	$9,25 \cdot 10^{15}$	10^{13}	$9,26 \cdot 10^{15}$
15	$4,9 \cdot 10^{12}$	$4,54 \cdot 10^{14}$	$5,4 \cdot 10^{12}$	$4,99 \cdot 10^{14}$	10^{13}	$9,26 \cdot 10^{15}$
20	$16 \cdot 10^{11}$	$1,48 \cdot 10^{14}$	$20 \cdot 10^{11}$	$1,85 \cdot 10^{14}$	$20 \cdot 10^{11}$	$1,9 \cdot 10^{14}$
25	$1,7 \cdot 10^{11}$	$1,57 \cdot 10^{13}$	$2,5 \cdot 10^{11}$	$2,31 \cdot 10^{13}$	$3,5 \cdot 10^{11}$	$3,24 \cdot 10^{13}$

Таблиця 4

Залежність питомого поверхневого опору текстильних матеріалів, оброблених антистатичним препаратом "Semana" від тривалості дії СМЗ.

Назва матеріалу і концентрація "Semana" (С) г/л	Цикли прання					
	I прання		II прання		III прання	
	R_s	ρ_s	R_s	ρ_s	R_s	ρ_s
1	2	3	4	5	6	7
Нейлон						
5	$2,3 \cdot 10^6$	$2,13 \cdot 10^8$	$1,8 \cdot 10^7$	$1,67 \cdot 10^9$	$5,6 \cdot 10^7$	$5,19 \cdot 10^9$
10	$1,3 \cdot 10^6$	$1,20 \cdot 10^8$	$0,5 \cdot 10^7$	$4,63 \cdot 10^8$	$8,3 \cdot 10^7$	$7,68 \cdot 10^9$

1	2	3	4	5	6	7
15	$1,2 \cdot 10^6$	$1,11 \cdot 10^8$	$0,6 \cdot 10^7$	$5,56 \cdot 10^8$	$7,8 \cdot 10^7$	$7,22 \cdot 10^9$
20	$0,75 \cdot 10^6$	$6,9 \cdot 10^7$	$0,5 \cdot 10^7$	$4,25 \cdot 10^8$	$9,6 \cdot 10^7$	$8,89 \cdot 10^9$
25	$0,77 \cdot 10^6$	$7,1 \cdot 10^7$	$0,6 \cdot 10^7$	$5,56 \cdot 10^8$	$1,9 \cdot 10^8$	$1,76 \cdot 10^{10}$
Лавсан 100 %						
5	$5,6 \cdot 10^{11}$	$5,19 \cdot 10^{13}$	$5,7 \cdot 10^{11}$	$5,28 \cdot 10^{13}$	$5,85 \cdot 10^{12}$	$5,42 \cdot 10^{14}$
10	$5 \cdot 10^{11}$	$4,63 \cdot 10^{13}$	$5,4 \cdot 10^{11}$	$4,99 \cdot 10^{13}$	$5,8 \cdot 10^{12}$	$5,37 \cdot 10^{14}$
15	$1,1 \cdot 10^{11}$	$1,02 \cdot 10^{13}$	$1,5 \cdot 10^{11}$	$1,39 \cdot 10^{13}$	$1,8 \cdot 10^{12}$	$1,67 \cdot 10^{14}$
20	$1,5 \cdot 10^{11}$	$1,39 \cdot 10^{13}$	$1,65 \cdot 10^{11}$	$1,58 \cdot 10^{13}$	$1,9 \cdot 10^{12}$	$1,76 \cdot 10^{14}$
25	$1,9 \cdot 10^{11}$	$1,76 \cdot 10^{13}$	$1,95 \cdot 10^{11}$	$1,81 \cdot 10^{13}$	$2,2 \cdot 10^{12}$	$2,04 \cdot 10^{14}$
Лавсан 68 %, бавовна 32 %						
5	$3,6 \cdot 10^{10}$	$3,33 \cdot 10^{12}$	$3,75 \cdot 10^{11}$	$3,47 \cdot 10^{13}$	$3,96 \cdot 10^{12}$	$3,67 \cdot 10^{14}$
10	$2,2 \cdot 10^{10}$	$2,04 \cdot 10^{12}$	$2,5 \cdot 10^{11}$	$2,31 \cdot 10^{13}$	$2,8 \cdot 10^{12}$	$2,59 \cdot 10^{14}$
15	$1,05 \cdot 10^{10}$	$9,72 \cdot 10^{12}$	$1,75 \cdot 10^{11}$	$1,62 \cdot 10^{13}$	$1,9 \cdot 10^{12}$	$1,76 \cdot 10^{14}$
20	$9,25 \cdot 10^9$	$8,56 \cdot 10^{11}$	$9,65 \cdot 10^{10}$	$8,93 \cdot 10^{12}$	$9,8 \cdot 10^{11}$	$9,07 \cdot 10^{13}$
1	2	3	4	5	6	7
25	$5,8 \cdot 10^9$	$5,37 \cdot 10^{11}$	$5,9 \cdot 10^{10}$	$5,46 \cdot 10^{12}$	$5,98 \cdot 10^{11}$	$5,54 \cdot 10^{13}$
Поліестер трикотаж 1						
5	$1,3 \cdot 10^9$	$1,20 \cdot 10^{11}$	$1,5 \cdot 10^{11}$	$1,39 \cdot 10^{13}$	$1,7 \cdot 10^{12}$	$1,57 \cdot 10^{14}$
10	$9 \cdot 10^9$	$2,49 \cdot 10^{11}$	$9,5 \cdot 10^{11}$	$8,80 \cdot 10^{13}$	$9,7 \cdot 10^{12}$	$8,98 \cdot 10^{14}$
15	$1,8 \cdot 10^9$	$1,67 \cdot 10^{11}$	$2,5 \cdot 10^{11}$	$2,31 \cdot 10^{13}$	$2,8 \cdot 10^{12}$	$2,59 \cdot 10^{14}$
20	$1,3 \cdot 10^9$	$1,20 \cdot 10^{11}$	$1,6 \cdot 10^{11}$	$1,48 \cdot 10^{13}$	$1,9 \cdot 10^{12}$	$1,76 \cdot 10^{14}$
25	$1 \cdot 10^9$	$9,26 \cdot 10^{11}$	$1,57 \cdot 10^{11}$	$1,45 \cdot 10^{13}$	$1,8 \cdot 10^{12}$	$1,67 \cdot 10^{14}$
Поліестер трикотаж 2						
5	$2,4 \cdot 10^{11}$	$2,22 \cdot 10^{13}$	$2,6 \cdot 10^{11}$	$2,41 \cdot 10^{13}$	$2,9 \cdot 10^{12}$	$2,69 \cdot 10^{14}$
10	$4,6 \cdot 10^9$	$4,26 \cdot 10^{11}$	$4,8 \cdot 10^{11}$	$4,44 \cdot 10^{13}$	$5,2 \cdot 10^{12}$	$4,81 \cdot 10^{14}$
15	$2,9 \cdot 10^9$	$2,67 \cdot 10^{11}$	$3,5 \cdot 10^{11}$	$3,24 \cdot 10^{13}$	$3,7 \cdot 10^{12}$	$3,43 \cdot 10^{14}$
20	$1,4 \cdot 10^9$	$1,30 \cdot 10^{11}$	$1,9 \cdot 10^{11}$	$1,76 \cdot 10^{13}$	$2,2 \cdot 10^{12}$	$2,04 \cdot 10^{14}$
25	$3,2 \cdot 10^9$	$2,96 \cdot 10^9$	$3,8 \cdot 10^{11}$	$3,52 \cdot 10^{13}$	$4,2 \cdot 10^{12}$	$3,89 \cdot 10^{14}$

Висновки

Таким чином, запропонована оптимальна концентрація, при якій антистатичний препарат максимально зменшує питомий поверхневий опір – 15 г/л. При цьому не відбувається суттєва зміна жорсткості та капілярності. Але максимальний ефект і збереження антистатичного агента на волокні не спостерігається вже після третього циклу прання, а тому перспективним завданням буде розробка полімерних композицій, які проявлятимуть добрий антистатичний ефект і суттєво не впливатимуть на фізико-механічні властивості текстильних матеріалів.

Література

1. Теплинський А. М. Мосты для измерения высокоомных сопротивлений и малых постоянных токов / Теплинський А. М. – Л. : Энергия, 1970. – 92 с.
2. Савчук Н. П. Элекризуемость обувных материалов и обуви и разработка мер ее снижения : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук. – Хмельницький, 1991. – 236 с.
3. Матков В. Н. Изучение электрических сопротивлений искусственных кож и пленочных материалов / В. Н. Матков, П. Ю. Снегирев, Ю. М. Запольский // Кожев.-обув. промышленность. – 1987. – № 2 – С. 33–34.
4. Мигляченко О. Ф. Вплив вологи й температури на питомий електричний опір штучної шкіри / О. Ф. Мигляченко, Ю. М. Милосердов // Легка промисловість. – 1972. – № 3. – С. 44.
5. Статическое электричество при переработке химических волокон / [под ред. И. П. Генца]. – М. : Легкая индустрия, 1966. – 346 с.
6. Михеева Е. Я. Определение удельного электрического сопротивления как нового показателя гигиенических свойств обувных материалов / Е. А. Михеева, М. П. Артышевская // Экспресс-информация. Обувная промышленность. – М. : ЦНИИГЭИ легпром, 1972. – Вып. II. – С. 3–9.

Надійшла 11.1.2011 р.

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДО- І ВІТРОЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МАТЕРІАЛІВ І ПАКЕТІВ ДЛЯ ОДЯГУ

В статті викладено результати аналізу існуючих методів дослідження водо- і вітрозахисних властивостей матеріалів і пакетів для одягу. Автори статті визначили основні недоліки і переваги діючих методів визначення гігроскопічних властивостей матеріалів, а також зазначили причини відставання вітчизняного приладобудування для потреб швейного матеріалознавства.

In article are stated results of the analysis existing exploratory acceptance water- and wind protection characteristic material and package for cloth. The Authors of the article have defined the main defect and advantage acting methods of the determination hygroscopicity characteristic material, as well as have indicated the reasons of the backlog domestic development instrument for necessities sewing science about material.

Ключові слова: методи дослідження, водо- і вітрозахисні властивості, гігроскопічність, прилади.

Вступ. Проблема створення одягу з балансованим співвідношенням гігієнічних і захисних властивостей завжди була актуальною через необхідність пошуку компромісних рішень. Не зважаючи на певний обсяг наукових розробок з цього напрямку, залишається значна кількість невирішених питань, які обумовлені відсутністю систематизації і узагальнення проблем, що пов'язані із поліпшенням захисних властивостей верхнього одягу ще на етапі проектування.

Виділення проблеми. При проектуванні верхнього одягу особливої ваги набуває досконалість методів дослідження його водо- і вітрозахисних властивостей. Нажаль саме цей напрямок тривалий час лишається поза увагою вітчизняних науковців, що пов'язано із складністю фізичних процесів, які досліджуються, а також через відсутність необхідного фінансування подібних розробок. Мала популярність розвитку приладобудування для дослідження різноманітних фізичних властивостей матеріалів для швейної промисловості ще пояснюється й дуже вузькою спеціалізацією такого устаткування. Щодо використання закордонних розробок, то їх придбання у багатьох випадках унеможливується значною ціною. Крім того, лабораторне обладнання, яке використовується для дослідження окремо взятих шарів матеріалів не завжди є достатньо ефективним для дослідження пакетів матеріалів. Для того, щоб визначитись з ймовірним напрямком подальших досліджень, є необхідним виконати аналіз існуючих методів визначення захисних властивостей матеріалів для одягу і їх пакетів.

Викладення основного матеріалу. Методи визначення водозахисних властивостей пакетів матеріалів полягають у визначенні спроможності останніх протистояти проникненню через них води із зовнішнього осередку. При цьому за основний критерій оцінки водозахисту приймають такий показник, як водотривкість (Вт, с) [1]. У відповідності до ГОСТ 3816-81 [2], визначення водотривкості може бути виконане методом пенетрометра, методом кошеля, методом кошеля-пенетрометра. Разом з цим, аналіз зазначених методів показав, що вони мають певні недоліки. Наприклад, недоліком визначення водотривкості методом пенетрометра є короткочасність контакту об'єкту досліджень з водою. Крім того, зазначений метод є багатостадійним, оскільки передбачає виконання значної кількості випробувань для визначення такого максимального гідростатичного тиску, під дією якого на зовнішній поверхні елементарної проби матеріалу або виробу з'являється задана кількість крапель води.

До недоліків проведення досліджень методом кошеля треба віднести те, що він є тривалим за часом (до 24 годин) і потребує значних витрат матеріалів, що досліджуються. Більш того, методика проведення визначення водозахисних властивостей зазначеним методом передбачає проведення попередньої підготовки проб матеріалів (звертання їх трубкою за основою і скручування в середину тричі в один бік і тричі у протилежний напрямок з наступним повторюванням зазначених дій, але вже у напрямку утоку), що спричиняє певне порушення їх первинної жорсткості і товщини. Проте, основним недоліком зазначеного методу лишається необхідність у формоутворенні з проби матеріалу – кошеля, по відношенню до якого проводяться дослідження. На нашу думку стовп води, який утворюється у середині кошеля, діє нерівномірно на стінки проби; при цьому найбільше навантаження від гідростатичного тиску приходить на нижню частину проби, в той час як його вплив на пробу зменшується по мірі віддалення від низу догори кошеля, що створює неоднакові умови проведення випробування.

Визначення водотривкості методом кошеля-пенетрометра виконують для дослідження лляних, напівлляних та бавовняних тканин [3]. Такий метод, у порівнянні з розглянутими, є більш ефективним, оскільки дозволяє отримати комплексну інформацію відносно об'єкту дослідження. Разом з цим, зазначеному методу притаманні недоліки вище розглянутих.

Сутність створення вітрозахисту пакету швейного виробу полягає у регулюванні його повітропроникності, яка є спроможністю матеріалів або виробу пропускати повітря і характеризується коефіцієнтом повітропроникності ($V_p, \text{дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$) [1, 3]. За критерій оцінки вітрозахисту обрано величину

повітропроникності, межи якої обумовлені підтриманням необхідного рівня термобалансу у підодяговому просторі. Аналіз методів дослідження повітропроникності показав, що вони ґрунтуються на визначенні кількості повітря, яке пройшло через пробу матеріалу або виріб за певний час. Прилади для визначення зазначеного показника працюють за принципом утворення з обох боків елементарної проби певного перепаду тиску, в результаті чого повітря рухається через об'єкт дослідження. Частіш за все V_r визначають при перепаді тисків $p = 5$ мм вод. ст. (49 Па), що відповідає перепаду тисків у просторі під одягом і оточуючим повітрям у нормальних кліматичних умовах, де середня швидкість повітря не перевищує 8-10 м/с [4].

Залежно від способу подачі повітря розрізняють прилади двох типів. В приладах першого типу розрідження в робочій камері, яка покрита дослідним матеріалом, досягається за рахунок злиття води з ємності, яка під'єднана до цієї камери, у результаті чого повітря з оточуючого осередку через матеріал потрапляє всередину камери. За таким принципом працює, наприклад, прилад Дерягіна Н.С., який, у відповідності до ГОСТ 938.18-70, використовується для визначення повітропроникності натуральних і штучних шкір [4]. Загальним недоліком приладів першого типу є те, що при проведенні за їхньою допомогою випробувань тканин, трикотажних і нетканих полотен не вдається створити суттєве розрідження повітря, через що прилади цього типу для визначення повітропроникності перелічених матеріалів використовуються рідко.

В приладах другого типу розрідження в робочій камері здійснюється за допомогою всмоктуючого мотору або вентилятора. У відповідності до ГОСТ 12088-77 [5], визначення повітропроникності матеріалів виконується на приладі ВПТМ-2, або на АТЛ-2, які відносяться до приладів другого типу. До недоліків зазначених приладів треба віднести те, що вони мають певні обмеження щодо чутливості визначення повітропроникності матеріалів, які мають дуже малу або значну поверхневу густину. До того ж, отримані результати випробувань не є абсолютними за значенням і потребують додаткового опрацювання за допомогою спеціальних таблиць. З метою уникнення вище зазначених недоліків, науковцями ХНУ у співдружності з представниками Северодонецького НДІТБХВ України, розроблено новий прилад з визначення повітропроникності текстильних матеріалів, натуральних і штучних шкір [6], дія якого полягає у створенні перепаду тиску в робочій камері за рахунок вакуумного розрідження. Перевагою приладу є те, що він дозволяє вимірювати повітропроникність не тільки в текстильних, а і в тих матеріалах, визначення проникності яких традиційно вважалося технічно неможливим. Це стало можливим завдяки тому, що зазначений прилад спроможний регулювати величину перепаду тисків по обидві сторони дослідних матеріалів за рахунок створення вакуумного розрідження необхідної величини, що на відміну від існуючого приладу ВПТМ-2 робить непотрібним використання набору змінних столиків з отворами різної площини і відповідних притискових кілець під час проведення випробувань. Крім того, підключення до приладу ПЕОМ надає можливість безперервного спостереження за кінетикою проходження повітря скрізь проби і пакети матеріалів з її відображенням на моніторі електронно-обчислювальної машини.

Гігієнічні властивості пакетів в більшій мірі визначаються відповідними властивостями їхніх складових. До найважливіших гігієнічних властивостей відноситься повітропроникність і показники гігроскопічності об'єктів дослідження, оскільки саме вони забезпечують утворення необхідного комфортного мікроклімату під пакетом за рахунок видалення зайвої пароподібної вологи і крапельно-рідинної вологи з поверхні тіла людини, а також створюють повітрообмін у підодяговому просторі.

При визначенні гігроскопічних властивостей матеріалів виконують дослідження вологості, гігроскопічності, вологовіддачі, вологовбирання і капілярності, які визначаються відповідно до ГОСТ 3816-81. Методи визначення показників гігроскопічних властивостей можна поділити на прямі і непрямі. Прямі методи ґрунтуються на відділенні вологи від об'єкту дослідження і від'ємному визначенні їхньої маси. До них відносяться метод висушування проби до постійної маси (стандартний метод); метод екстрагування вологи із матеріалів рідинами, які здатні поглинати воду; дистильційний метод. Непрямі методи основані на вимірюванні такої фізичної величини, яка є функціонально пов'язаною з вологістю матеріалу. До таких методів відносять кондуктометричний метод, який передбачає зміну електроопору датчика залежно від вологості матеріалу; смісний метод, який ґрунтується на вимірюванні діелектричних властивостей об'єктів дослідження залежно від вмісту вологи. Аналіз вище розглянутих методів показав, що в багатьох випадках вони є матеріалоємними, багатостадійними і тривалими за часом, а точність отриманих результатів залежить від таких суб'єктивних факторів, як технічний рівень відповідного обладнання, дотримання умов проведення досліджень і рівня підготовки персоналу, який виконує випробування. Особливо це стосується тих експериментів, які передбачають використання гравіметричного методу, що вимагає отримання значень результатів випробувань з точністю до другого або третього знаку після коми, що в реальних умовах здійснити без втрат вологи досить складно.

Аналіз методів з визначення гігроскопічності дає можливість зробити висновок про те, що найбільш методично і технічно забезпеченим є визначення капілярності. Враховуючи це, а також беручи до уваги те, що процес капілярного підняття рідини в текстильних матеріалах пов'язаний із багатьма показниками об'єкту досліджень (вид будови переплетення, сировинний вміст, товщина ниток, наявність направлення основи і утку, товщина матеріалу, поверхнева густина, вид оздоблення тощо), пропонується при проектуванні водо- і вітрозахисних пакетів за основний показник гігроскопічних характеристик матеріалів і пакетів з них прийняти саме капілярність, яка, на нашу думку, найбільш адекватно характеризує об'єкти дослідження [7]. Визначення капілярності матеріалів виконується за допомогою спеціальних приладів –

капіляриметрів, до найбільш відомих з яких можна віднести капіляриметр Волкової, Каменського, Оркіна, Порхаєва, Дерягіна, Кавказова та ін [4, 8, 9], в основу роботи яких покладено принцип взаємодії дослідного матеріалу і стовпа рідини. Зазначений принцип покладено і до ГОСТ 3816-81, завдяки якому авторами наукових праць [10] були встановлені основні фактори, які впливають на капілярність волокнисто-пористих матеріалів.

Проте, на наш погляд, зазначений стандарт має певні недоліки. Наприклад, дослідження капілярності, які проводяться у відповідності до ГОСТ 3816-81 є можливим виконувати лише за допомогою проб тканин, які мають світле забарвлення і з використанням тільки розчину калію двохромовоокислого або еозина (для шовкових тканин). Крім того, процес капілярного підняття контролюється візуально, що унеможливує використання такого методу для вивчення гігроскопічних властивостей пофарбованих у темні кольори матеріали різного асортименту (тканих, нетканих, ткано-трикотажних, трикотажних) по відношенню до рідин, які різняться за природою (спирти, ефір, кислоти тощо).

Детальний аналіз кривих, якими автори вище зазначених наукових праць описують залежність висоти капілярного підняття рідини пробами волокнистих матеріалів від часу випробування, дозволив припустити те, що у багатьох випадках ці криві не закінчуються прямою горизонтальною лінією, яка б дозволила стверджувати про вихід капілярного процесу на стаціонарний режим. Це вказує на те, що після закінчення часу випробування капілярні процеси можливо ще тривають, а рідина ще не встигла піднятися на ту висоту, яка є максимально можливою для даної волокнисто-пористої системи. Тобто час випробування 60 хв, який регламентований ГОСТ 3816-81, на наш погляд є недостатнім для визначення дійсно максимальної капілярності проби, що являється ще одним принциповим недоліком зазначеного стандарту. У зв'язку з цим виникає об'єктивна необхідність у перегляді стандартного часу проведення випробувань з визначення капілярності волокнистих матеріалів.

Аналіз існуючих капіляриметрів показав, що незважаючи на різноманітність їхнього конструктивно-технічного рішення, зазначені прилади мають такі загальні суттєві недоліки, як відсутність автоматизованого контролю за зміною висоти капілярного підняття рідини в елементарній пробі волокнистих матеріалів і спроможність проведення випробувань тільки з елетропровідними рідинами. Так, наприклад, в роботі [11] викладено матеріал про варіант нового капіляриметру, технічне рішення якого дозволило, на певному рівні, автоматизувати процес спостереження за кінетикою капілярного підняття рідини в пробах текстильних матеріалів. Превагою пристрою є те, що він дозволяє контролювати підняття рідини протягом всього часу проведення досліджень. Проте недоліками вказаного приладу є його спроможність працювати лише у контакті з електроконтактними рідинами, а значна відстань (5 мм) між точковими електродами унеможливує здійснення безперервного контролю за процесом капілярного підняття рідини в зразках текстильних матеріалів на цих проміжках. Зазначені недоліки сприяють отриманню обмеженої кількості експериментальних даних і підвищенню ймовірності зростання величини похибки їх значень.

Висновок. Отже необхідність у створенні сучасного дослідницького обладнання і відповідних методів визначення захисних властивостей матеріалів для швейної промисловості лишається актуальною.

Література

1. Матеріали та вироби текстильні, трикотажні, швейні та шкіряні : ДСТУ 3998-2000. – К. : Держстандарт України, 2001. – 89 с. – (Національний стандарт України).
2. Полотна текстильные. Методы определения гигроскопических и водоотталкивающих свойств : ГОСТ 3816-81 (ISO 811-81). – Взамен ГОСТ 3816-81 (в части метода определения капиллярности технических тканей взамен ГОСТ 29104.11-91). – М. : Изд-во стандартов, 1981. – 13 с.
3. Чубарова З.С. Методы оценки качества специальной одежды / З.С. Чубарова – М. : Легпромбытиздат, 1988. – 160 с.
4. Бузов Б.А. Материаловедение швейного производства / Б.А. Бузов, Т.А. Модестова, Н.Д. Алыменкова. : 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Легпромиздат, 1986. – 424 с.
5. Материалы текстильные и изделия из них. Методы определения воздухопроницаемости : ГОСТ 12088-77. – Взамен ГОСТ 12088-66. – М. : Изд-во стандартов, 1977. – 10 с.
6. Привала В.О. Новий прилад по визначенню повітропроникнення матеріалів для одягу / В.О. Привала., А.А. Мичко, Н.В. Михайлова // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2003. – № 5. – Ч. 1. – С.63 – 65.
7. Хаджинова М.А. К определению капиллярности тканей : доклады АН УзССР / Хаджинова М.А., Кирьякова Т.Г. – Ташкент., 1977. – № 9. – С.17-19.
8. Изучение капиллярных свойств текстильных материалов как один из путей управления их качеством : материалы докладов V Всесоюзной межвузовской научной конференции [«Управление качеством, эффективностью и совершенствованием ассортимента промышленных товаров на базе стандартизации и применение вычислительной техники»], Тбилиси. ТГУ, 1981. – Ч.2. – С.23-26.
9. Патент 45611 А України, G 01N 33/36. Прилад для визначення капілярності текстильних матеріалів / Привала В.О., Мичко А.А., Сарана О.М. ; заявник і власник патенту Хмельницький національний ун-т. – № 2001042623 ; Заявл. 18.04.2001 ; Опубл. 15.04.2002, Бюл. № 4.

10. Склянников В.П. Стрoение и качество тканей. Монография / В.П. Склянников – М. : Легкая и пищевая пром-сть, 1984. – 176 с.

11. Патент 59809 А України, G 01N 33/36. Прилад для визначення капілярності волокнистих матеріалів / Привала В.О., Мичко А.А., Сарана О.М., Засорнов О.С., Злотніков В.О. ; заявник і власник патенту Хмельницький національний ун-т – № 20021210340 ; Заявл. 20.12.2002 ; Опубл. 10.09.2003 ; Бюл. № 9.

Надійшла 20.1.2011 р.

УДК 66.021.2.081.3: 546.76

Т.М. ВАСИЛІНИЧ

Вінницький державний педагогічний університет ім. М. Коцюбинського

ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД ШКІРЯНОГО ВИРОБНИЦТВА ВІД ІОНІВ ХРОМУ

Досліджено процеси адсорбційного очищення стічної води від іонів хрому (III). Охарактеризовано сорбційну здатність природних глинистих мінералів та їх модифікованих форм в статичних умовах за допомогою ізотерм. Визначено, що процес очистки води від іонів хрому (III) відповідає моделям змішаної дифузії при нелінійній ізотермі.

Sorptive processes of water purification from pollution of chromiums (III) ions were investigated in this research. The sorption capacity of natural clay minerals and their modified forms in static conditions were characterized by means of the isotherm. The upshot of the matter is that water purification process conforms to the mixed diffusion model during nonlinear isotherm.

Ключові слова: іони хрому, адсорбція, природні мінерали.

Постановка проблеми. Забруднення стічних та поверхневих вод іонами хрому залишається серйозною екологічною проблемою, яка не має на сьогоднішній день достатньо ефективного вирішення. Ряд виробництв скидає стічні води, які містять солі хрому (III) або хромової кислоти: гальванічні цехи машинобудівних, приладобудівних, автомобільних, авіаційних заводів і т.п., цехи текстильних підприємств, хімічні заводи, які випускають хромпик та хромові квасці та ін. Важливою є проблема очищення стічних вод і в технології шкіри, оскільки солі хрому (III) використовуються для дублення шкіри, при цьому максимальна ступінь відпрацювання дубителя складає 90 %, а решта потрапляє в стоки. Як відомо, сполуки хрому (III) належать до 2-го класу небезпечності, а сполуки хрому (VI) – до 1-го класу небезпечності [1].

Існує велика кількість методів очищення стічних вод, проте кожен із методів має свої недоліки. Так, до недоліків екстракційних методів відносять складність технологічної схеми, більшість вживаних екстрагентів в тій чи іншій мірі розчиняються в оброблюваній воді. Недоліком методу осадження є поява в розчинах великої кількості йонів Na^+ , K^+ , Ca^{2+} ; методів іонообмінного очищення стічних вод – невисока робоча обмінна ємність іонообмінного матеріалу; коагуляційного методу – утворення невідновлюваних відходів та низький ефект очистки від органічних домішок.

Останнім часом значну увагу дослідників привертають адсорбційні методи очищення стоків від забруднювачів, зокрема із застосуванням природних дисперсних сорбентів. Незважаючи на те, що природні мінеральні сорбенти дещо поступаються за адсорбційною ємністю штучним сорбентам, вони виграють у доступності, собівартості та в можливості регенерації і багаторазового використання.

Для очищення стоків від іонів важких металів, зокрема від іонів хрому, найбільш перспективними є природні глауконіти. Мінеральний сорбент глауконіт Адамівської групи родовищ Хмельницької області являє собою природні піски, що містять 50–70 % мінералу глауконіту. Глауконітові мікроконкреції мають ефективну питому поверхню, високу ємкість катіонного обміну та ємкість моношару. Застосування глауконіту дозволяє видалити із забруднених вод радіоактивні ізотопи (на 65–98 %), важкі метали Cu^{2+} , Ni^{2+} , Fe^{3+} , Pb^{2+} , Sb^{3+} (94,8–100 %), Cr^{3+} , As^{3+} (33,6–33,8 %), ефективно очищувати промислові стоки також від завислих речовин, поверхнево-активних речовин, гербіцидів, пестицидів, фенолів, текстильних барбників тощо. Ще однією особливістю застосування глауконіту є його пролонгована дія та максимально низький відсоток десорбції (2–8 %), тобто відповідає потреба в утилізації продукту очищення [2, 3].

Аналіз останніх публікацій показує, що не дивлячись на велику кількість наукових досліджень, розроблені на їх основі технології не знайшли широкого застосування, тому що є недостатньо досконалими та не дають можливості досягти необхідної глибини очищення. Дослідні роботи з застосуванням природних сорбентів зосереджуються в основному на визначенні іонообмінної ємності, чи визначенні умов їх регенерації.

Метою роботи є розробка процесу очищення стічних вод від іонів хрому на природних адсорбентах, який би дозволив максимально знешкодити шкідливі речовини у стічних водах шкіряно-хутрового виробництва

Матеріал та результати досліджень. Технологію очищення стічних вод шкіряного виробництва, які містять сполуки хрому, найбільш доцільно планувати як періодичний процес. В загальному така технологія повинна включати стадії завантаження стоків та адсорбенту в реакційний апарат, адсорбції,

розділу фаз та утилізації відпрацьованого сорбенту. Тому для визначення раціональної технології очищення хромовмісних стоків необхідно розробити методику розрахунку окремих стадій. В переважній більшості випадків стадіями, які можуть лімітувати реалізацію технології очищення в цілому, є адсорбція та розподіл фаз.

Для встановлення значень параметрів адсорбції, нами проводились експериментальні дослідження, на основі яких будувалась ізотерма адсорбції. Шляхом ідентифікації експериментальних даних відомим теоретичним моделям встановлювався вид теоретичної ізотерми, яка найбільш коректно описує експериментально досліджений процес.

Експериментальна частина роботи полягала у визначенні залишкової концентрації іонів хрому (III) у пробах зі стічною водою в статичних та динамічних умовах, а саме: при поглинанні різних концентрацій іонів хрому однаковим шаром адсорбенту і при поглинанні однакових концентрацій іонів хрому різними шарами адсорбенту. Дослідження проводились в апараті з мішалкою за фіксованого числа обертів мішалки (300 об/хв) та термостатованої температури (20°C).

В таблиці 1 наведені результати зміни залишкової концентрації хрому (III) у пробах зі стічною водою від часу за кількості адсорбенту 20 г і при кімнатній температурі.

Таблиця 1

Зміна концентрації хрому (III) у пробах від часу (кількість адсорбенту становить 20 г, $t=20^{\circ}\text{C}$)

Час, год	Початкова концентрація іонів хрому (III), г/л				
	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
	Залишкова концентрація хрому (III), г/л				
1	0,161	0,408	0,813	1,349	1,782
2	0,069	0,332	0,606	0,888	1,280
3	0,017	0,256	0,554	0,773	1,162
4	–	0,121	0,389	0,623	0,882
5	–	0,009	0,174	0,406	0,658
6	–	0,008	0,172	0,404	0,657

Як свідчать результати експерименту, незалежно від концентрації, максимальне поглинання досягається за 5–6 годин. При високих концентраціях іонів хрому (1,5–2,5 г/л) максимальне поглинання відбувається впродовж перших двох – трьох годин; при більш низьких концентраціях іонів хрому (0,5–1,0 г/л) у стоках процес адсорбції відбувається рівномірно за часом і прямує до нуля.

Також було визначено залишкову концентрацію іонів трьохвалентного хрому у випадку, якщо на різних шарах адсорбенту поглинається стічна вода з однаковою концентрацією іонів хрому (III) при кімнатній температурі (рис. 1).

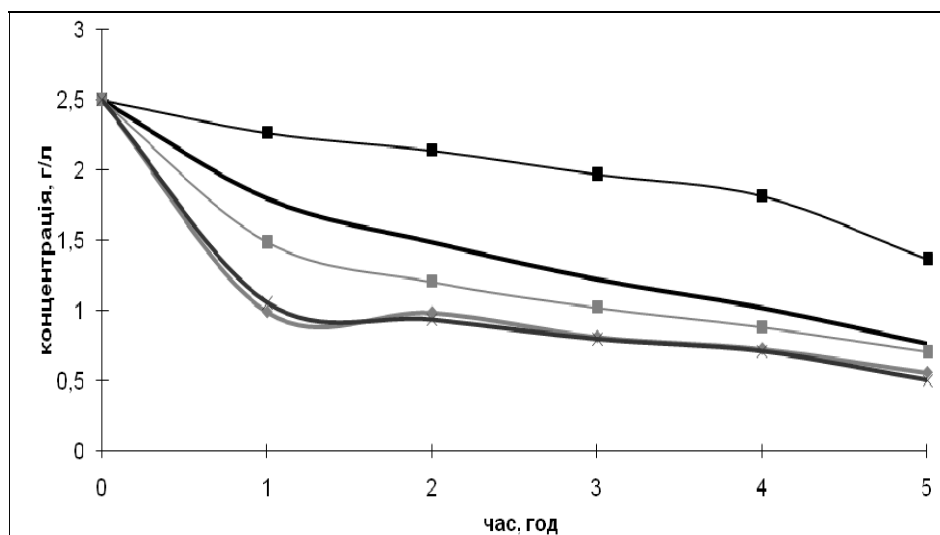


Рис. 1. Зміна концентрації хрому (III) у пробах від часу (початкова концентрація іонів хрому (III) становить 2,5 г/л, $t=20^{\circ}\text{C}$)
Кількість адсорбенту: ■– 10 г; ■– 20 г; ■– 30 г; ▲– 40 г; ◆– 50 г

Незалежно від кількості адсорбенту максимальне поглинання досягається за 5 годин. При великих кількостях адсорбенту (30–50 г) максимальне поглинання відбувається впродовж першої години; при менших кількостях адсорбенту (10–20 г) процес адсорбції проходить рівномірно за часом. Причому залежність між кількістю адсорбенту і залишковою концентрацією іонів хрому у стоках прямопропорційна: чим більша кількість адсорбенту, тим швидше відбувається поглинання іонів хрому. При визначенні залишкової концентрації через 24 години іони хрому виявлені лише в пробі з найменшою кількістю адсорбенту (10 г).

Також визначено залишкову концентрацію іонів трьохвалентного хрому у випадку, якщо на

однакових шарах адсорбенту поглинається стічна вода при температурах 40°C та 60°C в статичних умовах. Значення концентрацій наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Зміна концентрації хрому (III) у пробах від часу (початкова концентрація іонів хрому (III) становить 2,5 г/л, кількість адсорбенту – 20 г)

Час, год	Температура t, °C	
	40	60
	Залишкова концентрація хрому (III), г/л	
1	1,661	1,540
2	1,159	1,073
3	1,055	0,744
4	0,761	0,588
5	0,536	0,363

Як при 40°C, так і при 60°C максимальне поглинання іонів хрому зі стоків відбувається впродовж перших двох годин, причому між температурою стоків і залишковою концентрацією іонів хрому існує прямо пропорційна залежність: чим вища температура, тим швидше поглинаються іони хрому і, відповідно, тим менша їх концентрація залишається в стоках. Отже, температурний інтервал від 20°C до 60°C можна вважати оптимальним для проходження процесу адсорбції іонів хрому (III) зі стічних вод на природному сорбенті глауконіті.

За рівняннями ізотерми адсорбції та за результатами вимірювань побудовано графік залежності адсорбції на глауконіті у пробах зі стічною водою від концентрації іонів хрому (III) (рис. 2).

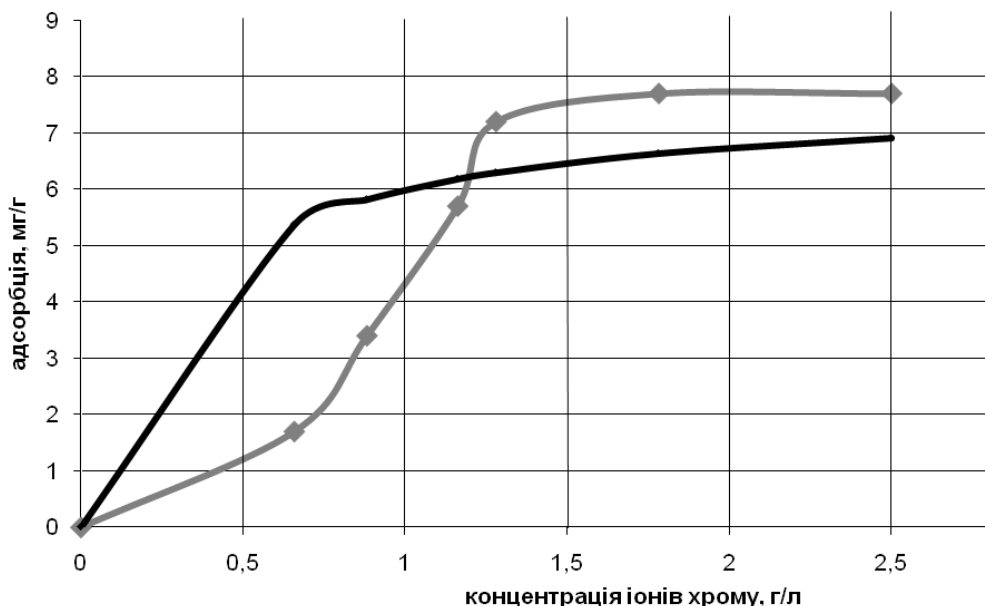


Рис. 2. Залежність адсорбції на глауконіті від концентрації іонів хрому при температурі 20°C: експериментальна ізотерма адсорбції; — ізотерма адсорбції Ленгмюра

Як видно з рис. 2 при збільшенні концентрації іонів хрому величина сорбції зростає, однак настає момент, коли всі активні центри вже зайняті молекулами сорбату, тому подальше збільшення концентрації сорбату не призводить до збільшення величини сорбції – ізотерма адсорбції виходить на плато. Це свідчить про те, що відбувається процес молекулярної адсорбції.

Рисунок вказує, що і розрахована, і експериментальна ізотерми належать до одного типу. Відхилення експериментальних значень від теоретичних допустимі, про що вказують коефіцієнти детермінації, які вище нормативних значень. Однак з рисунку видно, що ізотерма Ленгмюра не в повній мірі відображає експериментальні дані, тому для більш точного опису експериментальних ізотерм можна використати ізотерми адсорбції Дубініна, Марчевського-Яронца та інші.

За максимальним значенням адсорбції Γ_{∞} були визначені площа молекули в гранично насиченому шарі S_0 , яка становить $2 \cdot 10^{-21} \text{ м}^2$ та адсорбційна ємність сорбенту глауконіту $S_{\text{пт}} = 927 \text{ м}^2/\text{г}$.

Висновки. Як свідчать результати проведеного дослідження, незалежно від концентрації іонів хрому в стічних водах шкіряного виробництва максимальне поглинання відбувається за 5–6 годин.

З підвищенням температури від 20°C до 60°C швидкість поглинання іонів хрому (III) зростає в 1,5 рази.

Була встановлена залежність між кількістю адсорбенту та залишковою концентрацією іонів хрому в стоках, а саме: чим більша кількість адсорбенту, тим швидше поглинаються іони хрому. Тобто застосування

природних мінеральних сорбентів, зокрема глауконіту, є досить ефективним для очистки води від іонів хрому із стічних вод шкіряної промисловості.

Перспективність та ефективність застосування природних мінеральних сорбентів 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 перспективність застосування природних глауконітів для очищення стічних вод шкіряного виробництва від іонів хрому (III) та можливість застосування теорії мономолекулярної адсорбції для розрахунку процесу.

Література

1. Абрамов С. И. Сточные воды кожевенного производства / Абрамов С. И. – М.: Стройиздат, 1982. – 245 с.
2. Тарасевич Ю. И. Природные сорбенты в процессах очистки воды / Тарасевич Ю. И. – К.: Наукова думка, 1981. – 302 с.
3. Тарасевич Ю. И. Адсорбция на глинистых минералах / Ю. И. Тарасевич, Ф. Д. Овчаренко. – К.: Наукова думка, 1975. – 351 с.

Надійшла 8.1.2011 р.

УДК 66.067.12+621.785.78

Л.В.ПЕЛИК
Львівська комерційна академія

ДОСЛІДЖЕННЯ ЖОРСТКОСТІ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ У ПРОЦЕСІ ТЕРМОСТАРИННЯ

Досліджена зміна жорсткості текстильних фільтрувальних матеріалів з термостійких волокон при термічному обробленні. Проаналізовано її вплив на фільтрувальну здатність рукавних фільтрів в умовах високих температур.

The change of inflexibility of textile filtration materials is investigational from heat-resistant fibres at heat treatment. Its influence is analysed on filtration ability of baghoses in the conditions of high temperatures.

Ключові слова: поверхнева густина, щільність, політетрафторетиленове оброблення.

Вступ

Фільтрувальний матеріал в типовому рукавному фільтрі з механічним струшуванням і зворотньою продувкою піддається комплексу механічних дій. Фільтрувальні матеріали з низькими показниками жорсткості непридатні для застосування у фільтрах з механічним методом регенерації, оскільки діючі на них перемінні навантаження «розтягування-стиснення» призводять до їх швидкого зносу. Такі матеріали не рекомендується застосовувати для фільтрів каркасних конструкцій, оскільки зіткнення і удари матеріалу об каркас викликають руйнування волокон [1]. Досягнення ефективності і надійності роботи рукавних фільтрів можливі при дотриманні параметрів пилогазового потоку (температури, вологості, витрати газопилового потоку та ін.) [2]. Під дією температури і вологості жорсткість фільтрувальних тканин змінюється, причому у менш щільних матеріалах ці зміни пов'язані з властивостями волокон, а в більш щільних – зі структурою самого матеріалу. Перевищення температури газів вище допустимої призводить до зменшення терміну служби фільтрувального матеріалу, який стає жорстким і крихким. При зниженні температури газів до точки роси відбувається конденсація парів води, внаслідок чого пил, що осів на матеріалі, зволожується, злипається, в результаті різко підвищується газодинамічний опір фільтру [3, 4].

Постановка завдання

Метою роботи являлось дослідження зміни жорсткості текстильних фільтрувальних матеріалів із термостійких волокон при термічному обробленні.

Об'єкти та методи дослідження

Для проведення дослідження використано фільтрувальні тканини (вар.1, вар.2, вар.3, вар.9 та вар.10) та фільтрувальні неткані полотна (вар.11, вар.12, вар.13, вар.14 та вар.15). Фільтрувальні поліефірні тканини (вар.1, вар.2 та вар.3) виготовлялися за основою та утком із поліефірної пряжі (волокно поліефірне нефарбоване 100 %) лінійної густини 29текс×2 із обробленням: вар.1 – термічна стабілізація, вар.2 – сурове. Фільтрувальна тканина (вар.9) виготовлялась за основою та утком із арселенової термостійкої пряжі лінійної густини 29текс×2 із обробленням – термічна стабілізація. Досліджувана тканина (вар.10) – тканина із скловолокна, виготовлена із алюмоборосилікатного скла, із лінійною густиною 134 текс за основою та 66текс×3 за утком. Фільтрувальні неткані полотна (вар.11 та вар.12) виготовлялися із поліефірної пряжі (волокно поліефірне нефарбоване 100 %) лінійної густини 0,44 текс і каркасу (тканина поліефірна полотняного переплетення із поверхневою густиною 95 г/м² та лінійною густиною нитки 50 текс) із способом виготовлення: вар.11 – одностадійний голкопробивний, вар.12 – трьохстадійний голкопробивний. Фільтрувальні неткані полотна із термостійких волокон виготовлялися: вар.13 – із арселенової термостійкої

пряжі лінійної густини 0,44 текс і каркасу (тканина арселоніва полотняного переплетення із поверхневою густиною 95 г/м² та лінійною густиною нитки 50 текс) одностадійним голкопробивним способом виготовлення і нанесення політетрафторетиленового оброблення; вар.14 – із волокна номексу лінійної густини 0,17 текс і 0,44 текс та каркасу (тканина із волокна номексу полотняного переплетення із поверхневою густиною 95 г/м² та лінійною густиною нитки 50 текс) трьохстадійним голкопробивним способом виготовлення і нанесення політетрафторетиленового оброблення; вар.15 – із суміші волокон номексу і кевлару лінійної густини 0,17 текс і 0,44 текс та каркасу (тканина із волокна номексу полотняного переплетення із поверхневою густиною 95 г/м² та лінійною густиною нитки 50 текс) трьохстадійним голкопробивним способом виготовлення і нанесення політетрафторетиленового оброблення.

Для дослідження поведінки фільтрувальних текстильних матеріалів під впливом високих температур у лабораторних умовах їх витримували у сушильній шафі «Тоґо Сеґі» в повітряній атмосфері, в якій залежно від виду матеріалу встановлювалися відповідні температурні режими: для зразків із волокон поліефіру – 150°C, для зразків із термостійких волокон – 250°C. Досконалість методики полягала у збільшенні тривалості експерименту, максимально наближаючи до реальних умов експлуатації рукавних фільтрів. Фільтрувальні матеріали виймалися через 1 год, 3 год, 6 год та 12 год для виміру зміни лінійних розмірів. Дослідження розпочинали не раніше ніж через 30 хвилин після виймання зразків з шафи.

Результати дослідження

Аналіз зміни показників жорсткості нетканих фільтрувальних матеріалів до і після термооброблення дозволяє спрогнозувати поведінку фільтрувального матеріалу під час регенерації рукавного фільтра. Результати досліджень представлені у табл. 1.

Таблиця 1

Зміна жорсткості досліджуваних фільтрувальних текстильних матеріалів при термічному обробленні

Варіант зразка	Жорсткість матеріалу, мкН·см ² ·10 ³					Зміна жорсткості, %			
	вихідні дані	після термооброблення протягом				після термооброблення протягом			
		1год	3год	6год	12год	1год	3год	6год	12год
1	23,9	9,2	5,2	4,9	4,9	38,5	21,8	20,5	20,5
2	33,6	12,2	10,1	8,9	8,2	36,3	30,1	26,5	24,4
3	12,4	9,4	9,1	8,5	8,1	75,8	73,4	68,5	65,3
9	8,3	3,6	2,9	2,9	2,9	43,4	34,9	34,9	34,9
10	32,3	28,2	25,9	19,8	18,9	87,3	80,2	61,3	58,5
11	387,9	366,9	329,3	241,3	201,1	94,6	84,9	62,2	51,8
12	364,9	351,8	311,5	224,8	188,6	96,4	85,4	61,6	51,7
13	379,9	341,4	338,5	327,1	318,3	89,9	89,1	86,1	83,8
14	381,4	362,3	345,5	336,8	328,7	94,9	90,6	88,3	86,2
15	381,2	372,5	361,8	354,8	339,0	97,8	94,9	93,1	88,9

Аналіз табл. 1 показує, що під дією температури відбувається зниження жорсткості в усіх досліджуваних зразках за рахунок прискорення теплового руху молекул і послаблення міжмолекулярних зв'язків. Найбільш інтенсивне зниження жорсткості спостерігається після 1 год та 3 год нагрівання, а після 6 год та 12 год темпи зниження уповільнюються і стабілізуються. Як показали результати дослідження, жорсткість фільтрувальних нетканих матеріалів є вищою, ніж у тканин. Як і всі механічні властивості, жорсткість фільтрувальних тканин залежить від їх волокнистого складу, будови, властивостей волокон та ниток, а також від будови та оброблення самого матеріалу.

Аналізуючи отримані дані, можна відмітити, що найбільшою вихідною жорсткістю із досліджуваних фільтрувальних тканин характеризується склотканина вар.10, яка становить 32,3·10³ мкН·см², а після 12 год перебування у термічній шафі її жорсткість зменшилась і становила 18,9·10³ мкН·см². Жорсткості склотканини пояснюються високим модулем пружності скловолкна. Чим більше розпрямлені і орієнтовані ланцюгові молекули полімеру, тим більше внутрішнє тертя, обмежуючи можливість переміщення ланцюгів молекул, тим менша гнучкість волокон і більший модуль їх пружності. Внаслідок низького модуля пружності арселонівих волокон вихідна жорсткість арселонівої тканини значно менша і становить 8,3·10³ мкН·см².

Досліджено, що жорсткість пряжі росте із збільшенням їх товщини. Так, із досліджуваних фільтрувальних тканин найбільшою лінійною густиною характеризується склотканина вар.10 (за основою – 134текс, за утком – 66текс×3) при найбільшій жорсткості. Так як жорсткість характеризується моментом інерції перерізу матеріалу, то чим товстіші нитки і формуючі їх волокна, тим більша жорсткість виготовленого із них матеріалу.

Значний вплив на жорсткість має вид переплетення, щільність та маса текстильних матеріалів. Переплетення фільтрувальних тканин є одним із важливих факторів, які впливають на жорсткість тканини. Із збільшенням довжини перекриття і зменшенням числа зв'язків між основними і утковими нитками жорсткість тканини зменшується. Так, поліефірна тканина вар.3 характеризується переплетенням саржа 2/1 і найменшою вихідною жорсткістю серед поліефірних тканин, яка становить 12,4·10³ мкН·см².

Встановлено, що збільшення щільності тканини призводить до підвищення жорсткості всієї системи. У досліджуваного зразка-еталону вар.1 щільність ниток на 10 см більша (за основою – 335, за утком – 160) при більшій жорсткості – $23,9 \cdot 10^3$ мкН·см², ніж у вар.9 (за основою – 270, за утком – 182) при меншій жорсткості – $8,3 \cdot 10^3$ мкН·см².

Аналіз табл. 1 показує, що із зменшенням маси фільтрувальних тканин знижується їх жорсткість. Так, із досліджуваних тканин найменшою поверхневою густиною характеризується арселонна тканина вар.9 і становить 286 г/м² при найменшій жорсткості – $2,9 \cdot 10^3$ мкН·см² після 12 год термічного оброблення, а найбільша поверхнева густина є у склотканині вар.10 – 430 г/м² при найбільшій жорсткості – $18,9 \cdot 10^3$ мкН·см².

Для досліджуваних нетканих матеріалів різного волокнистого складу спостерігається різна залежність спаду цього показника від тривалості нагрівання залежно від властивостей волокон і структурних характеристик полотна. Так, досліджувані поліефірні зразки вар.11 та вар. 12 характеризуються постійним зниженням жорсткості, особливо різкий спад фіксується після шестигодинного термічного оброблення. Поліефірний нетканий матеріал вар. 12 має після 12 год термічного оброблення меншу жорсткість ($188,6 \cdot 10^3$ мкН·см²), ніж зразок-еталон вар.11 – $201,1 \cdot 10^3$ мкН·см². Це пояснюється трьохстадійним способом виробництва вар.12, який отриманий шляхом багаторазового пробиття зазубленими тонкими голками волокнистих шарів і сітчастої основи. Голкопробивні фільтрувальні матеріали з об'ємними трьохвимірними структурами характеризуються середнім об'ємом пор близько 80 %, які призводять до зменшення жорсткості.

Фільтрувальні ткани і неткани матеріали із волокон арселону, номексу, скловолокна, суміші номексу та кевлару (вар.9, вар.10, вар.13, вар.14 та вар.15) характеризуються повільним зниженням показника жорсткості під дією температури протягом усього часу досліджень. Термічне оброблення менше вплинуло на склотканину вар.10, яка втратила 12,7 % від початкових показників жорсткості за 1 год нагрівання. Досліджувана арселонна тканина вар.9 втратила 56,6 % жорсткості за 1 год, а в наступні години проведення експерименту зміна жорсткості залишалась стабільною – 34,9 %. Підвищена жорсткість досліджуваних нетканих матеріалів визначається їх більшою поверхневою густиною. Так, зміна жорсткості після термооброблення протягом 12 год у вар.13 становить 83,8 % при поверхневій густині 500 г/м², а у вар. 14 – 86,2 % при 516 г/м² відповідно. Найменш суттєво вплинуло термічне оброблення на зразок із суміші волокон номексу та кевлару (вар.15). Він втратив всього 2,2 % від початкових показників жорсткості за 1 год. нагрівання та 11,1 % – за 12 год., завдяки найвищій серед усіх досліджуваних зразків поверхневій густині – 550 г/м². Загалом, поліефірні ткани і неткани матеріали характеризуються більшим зниженням жорсткості в процесі термічного оброблення (20,5 % – 65,3 %), ніж зразки із термостійких волокон, в яких жорсткість знизилася до 34,9 % – 88,9 % від початкових значень. Ця особливість зумовлена різним волокнистим складом фільтрувального матеріалу, який впливає на поведінку досліджуваного полотна в процесі нагрівання.

Спеціальні види оброблення впливають на жорсткість фільтрувальних матеріалів. Арселонна тканина вар.9 та поліефірний зразок-еталон вар.1, які в процесі виготовлення піддавались термофіксації, після 3 год нагрівання у термічній шафі характеризуються найменшою жорсткістю ($2,9 \cdot 10^3$ мкН·см² та $4,9 \cdot 10^3$ мкН·см² відповідно) і стабільністю значень. Нанесення політетрафторетиленового оброблення на вар.10, вар.13, вар.14 та вар.15 підвищило та стабілізувало значення жорсткості. Це оброблення дозволяє спрогнозувати поведінку рукавних фільтрів під час експлуатації.

Дослідження показників жорсткості тканих і нетканих фільтрувальних матеріалів після тривалої дії високої температури протягом 1 год, 3 год, 6 год та 12 год дає змогу прогнозувати ті зміни властивостей матеріалу, які безпосередньо впливатимуть на їх якість та ефективність роботи протягом експлуатації у рукавних фільтрах на металургійних підприємствах.

Висновки

1. Досліджено, що у фільтрувальних нових матеріалах із термостійких волокон найбільш інтенсивне зниження жорсткості спостерігається після 1 год. та 3 год. нагрівання, а після 6 год. та 12 год. темпи зниження уповільнюються і стабілізуються.

2. Встановлено, що жорсткість має дуже важливе значення при оцінці якості фільтрувальних матеріалів, яка впливає на умови експлуатації та на довговічність рукавних фільтрів. Проведені дослідження свідчать, що фільтрувальні матеріали із термостійких волокон (вар.9, вар.10, вар.13, вар.14 та вар.15) протягом всього дослідження у термічній шафі характеризуються повільним зниженням показника жорсткості під дією температури протягом усього часу досліджень.

Література

1. Фляйшандерль А. Усовершенствованная технология сухой очистки отходящих газов агломерационного производства / А. Фляйшандерль // *Металлургическое производство и технология.* – 2006. – № 2. – С. 8–13.
2. Закономерности изменения свойств синтетических нитей при термическом старении / К. Е. Перепелкин, И. Ю. Моргоева, В. И. Андреева, Г. П. Мещерякова // *Химические волокна.* – 2001. – № 1. – С. 45–49.

3. Дедов А. В. Механические характеристики ворсованных нетканых материалов / А. В. Дедов, Ю. Н. Александрова, А. В. Платонов и др. // Химические волокна. – 2007. – № 1. – С. 43–45.

4. Вальдберг А. Ю. Современные тенденции в развитии теории и практики пылеулавливания / А. Ю. Вальдберг // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2007. – № 7. – С. 48–50.

Надійшла 8.1.2011 р.

УДК 685.34.016.3, 514.181.22

Т.А. НАДОПТА
Хмельницький національний університет

АРЕАЛ ЗАСТОСУВАННЯ ЕМПІРИЧНОЇ МЕТОДИКИ ПРОЕКТУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ВЕРХУ ВЗУТТЯ

У статті розглянуто детальну класифікацію взуття з позиції конструктивних, технологічних та ергономічно-споживчих ознак.

In the article detailed classification of footwear from the position of design, technology and ergonomic-consumer features.

Ключові слова: проектування деталей верху взуття, емпірична методика дослідження.

Постановка задачі

Сучасні тенденції ринку вимагають переходу підприємств на нові форми організації виробництва, що дозволить забезпечити найбільш раціональне функціонування взуттєвої промисловості. Одним зі способів вирішення цього завдання є створення гнучких виробничих систем, з застосуванням котрих можливо швидко переналагоджувати й адаптувати виробництво до вимог ринку [1, 2]. Крім того, необхідною умовою для створення раціонального взуття є дотримання показників якості, які обумовлені призначенням даного виробу, умовами експлуатації, напрямком моди, сезонністю, кліматичними особливостями та іншими факторами [3]. Безперечно, подібна реорганізація вимагає розробки наукових основ з відповідним аналітичним апаратом. Однією з передумов створення наукового базису є формування чіткої класифікації виробів за повної системою критеріїв.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Взуття повинно виконувати захисну, утилітарну та естетичну функції, оскільки це дозволить створити оптимальні умови для нормальної діяльності стопи та організму в цілому. Згідно з [4] взуття класифікують за різноманітними показниками, найважливіші з них: призначення, вид, статево-віковий розподіл, конструкція та матеріали, котрі застосовуються при виготовленні взуття. У [5] сучасне взуття, крім вище зазначених показників, підрозділяється також за структурою деталей і матеріалів, з яких вони виготовлені, форморозмірами, способами з'єднання деталей тощо. Для класифікації взуття у товарознавстві використовують чотири групи ознак [6, 7]: функціонально-цільові, котрі характеризують призначення товарів, функції, ареал застосування й способи використання; генетичні – походження товарів, вихідні матеріали й сировина; технологічні ознаки – визначення способу виробництва, особливостей конструкції, обробки та декорування; специфічні – характеризують властивості товарів, їхній агрегатний стан, хімічний склад, особливості будови, геометричні параметри й розміри, конструкцію, особливості форми, фасони, моделі, марки.

Формулювання цілі статті

Емпірична методика проектування деталей верху взуття (ДВВ) передбачає розробку аналітичного апарату зв'язків між розмірними характеристиками моделі та ДВВ. Існуючі класифікації взуття не враховують у повній мірі показників, що пред'являються до взуття. У зв'язку з цим виникає необхідність розробки детальної класифікації взуття з врахуванням конструкторських, технологічних та ергономічних особливостей виробів.

Виклад основного матеріалу

Розрізняють два методи класифікації: ієрархічний і фасетний. Ієрархічний метод характеризується твердою структурою класифікації, побудованої за принципом субординації, тобто класифікаційні угруповання нижчих шаблів строго підлеглі угрупованням вищих шаблів. Фасетний метод характеризується тим, що при розподілі створюються незалежні класифікаційні угруповання; сукупність товарів ділиться багаторазово й незалежно від набору ознак, котрі називаються фасетами.

На рис. 1 запропоновано класифікацію взуття в найбільш узагальнюючому виді, з використанням фасетного методу розподілу ознак.



Рис. 1 Класифікація взуття

На основі рис. 1, складені класифікації за групами ознак (рис. 3, 4, 5).

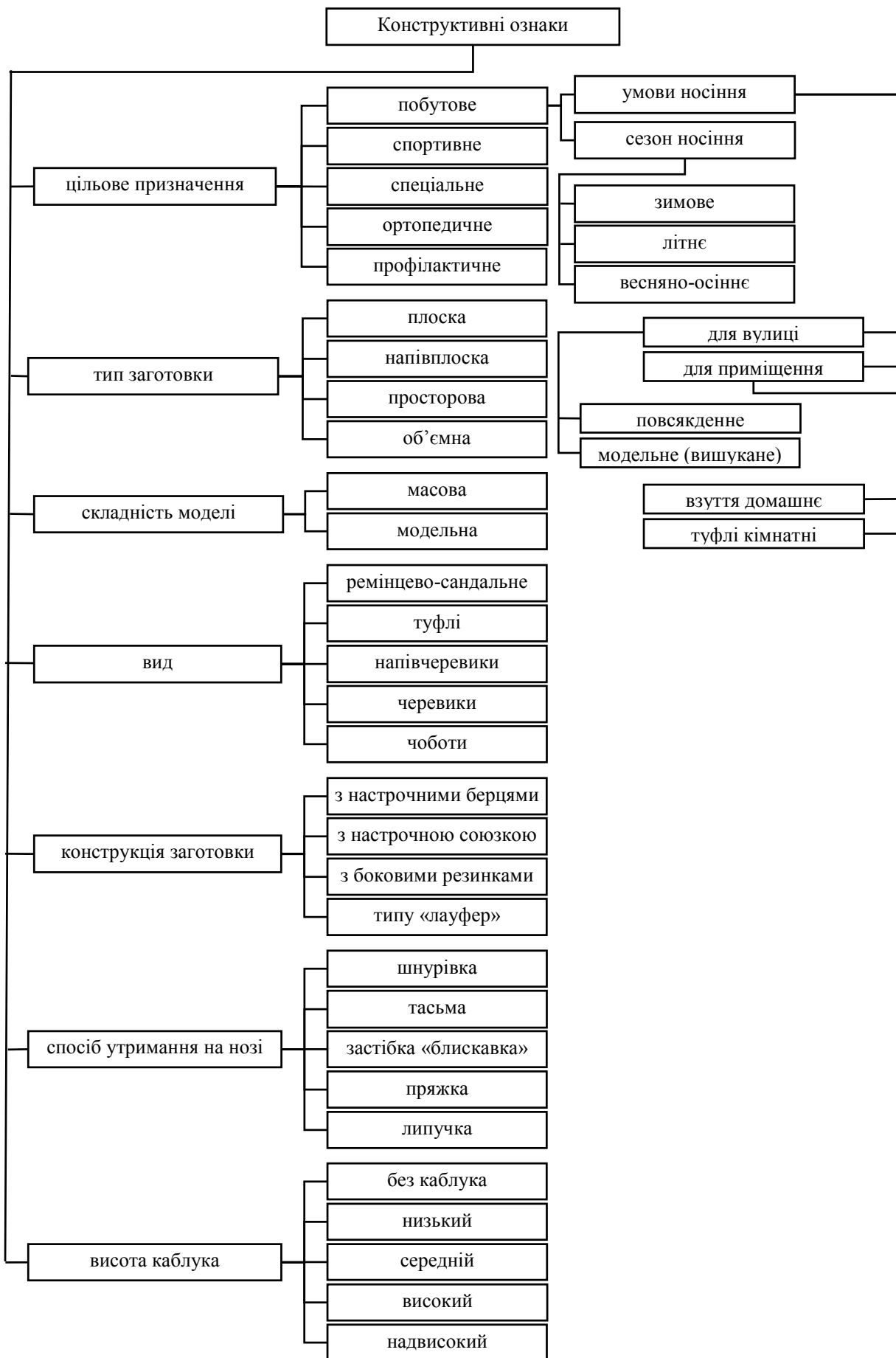


Рис. 2 Конструктивні ознаки взуття

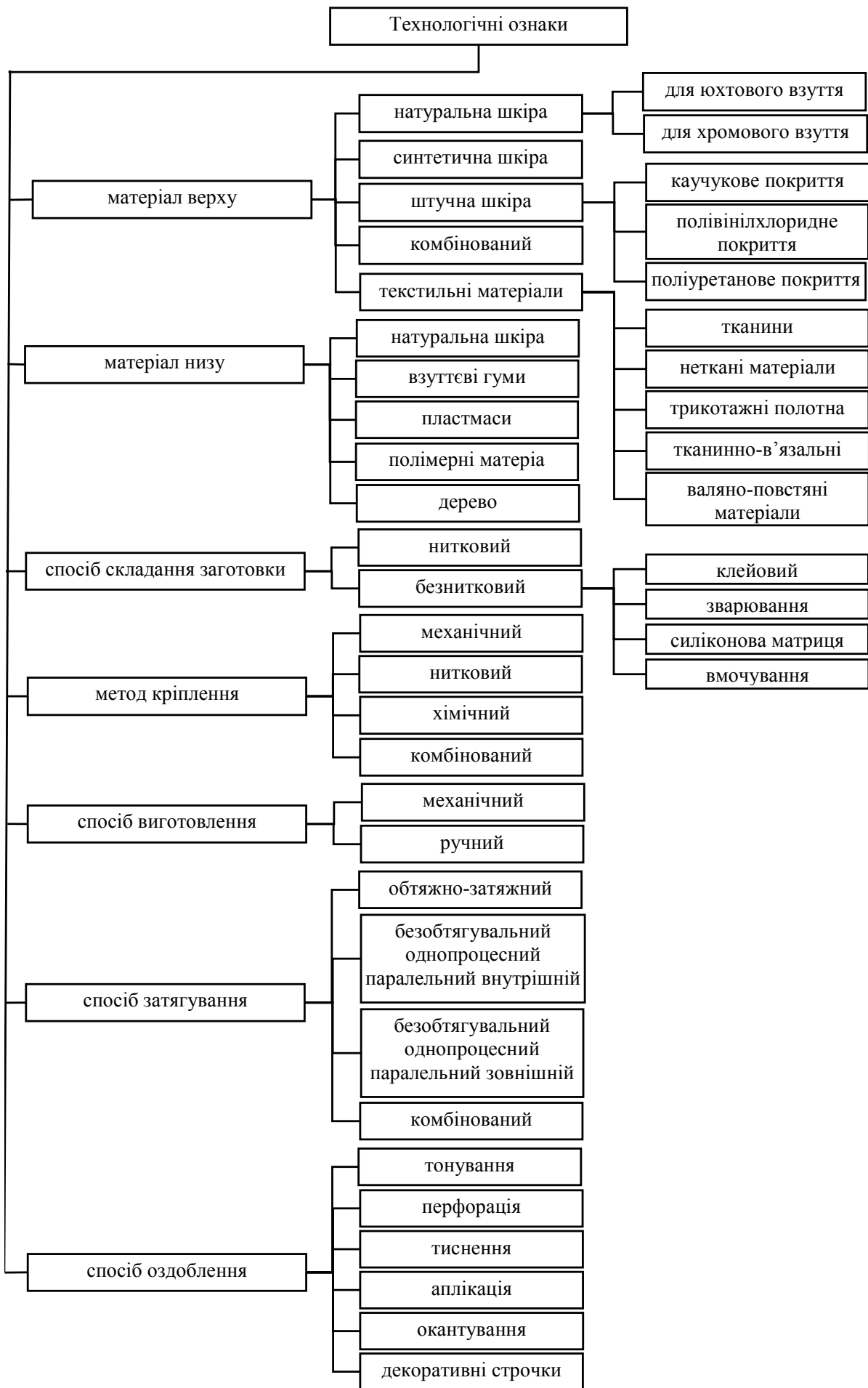


Рис. 3 Технологічні ознаки взуття

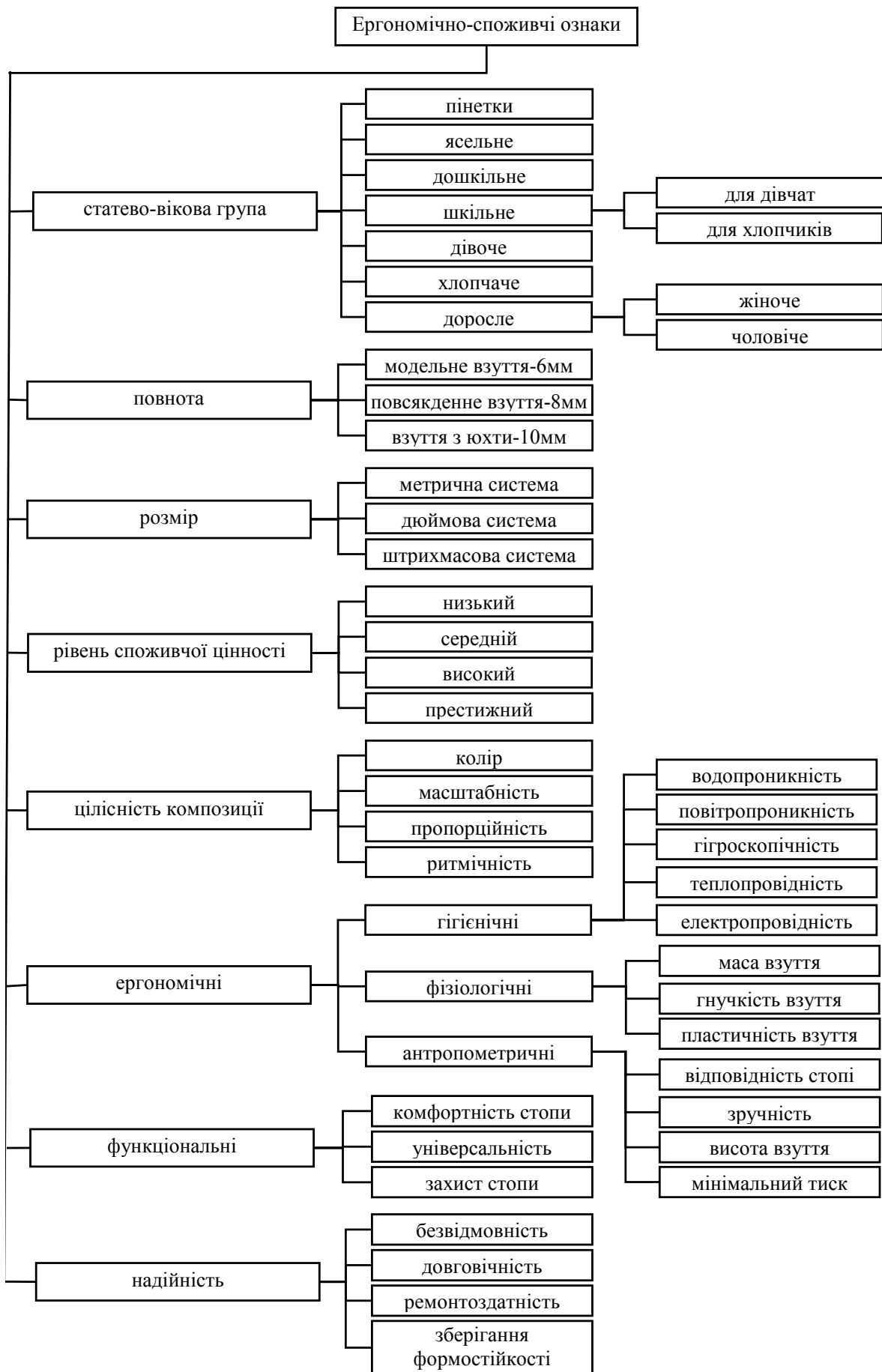


Рис. 4 Ергономічно-споживчі ознаки

Загальна методологія емпіричної моделі проектування ДВВ в принципі може бути застосованою до всіх типів взуття за цільовим призначенням. Проте найбільш доцільно з врахуванням наукових

напрацьовань, використовувати для побутового взуття. В аспекті типу заготовки емпірична методика проектування ДВВ буде застосовуватися для плоского та напівплоского типу заготовки, оскільки саме вони найкраще розпластуються на площині. За складністю моделі виробу розділяють на взуття масового призначення та модельне, до художньо-естетичних показників котрого пред'являються підвищені вимоги, однак це не впливає на вибір методики проектування. Емпірична методика побудови ДВВ передбачає проектування всіх видів конструкцій, за винятком чобіт, тому що при проектуванні чобіт для отримання креслень нижньої частини ґрунд-моделі використовують УРК, а для основи конструктивної сітки – УРГ, використовуючи при цьому середньостатистичні розміри гомілки людини. Показники конструктивної ознаки взуття за критеріями конструкція заготовки, спосіб утримання на нозі та висотою каблука, не становлять значної складності при використанні емпіричної моделі побудови ДВВ.

На рисунку 3 наведено технологічні ознаки класифікації взуття, котрі мають значний вплив на проектування взуття. При проектуванні взуття за емпіричної методикою вибір матеріалу верху та низу можливий будь-який, залежно від виду взуття. Заготовки ДВВ складають з використанням ниткових та безниткових методів з'єднання деталей верху. Нитковий метод використовується найчастіше для складання деталей з натуральних шкір та текстильних матеріалів. Безниткові методи складання заготовок в основному застосовують для штучних та синтетичних шкір, однак для емпіричної методики побудови ДВВ способи складання деталей верху можуть бути як нитковими, так і безнитковими. Отримання довготривалої формостійкості взуття залежить від виду затягування заготовки, оскільки при застосуванні емпіричної методики побудови ДВВ передбачається проектування плоского та напівплоского типу заготовок, тому відповідно до вище викладеного при затягуванні заготовки необхідно застосовувати обтувально-затягувальний спосіб формування взуття. Ознаки методів кріплення суттєвого впливу на застосування емпіричної методики проектування ДВВ не мають.

Ергономічно-споживчі ознаки взуття характеризують зручність користування виробами у процесі експлуатації, відповідність особливостям організму людини, забезпечення оптимальних функціонування (рис. 4). В принципі критерій статево-вікового призначення не ускладнює застосування емпіричної методики, проте в якості об'єкту реалізації прийнято чоловічу та жіночу статево-вікові групи. Композиційні та ергономічні ознаки вимагають врахування в емпіричній методиці деяких характерних для них показників, наприклад, обґрунтування розмірів, гігієнічного простору, рівномірного розподілу тиску, комфортності. Взуття повинно відповідати своєму призначенню, захищати стопу від шкідливого впливу зовнішнього та внутрішнього навколишнього середовища – вологи, бруду, пилу, зміни температури, різного виду механічних ушкоджень і не перешкоджати видаленню в зовнішнє середовище надлишкового тепла та вологи, що виділяється організмом. Взуття повинно легко надіватися й зніматися, добре закріплюватися на нозі, мати достатню опорну поверхню і мінімальну для кожного виду виробу масу та створювати мінімальний тиск на основні характерні точки стопи.

Висновки: таким чином, емпірична модель проектування ДВВ має повний найбільш доцільний ареал застосування. Хоча в принципі методологія методики не передбачає скільки-небудь суттєвих ускладнень при її універсальному використанні, доцільно обмежити область вживання моделі певним, зазначеним вище околос класифікаційних ознак.

Література

1. Бегняк В. І. Основи конструювання і проектування виробів із шкіри : [навч. посібник] / В. І. Бегняк – Хмельницький, 2002. – 260 с.
2. Універсальний довідник взуттєвика : навч. посібник / [В. П. Коновал, С. С. Гаркавенко, Л. Т. Свістунова та ін.]. – К. : Лібра, 2005. – 720 с.
3. Справочник обувщика. Проектирование обуви, материалы / [под ред. А. М. Калиты]. – М. : Легпромбытиздат, 1988 – С. 3–66.
4. ДСТУ 2157. Взуття. Терміни та визначення.
5. Козлова Т. В. Основы художественного проектирования изделий из кожи : [учеб. пособ. для вузов] / Козлова Т. В. – М. : Легпромбытиздат, 1987. – С. 22–74.
6. Алексеев Н. С. Теоретические основы товароведения непродовольственных товаров: [учебное пособие для студентов ВУЗов] / Алексеев Н. С. – М. : Экономика, 2001. – 295 с.
7. Товарознавство непродовольчих товарів : Ч. 2 / [Л. Г. Войнаш, Л. І. Байдакова, Д. І. Козьмич та ін.]. – К. : НМЦ «Укоопосвіта», 2004. – 532 с.

Надійшла 16.1.2011 р.

ГРАФІЧНО-ЧИСЛОВИЙ СПОСІБ КОМПЛЕКСНОЇ ОЦІНКИ ГІГІЄНИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВЗУТТЄВИХ МАТЕРІАЛІВ

На основі механізму вологообмінних процесів у взутті, форм зв'язку вологи з матеріалом, обумовлених процесом потовиділення, запропоновано комплексний графічно-числовий спосіб оцінки гігієнічних властивостей матеріалів. Даний спосіб передбачає використання показників (гігроскопічність, вологовідача, паропроникність, капілярність, намочуваність), які відображають динаміку збільшення вмісту вологи в матеріалі в умовах паро-крапельного потовиділення.

The complex graphic-digital way of estimation of materials' properties on the basis of mechanism of moisture-exchange of footwear, the forms of co-relation of moisture with material conditioned by the process of perspiration is proposed. The given way assumes the use of indices (hygroskopy, moisture efficiency, vapor permeability, capability, absorbtivity), which reflects the dynamic increasing of moisture content in material in conditions of vapor-drop perspiration

Ключові слова: потовиділення, вологопереніс, паро-крапельна, гігієнічні властивості, комфорт, гігроскопічність, вологовідача, паропроникність, капілярність, намочуваність.

Вступ

Властивість людського організму підтримувати тепловий баланс забезпечується завдяки вирівнюванню кількості тепла, яку виробляє організм, з теплом, яке віддає тіло людини. Умови теплообміну є особливо важливими для кінцівок людини, адже вони є найбільш віддаленими від життєво важливих органів людини. Стопа людини, наприклад, при посередництві взуття, постійно контактує як з зовнішнім середовищем, так і з ходовою поверхнею. Теплопередача стопи людини в таких умовах здійснюється здебільшого випромінюванням, за рахунок інфрачервоної частини спектру, випаровуванням поту з поверхні шкіри та теплопровідністю.

Тому, взуття, з гігієнічної точки зору, повинно захищати стопу людини від охолодження чи перегріву. В процесі повсякденного носіння, взуття повинно сприяти підтримці комфорту, створювати сприятливий мікроклімат внутрівзуттєвого простору навколо стопи, забезпечувати відповідний волого-температурний режим за будь-яких мікрокліматичних умов зовнішнього середовища, включаючи умови закритого приміщення.

Дана проблема є особливо актуальною в умовах переважаючого сидячого способу діяльності людини, в закритих приміщеннях, при різко виражених дискомфортних факторах глобального потепління. Розширення асортименту штучних та синтетичних матеріалів для легкої промисловості не сприяє вирішенню проблем комфортності. Відсутні об'єктивні методи оцінки якості як гігієнічних властивостей штучних та синтетичних матеріалів, так і споживчих властивостей виробів.

Найбільш прийнятним способом оцінки гігієнічних властивостей матеріалів є комплексний метод А.Блажея, М.Н.Іванова, Є.С.Глайзера, згідно з якими в якості основних показників потрібно враховувати паропроникливість, гігроскопічність, тепловий опір [1]. Однак, недоліком даного методу є те, що у випадку використання натуральних матеріалів покритих полімерною плівкою, гідрофобізовано-модифікованих матеріалів, даний метод дає суперечливі дані, які не узгоджуються з результатами дослідного носіння взуття. Наявність матеріалу, полімерної плівки, котра служить для облагородження матеріалів, несуттєво впливає на зміну комплексного показника гігієнічних властивостей матеріалів, що слабо корелюється з результатами дослідного носіння.

Фізіологія людини як теплорегулюючої істоти полягає у тому, що терморегулювання її організму при різній температурі довкілля виконується рефлекторно [3]. Людина постійно віддає в навколишнє середовище тепло, однак, матеріали одягу та взуття здатні порушувати умови теплообміну, що безпосередньо визначає відчуття комфорту чи дискомфорту. Було встановлено, що теплої пори року причиною появи дискомфорту є відчуття «надмірної вологості», зумовлене потовиділенням. Першочерговою причиною появи даного відчуття є підвищення температури, яке змушує стопу виділяти піт. Слід відзначити, що відчуття надмірної вологості влітку може бути причиною інших неприємних відчуттів, тому відіграє основну роль при появі дискомфорту. Дане відчуття носій може відчувати при сидінні в теплих умовах закритого приміщення вже в перші 1–20 хв. дослідної носки [4].

При потовиділенні в закритому взутті збільшується вологість як внутрішніх матеріалів, так і поверхневого шару шкіри ступні людини, її рогового шару (явище мацерації) [2]. Це призводить до підвищення теплопровідності стопи, зміни теплозахисних властивостей матеріалів взуття (в першу чергу, внутрішніх матеріалів) і, відповідно, сприяє порушенню теплообміну стопи. Це, зазвичай, спостерігається в стані спокою, при сидінні респондента в теплому закритому приміщенні. При потовиділенні, теплообмін взуття різко збільшується, так як теплопровідність води в 24 рази більша теплопровідності повітря [3]. Відповідно, змінюються інші теплозахисні характеристики матеріалів взуття (тепловий опір, теплоємність, тепловіддача, температуропровідність).

З цієї причини стандартні методики визначення фізико-хімічних форм зв'язку вологи з матеріалом, їх кількісно-часові характеристики (гігроскопічність (16 год), паропроникливість (1 год), пароемність (8

год), вологовіддача (8 год)) і відповідно *фізико-механічної вологи* (намокаємість (2, 24 год), капілярність (1 год)), недостатньо моделюють реальні умови паро-крапельного потовиділення всередині взуття.

Для оцінки гігієнічних властивостей матеріалів потрібно розробити методики, які б кількісно визначали вологоперенос при одночасній дії на досліджуваній зразок крапель води та водяного пару, котрі моделюють потовиділення, в більш короткі проміжки часу.

Мета дослідження

Метою даного дослідження є вивчення процесу вологопереносу при потовиділенні та обґрунтування оптимальних гігієнічних вимог до взуття та критеріїв оцінки гігієнічних властивостей взуттєвих матеріалів для забезпечення максимального комфорту в процесі експлуатації взуття. Для досягнення мети досліджувались форми зв'язку вологи з матеріалами взуття, шкарпетки та показники, які характеризують гігієнічні властивості матеріалів.

Об'єкти і методи дослідження

Об'єктом дослідження є динаміка зміни вологи в матеріалах взуття при паро-крапельному потовиділенні в граничних умовах комфорту та дискомфорту системи «стопа – взуття – зовнішнє середовище». Предметом дослідження є різноманітні взуттєві матеріали, що можуть використовуватись для виготовлення взуття. Досліджувалась рівноважна вологість матеріалів при потовиділенні в напрямку – «стопа– шкарпетка– пакет матеріалів взуття– зовнішнє середовище». На основі градієнтів вологості та відчуттів респондентів визначалась форма зв'язку вологи з матеріалом. В дослідженні приймало участь 9 респондентів – студенти Мукачівського державного університету.

За стандартними методиками визначались основні гігієнічні показники досліджуваних матеріалів, котрі визначають комфорт стопи в процесі експлуатації взуття. Ваговим методом визначались *гігроскопічність*, яка характеризує здатність матеріалу сорбувати пари води, *вологовіддача* – здатність віддавати поглинуті пари води, *намочуваність* – здатність вбирати воду при безпосередньому контакті матеріалу з водою зовнішнього середовища, *паропроникність* – здатність матеріалу пропускати пари вологи. Зважування проводились на аналітичних вагах. Здобуті в дослідженнях дані оброблено методами математичної статистики за таблицями відсотків та їх помилок.

Результати досліджень

За результатами досліджень було встановлено, що стопа людини без фізичних навантажень в комфортних, кондеційних умовах закритого приміщення за годину виділяє 0,4– 1 г поту, при ходьбі – відповідно 2– 3 г поту. Для цього зважувались шкарпетки безпосередніх носіїв взуття. Для досліджень використовували шкарпетки з 100 % вмістом бавовни, використання шкарпеток було одноразовим на термін 45– 60 хв. При середній масі шкарпетки приблизно 13– 17 г приріст маси зволоженої шкарпетки в нормальних умовах складав 0,6– 0,8 г, що відповідає приблизно 5– 10 % приросту, тобто рівноважна вологість в перерахунку на шкарпетку, значно менше граничних умов – гігроскопічність матеріалу шкарпетки становила 16,3 %. Приріст маси шкарпетки досягнувши абсолютного верхнього порогу істотно не збільшився і становив 0,8– 0,85 г, що відповідає фізико-хімічній формі зв'язку вологи з матеріалом.

Були підраховані втрати маси шкарпетки, обумовлені потовиділенням через пакет матеріалів та нещільностями між стопою та взуттям, які становили при сидінні майже 35 %, при ходьбі, відповідно, більше 55 %. Для цього на одну з ніг поверх шкарпеток натягувався пакет із поліетилену з товщиною плівки 0,02 мм, який зважувався разом зі шкарпеткою після відповідного терміну експлуатації взуття (45– 60 хв).

Методом інтерполяції шляхом зважування шкарпеток, при відомому постійному значенні інтенсивності потовиділення за умов експерименту, було запропоновано схему розподілу маси поту в системі «стопа– пакет матеріалів взуття– зовнішнє середовище» в умовах дискомфорту (табл. 1).

Таблиця 1

Розподіл маси виділеного поту при дослідному носінні взуття

	Літературні дані * [5]	Дані отримані при дослідженні **
Маса поту, що випаровується через щілини між взуттям та стопою, %	15	Не менше 15
Піт, поглинутий підкладкою, %	70	20
Піт, поглинутий устілкою, %	15	10
Піт, поглинутий шкірою ступні, %	-	45
Піт, поглинутий шкарпеткою, %	-	10

- комфорт;

- ** дискомфорт (умови досліді: стан спокою, сидячи в закритому приміщенні; температура зовнішня – 31 °С; вологість – 66 %; тиск повітря – 765 мм. рт. ст.; температура в аудиторії 29 °С).

Така реструктуризація вологи, коли частина цієї вологи поглинається матеріалами, а частина залишається у взуттєвому просторі, зумовлює відповідні відчуття дискомфорту. Було підтверджено, що домінуючими відчуттями у даному випадку є «*потепління стопи*» та «*надмірна вологість*» у відповідності з раніше встановленими закономірностями [4]. Очевидно піт поглинутий поверхневим шаром шкіри ступні, що становить 45 % обумовлює фізико-механічну форма зв'язку вологи з поверхневим шаром ступні, завдяки

якій при посередництві температурних та тактильних аналізаторів мають місце неприємні відчуття при дискомфорті.

Тому для комплексної оцінки гігієнічних властивостей взуттєвих матеріалів необхідно враховувати:

- першочергово показники, що характеризують фізико-хімічну форму зв'язку вологи з матеріалом – *гігроскопічність, паропроникність, вологовіддача,*
- показники що характеризують фізико-механічну форму зв'язку вологи з матеріалом – *капілярність намочуваність.*

Наявність показників, котрі кількісно характеризують фізико-хімічну та фізико-механічну вологи згідно з класифікацією Ребіндера [5], з однієї сторони відображають умови паро-крапельного потовиділення, а з іншої сторони демонструють динаміку зміни вологи в напрямку – «стопа– шкарпетка– пакет матеріалів взуття– зовнішнє середовище».

Для порівняльної характеристики гігієнічних властивостей щодо здатності поглинати водяну пару та воду, досліджувались натуральні матеріали, які людина впродовж еволюції взуття використовувала в взуттєвому виробництві. Досліджувались наступні матеріали природного походження з відповідним волокнистим складом (колаген, целюлоза, кератин, фіброїн):

- сирець шкіри – шкіра, що пройшла операцію дублення;
- пробкове дерево з кори португальського дуба, монолітний фрагмент;
- вага високого гатунку виготовлена з бавовни;
- хутро овече, що пройшло обезжирення нефарбоване;
- зразок дерева – бук висушений в звичайних умовах;
- кора тополі висушена в звичайних умовах;
- натуральний шовк „кокон” лялечки гусені;
- пакля, продукт первинної переробки луб'яних волокон;
- фрагмент осинового гнізда-гідрофільний матеріал рослинного походження.

Результати випробувань підтверджують, що найкращим матеріалом, який володіє оптимальним комплексом гігієнічних показників є натуральна шкіра, яку прийнято розглядати як еталон (табл. 2).

Таблиця 2

Гігієнічні властивості взуттєвих матеріалів природного походження

Досліджуваний матеріал	Гігроскопічність, %	Вологовіддача, %	Намочуваність, %
Натуральна шкіра (колаген)	24	18	59
Пробкове дерево (целюлоза)	14,3	6	45
Бавовна (целюлоза)	18	14	200
Хутро (кератин)	20	16	300
Дерево (целюлоза)	14	14	35
Кора дерева (целюлоза)	18	21	82
Натуральний шовк (фіброїн)	24	13	86
Луб'яне волокно (целюлоза)	29,9	16	160
Модифікована целюлоза	21	17	52

На основі запропонованого механізму волого-обмінного процесу, коли показники в ряду *гігроскопічність>вологовідача>паропроникність>намочуваність>капілярність* відображають динаміку зміни вмісту вологи в матеріалі в умовах паро-крапельного потовиділення, запропоновано методику комплексної оцінки гігієнічних властивостей взуттєвих матеріалів – метод «п'ятикутника», в основі якого лежать кількісні та графічні способи оцінки властивостей (графічно-числовий метод).

Цей метод дає кількісну, більш точну інформацію про гігієнічні властивості взуттєвих матеріалів, які безпосередньо контактують з стопою людини, визначають рівень гігієнічних вимог до взуттєвих матеріалів (гігроскопічність, вологовідача, паропроникливість, намокаємість, капілярність) і першочергово обумовлюють ергономічні та експлуатаційні властивості взуття.

В п'ятикутнику необхідно виділити центр, відповідні трикутники, які ділять п'ятикутник на п'ять рівних частин. Кожен катет це відповідний найкращий (найвищий) показник натуральної шкіри в ряду (гігроскопічність, вологовідача, паропроникливість, намокаємість, капілярність табл. 2). Площу п'ятикутника, кількісно слід розглядати як «еталон» – рівень гігієнічних властивостей найкращого матеріалу – натуральної шкіри (сирець, що пройшов операцію дублення) рис. 1.

Тому для оцінки властивостей інших матеріалів, як натуральних, так і штучних, синтетичних шкір, відповідне значення показника, визначене за стандартною методикою, виставляють у масштабі щодо відповідного базового значення «еталону» (натуральної шкіри). Представлений ряд буде відображати динаміку зміни вмісту вологи в досліджуваному матеріалі в умовах

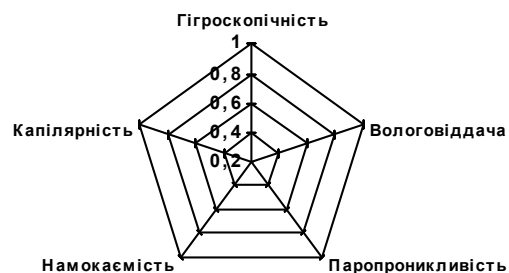


Рис. 1. Методологія комплексної оцінки гігієнічних властивостей взуттєвих матеріалів (графічно-числовий метод)

паро-крапельного потовиділення в порівнянні з натуральною шкірою.

Площа утвореного п'ятикутника є рівнем гігієнічних властивостей досліджуваного матеріалу. Відсоткове співвідношення площі досліджуваного матеріалу та «еталону» є комплексною оцінкою якості гігієнічних властивостей досліджуваного матеріалу – штучна шкіра на нетканій основі (рис. 2); натуральна шкіра хромового методу дублення з покриттям (рис. 3).

Співвідношення площ отриманих п'ятикутників становить 100 до 10,8, отже комплексна оцінка гігієнічних властивостей штучної шкіри на нетканій основі становить – 11 % (рис. 2). Відповідно, для натуральної шкіри хромового методу дублення комплексна оцінка гігієнічних властивостей становить 42 % (рис. 3). Погіршення гігієнічних властивостей натуральної шкіри хромового методу дублення в порівнянні з еталоном, очевидно, пояснюється наявністю полімерної півки на лицевій поверхні шкіри та жируванням, які сприяють гідрофобізації колагену.

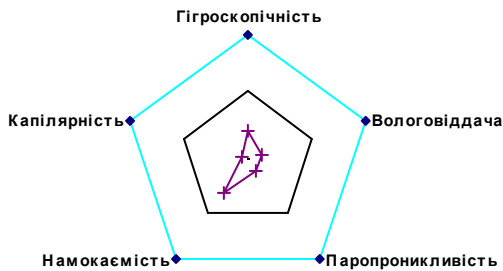


Рис. 2. Комплексна оцінка гігієнічних властивостей штучної шкіри

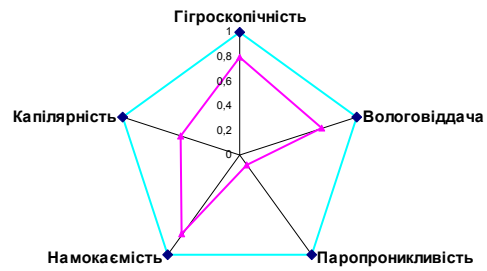


Рис. 3. Комплексна оцінка гігієнічних властивостей натуральної шкіри хромового методу дублення з покриттям

Визначалась комплексна оцінка гігієнічних властивостей текстильних матеріалів, котрі, як відомо, мають кращі гігієнічні властивості [5] в порівнянні з натуральною шкірою. Встановлено, що комплексна оцінка гігієнічних властивостей льняної тканини становить 188 % в порівнянні з «еталоном», натуральною шкірою (рис. 4).

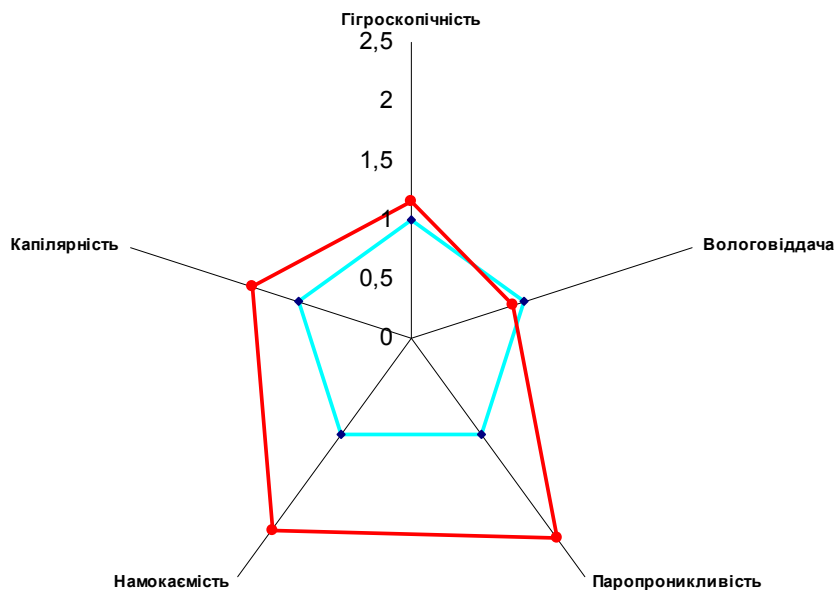


Рис. 4. Комплексна оцінка гігієнічних властивостей льняної тканини

Висновки

Передумовою для забезпечення високих споживчих властивостей взуття є необхідність вибору взуттєвих матеріалів (в першу чергу, внутрішніх матеріалів взуття) з високими гігієнічними властивостями. Дана проблема є особливо актуальною в умовах переважаючого сидячого способу діяльності людини в закритих приміщеннях, при різко виражених дискомфортних факторах глобального потепління, адже інтенсивність потовиділення залежить від температури повітря навколишнього середовища і від закритості взуття. Шкарпетка, підкладка, вклядна устілка повинні бути виготовлені з матеріалів з високими гігроскопічністю, капілярністю, розвиненою пористістю, паропроникливістю та хорошою вологовіддачею. В умовах інтенсивного потовиділення, волога поту повинна швидше локалізуватись внутрішніми матеріалами, а потовиділення повинно бути оптимальним.

Запропоновано механізм реструктуризації вологи зумовлений потовиділенням, згідно з яким показники в ряду (гігроскопічність, вологовіддача, паропроникливість, намокаємість, капілярність,) відображають динаміку збільшення вмісту вологи в матеріалі в умовах паро-крапельного потовиділення. Частина вологи від потовиділення, котра залишається в матеріалі, що безпосередньо контактує зі стопою,

визначає рівень гігієнічних властивостей взуття і взуттєвих матеріалів.

На основі механізму вологообмінних процесів у взутті, форм зв'язку вологи з матеріалом запропоновано графічно-числовий спосіб комплексної оцінки гігієнічних властивостей матеріалів з використанням «п'ятикутника» чи кола поділеного на сегменти у відповідності до кількості показників. Методика передбачає кількісно у відсотках оцінити гігієнічні властивості досліджуваного матеріалу по відношенню до еталону – базового матеріалу. В випадку необхідності методика може передбачати врахування вагомості відповідних показників. Дана методика може бути використана в кваліметрії як метод кількісної та комплексної оцінки гігієнічних властивостей матеріалів.

Література

1. Михеева Е. Я. Современные методы оценки качества обуви и обувных материалов : книга [для инж. техн. раб. обув. пром.] / Е. Я. Михеева, Л. С. Беляев. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 248 с.
2. Фордзюн Ю. І. Дослідження потовиділення стопи людини в системі «стопа–взуття–зовнішнє середовище» для забезпечення гігієнічних вимог до взуттєвих матеріалів / Ю. І. Фордзюн, Т. Т. Рейс, К.М. Довжаніна // Вісник КНУТД. – 2008. – № 5, Т. 43. – С. 27–30.
3. Фордзюн Ю. І. Дослідження впливу вологи на гігієнічні та теплозахисні властивості натуральних матеріалів / Ю.І. Фордзюн, Б.Я. Хом'як // Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. – 2008. – № 18, Т. 7. – С. 202–206.
4. Косовілка А. В. Дослідження психофізичного сприйняття дискомфорту при дослідному носінні взуття / А. В. Косовілка, Ю. І. Фордзюн // Вісник Мукачівського державного університету. – 2009. – № 7, Т. 2. – С. 35–42.
5. Зурабян К. М. Материаловедение изделий из кожи : учебник [для вузов] / К. М. Зурабян, Б. Я. Краснов, М. М. Бернштейн. – М. : Легпромбытиздат, 1988. – 416 с.

Надійшла 20.1.2011 р.

УДК 628.543

В.Л. ФИЛИПЧУК

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

ОЧИЩЕННЯ ПРОМИСЛОВИХ СТІЧНИХ ВОД ВІД СВИНЦЮ

Проведено дослідження та розроблена технологічна схема вилучення свинцю із виробничих стічних вод з багатокомпонентним складом забруднюючих домішок, що включають важкі метали та органічні компоненти. Показано, що глибоке очищення багатокомпонентних стічних вод від свинцю та інших важких металів можливе при застосуванні двоступеневого дозування коагулянтів із відповідним регулюванням рН середовища та відділенням малорозчинних сполук металів відстоюванням і двоступеневим фільтруванням.

Research is conducted the that developed technological withdrawal plan of lead from production flow waters with multicomponent composition of contaminating admixtures, that include heavy metals and organic components. It is rotined that the deep cleaning of multicomponent flow waters from lead and other heavy metals is possible at application of two-stage dosage of coagulants with the proper adjusting of rN environment and separation of littlesoluble connections of metals defending and dual filtrations.

Ключові слова: багатокомпонентні стічні води, свинець, регулювання рН, коагулянт.

Вступ

Стічні води, що вміщують свинець, є надзвичайно токсичними. Цей метал відноситься до першого класу небезпеки і має загальнотоксичну та мутагенну дію на живі організми й вкрай негативно впливає на репродуктивну функцію людини. З цих причин свинець жорстко лімітується в очищених стічних водах промислових підприємств. Так, при відведенні стічних вод у комунальні системи каналізації для більшості регіонів України гранично-допустимий скид (ГДС) по свинцю не повинен перевищувати 0,1–0,05 мг/дм³, а для скидання у водоймища та у питній воді лімітується в концентрації не більше 0,03 мг/дм³.

Свинець не є розповсюдженим металом у промислових стічних водах, однак на ряді підприємств, зокрема таких як виробництво підшипників ковзання, кришталевого скла, його концентрації у стічних водах можуть досягати значних величин (табл. 1).

Особливістю таких стоків є багатокомпонентність забруднень, яка вкрай негативно впливає на процеси вилучення важких металів [1]. Так, стічні води від виробництва підшипників ковзання вміщують також інші важкі метали (мідь, цинк, нікель, олово), широкий спектр органічних і комплексоутворюючих домішок, зокрема алкілсульфонову кислоту, суміш поверхнево-активних речовин. Стічні води від виробництва кришталевого скла мають у своєму складі колоїдні частинки скла і шліфувальних паст, а також цинк та органічні компоненти. Таким стічним водам притаманні значні коливання концентрацій забруднень, величини активної реакції середовища рН.

Характеристика стічних вод виробництва підшипників ковзання

Показник	Одиниця виміру	Концентрація забруднюючих речовин	
		Виробництво підшипників ковзання	Виробництво кришталевого скла
pH	Од.	2,0– 10,0	7,5– 10,2
ХСК	МгО ₂ /дм ³	950– 1200	-
Мідь	Мг/дм ³	4,5	-
Нікель	Мг/дм ³	106	-
Свинець загальний	Мг/дм ³	168	32– 100
Свинець розчинний	Мг/дм ³	-	9,5– 5,8
Цинк	Мг/дм ³	-	2,0– 13,3
СПАР	Мг/дм ³	11,2	-
Сульфати	Мг/дм ³	121	-
Хлориди	Мг/дм ³	21	-
Мінералізація	Мг/дм ³	-	320– 470

Реагентне осадження іонів свинцю з водних розчинів можливе у вигляді гідроксидів, сульфідів, карбонатів. Оскільки гідроксиди свинцю мають значну розчинність ($S=1,0-0,95$ мг/дм³), то рекомендується осадження у вигляді менш розчинних сполук – основного карбонату або сульфиду свинцю [3, 4].

Постановка завдання

Метою даної роботи є розробка технології глибокої очистки виробничих стічних вод від свинцю в умовах багатокомпонентного стану забруднень.

Результати дослідження

Згідно з експериментальними даними при підвищенні pH середовища вилучення свинцю із багатокомпонентних стічних вод у вигляді гідроксиду можливе до концентрацій, що перевищують встановлені ліміти. Під час осадження цього металу у вигляді сульфиду спостерігається утворення колоїдних частинок сульфідів, які не затримуються при фільтруванні, що найбільш помітно у лужному середовищі. При введенні в стічну воду карбонату натрію з метою осадження свинцю у вигляді основного карбонату, якість очищеної води також є низькою.

Особливо негативно впливають на процеси вилучення металів підвищені концентрації органічних сполук, зокрема поверхнево-активних речовин (ПАР). Їх наявність сприяє комплексоутворенню, колоїдному розчиненню сполук важких металів і стабілізації утворених колоїдних розчинів. Утворений осад має дрібну структуру, при седиментації частинки не повністю осідають і при наступному фільтруванні проходять в очищену воду.

Для підвищення ефективності вилучення важких металів і супутніх компонентів доцільно використовувати гідролізуючі коагулянти, гідроксиди яких мають об'ємну структуру і значну розвинену поверхню. Зокрема гідроксиди Al (OH)₃ та Fe (OH)₃ можуть утворюватись при введенні металевих коагулянтів FeCl₃, Al₂ (SO₄)₃, Fe₂ (SO₄)₃, основного гідрохлориду або гідросульфату алюмінію типу „Полвак”. Внаслідок цього гідроксиди коагулянтів сприяють співосадженню катіонів інших металів за рахунок їх сорбції із стічної води [5]. На ступінь співосадження впливає досить широкий спектр факторів. Але враховуючи те, що при очищенні стічних вод ряд факторів, таких як температура стічної води, концентрація компонентів і реагентів, швидкість додавання реагентів, тривалість перемішування, витримка осаду під водною фазою, є у більшості випадків нерегулюємими, то вплив на співосадження в основному обмежується такими параметрами, як pH середовища і концентрація коагулянту.

Результати досліджень показують, що при очищенні стічних вод виробництва кришталевого скла використання коагулянтів при дозах 50– 80 мг/дм³ з наступним підлуженням стічної води та її фільтруванням знижує концентрацію свинцю до 0,007– 0,018 мг/дм³, цинку до 0,01– 0,03 мг/дм³ (табл. 2).

Таблиця 2

Результати лабораторних дослідів по очищенню стічних вод виробництва кришталевого скла

Технологія обробки води	Показники якості води		
	pH, од	Цинк, мг/дм ³	Свинець загальний, мг/дм ³
Na ₂ S-флокулянт	8.65/9.44	12.12/1.88	40.62/37.71
Na ₂ S+ Al ₂ (SO ₄) ₃ + флокулянт	9.12/7.9	0.54/0.0428	9.43/0.007
Na ₂ CO ₃ + флокулянт	9.12/8.27	0.54/0.28	9.43/8.56
Na ₂ CO ₃ + Fe ₂ (SO ₄) ₃ + флокулянт	9.12/8.47	0.54/0.008	9.43/0.0063
Fe ₂ (SO ₄) ₃ + флокулянт	9.12/8.3	0.54/0.01	9.43/0.028
Al ₂ (SO ₄) ₃ + флокулянт	9.49/8.1	0.54/0.026	9.43/0.0538

Застосування залізного коагулянту має перевагу над алюмінієвим, оскільки при використанні останнього у стічній воді утворюється деяка кількість мілких пластівців, які погано седиментуються навіть

при додаванні флокулянтів. Це призводить до підвищення тривалості відстоювання води, збільшення об'єму та вологості осаду.

При очищенні стічних вод від виробництва підшипників ковзання, які вміщують значні концентрації органічних компонентів, одноступеневе введення коагулянтів не дає відчутного ефекту. Так, залишкові концентрації свинцю складають 0,40–0,42 мг/л, що значно вище встановлених лімітів. Внаслідок наявності органічних домішок під час очистки утворюється значна кількість колоїдних частинок сполук металу, які важко осаджуються і не затримуються при фільтруванні, що не дозволяє досягти встановлених лімітів не тільки по свинцю, але практично по всіх важких металах. Окреме додавання сульфідів натрію для глибокого осадження сульфідів металів, які мають значно нижчі добутки розчинності, призводить до утворення мільки зависі і погіршення процесу її вилучення седиментацією і фільтруванням навіть у порівнянні з осадженням у вигляді гідроксидів. Спільне введення залізного коагулянту і сульфідів натрію також практично не дає ефекту, оскільки в основному протікає реакція між цими реагентами з утворенням малорозчинного сульфідів заліза.

В умовах наявності органічних домішок необхідна глибина вилучення свинцю може бути досягнута за рахунок двоступеневого введення реагентів (коагулянтів або алюмінієвого коагулянту із сульфідом натрію) з відповідним регулюванням рН на кожному ступені та проміжним фільтруванням стічної води (табл. 3). Це дозволяє досягти концентрації свинцю в очищеній воді 0,022–0,03 мг/дм³ при його вихідній концентрації в межах 80–115 мг/дм³. Одночасно залишкова концентрація нікелю в очищеній воді складає 0,043–0,062 мг/дм³, міді 0,07–0,083 мг/дм³, цинку – менше 0,05 мг/дм³, олова – менше 0,1 мг/дм³.

Таблиця 3

Результати досліджень з вилучення свинцю із стічних вод при очищенні стічних вод виробництва підшипників ковзання

Кількість ступенів очищення	Технологія обробки води	Концентрація свинцю в очищеній воді, мг/дм ³
Дві	(FeCl ₃ +NaOH до рН 10,0) + (FeCl ₃ +NaOH до рН 8,3)	0,03
Одна	Na ₂ S+ Al ₂ (SO ₄) ₃ + NaOH до рН 7,4	0,22
Дві	(FeCl ₃ +NaOH до рН 10,0) + (Na ₂ S+ Al ₂ (SO ₄) ₃ + NaOH до рН 7,4)	0,045
Три	(„Полвак”+NaOH до рН 7,9) + (Na ₂ S+„Полвак”+NaOH до рН 8,0)+ (Полвак”+NaOH до рН 7,5)	0,03
Дві	(„Полвак”+NaOH до рН 7,9) + (FeCl ₃ +NaOH до рН 10,0)	0,025
Дві	(FeCl ₃ +NaOH до рН 10,3) + (Al ₂ (SO ₄) ₃ + NaOH до рН 7,4)	0,022

При використанні алюмінієвого коагулянту рН підлучення повинно складати 7,8–8,2, а для залізного – 9,8–10,3. Оскільки під час очищення процеси коагуляції зависі протікають мляво, то для ефективної її флокуляції після кожного ступеня введення реагентів у воду необхідно дозувати розчин флокулянту. Більш доцільним є застосування неіоногенного та катіонного флокулянту.

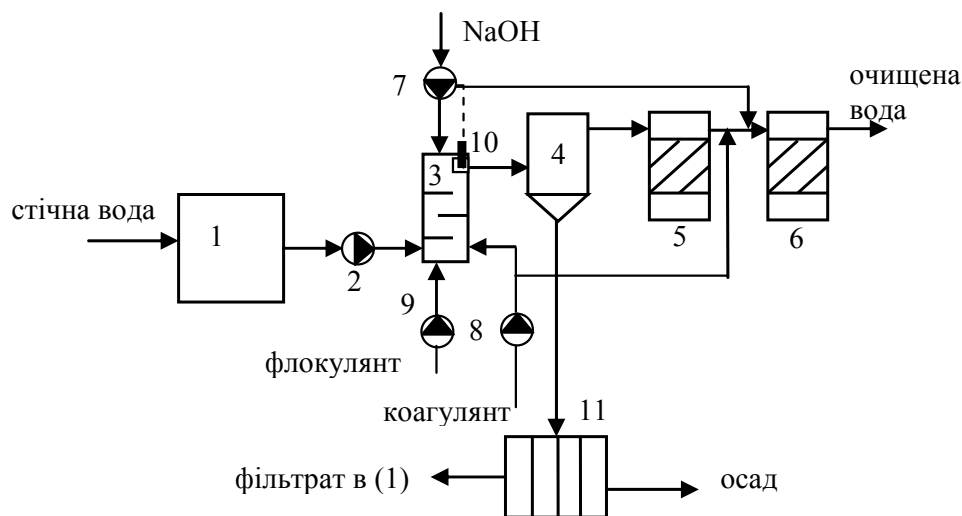


Рис. 1 Принципова технологічна схема очищення багатокомпонентних стічних вод від свинцю:

1– усереднювач стічних вод, 2 – насос, 3 – змішувач-реактор, 4 – прояснювач-відстійник, 5 – фільтр першого ступеня, 6 – фільтр другого ступеня, 7 – насос-дозатор NaOH, 8 – насос-дозатор коагулянту, 9 – насос-дозатор флокулянту, 10 – датчик рН, 11 – фільтр-прес

На підставі проведених досліджень розроблена технологічна схема очищення багатокomпонентних стічних вод від свинцю та супутніх важких металів, яка наведена на рисунку. Схема була впроваджена на заводі з виробництва кришталевих виробів Sklame (м.Полтар, Словаччина) та Мелітопольському заводі підшипників ковзання.

Стічна вода поступає в усереднювач і далі у змішувач-реактор, в який за допомогою насосів-дозаторів послідовно дозуються коагулянт, розчин NaOH для підвищення рН середовища та флокулянт. Потім вода подається у прояснювач-відстійник, де відбувається осадження утворених малорозчинних сполук важких металів. Далі стічна вода поступає на пінополістирольні фільтри першого та другого ступенів, де проходить кінцеве прояснення стічної води. Після фільтра першого ступеня у прояснену воду додається коагулянт і при необхідності NaOH для регулювання рН. Після фільтра другого ступеня чиста вода скидається у каналізацію або направляється на повторне використання у виробництві. Осад що утворився у відстійнику подається на камерний фільтр-прес для зневоднення і далі при вологості 70–75 % направляється на захоронення. Фільтрат після фільтр-пресу повертається в усереднювач стічних вод.

Висновки

Результати лабораторних і промислових досліджень показують, що очищення багатокomпонентних стічних вод, що вміщують свинець та супутні важкі метали, пов'язані зі значними труднощами, в першу чергу, внаслідок наявності широкого комплексу органічних сполук та коливань складових компонентів. В таких умовах глибоке вилучення свинцю та інших важких металів можливо при застосуванні двоступеневого дозування коагулянтів із відповідним регулюванням рН середовища та відділенням малорозчинних сполук металів відстоюванням і двоступеневим фільтруванням. Зазначена технологія дозволяє забезпечити нормативні концентрації свинцю в очищених промислових стічних водах, встановлені для скиду у системи каналізації або водоймища. Подальшим напрямком досліджень є розробка технології демінералізації очищеної стічної води з метою створення на підприємствах замкнених систем водопостачання.

Література

1. Филипчук В. Л. Реагентне осадження іонів важких металів при фізико-хімічній очистці металомістких стічних вод / Филипчук В. Л. // Збірник наукових праць РДТУ "Гідромеліорація і гідротехнічне будівництво". – Рівне, 2001. – Вип. 26. – С. 307–315.
2. Проскуряков В. А. Очистка сточных вод в химической промышленности / В. А. Проскуряков, Л. И. Шмидт. – Л. : Химия, 1977. – 464 с.
3. Волоцков Ф. П. Очистка и использование сточных вод гальванических производств / Волоцков Ф. П. – М. : Стройиздат, 1983. – 103 с.
4. Милованов Л.В. Методы химической очистки сточных вод / Л. В. Милованов, Б. П. Краснов. – М. : Недра, 1967. – 148 с.
5. Алексеев В. Н. Количественный анализ / Алексеев В. Н. – М. : Химия, 1972. – 504 с.

Надійшла 18.1.2011 р.

УДК 667.6

О.В. АВРАМЕНКО

Національний авіаційний університет, м. Київ

Р.В. КАЧАН

Український науково-виробничий центр проблем дезінфекції, м. Київ

Л.Д. МАСЛЕННИКОВА

Національний авіаційний університет, м. Київ

ТЕХНОЛОГІЯ ЗАХИСТУ ПОКРИТТІВ ПЕНТАФТАЛЕВОЇ ЕМАЛІ ПФ-115 ВІД БІОПОШКОДЖЕННЯ

У даній статті розглянуто проблему впливу мікрофлори на покриття пентафталевої емалі ПФ-115. Показана можливість застосування сучасних ефективних біоцидних препаратів та технологія їх використання для антисептичної обробки лаків і фарб.

In this article considered the problem of the influence of microflora on pentaphthalic enamel coatings PF-115. Shown the possibility of usage of effective modern biocidal preparations and the technology of their application for the antiseptic treatment of varnishes and paints.

Ключові слова: пентафталева емаль ПФ-115, лакофарбова промисловість, антисептичні препарати.

Вступ

Під час виробництва, експлуатації, транспортування та зберігання лакофарбові матеріали уражаються різними мікроорганізмами, що призводить до передчасного старіння, втрати фізико-механічних,

механічних та експлуатаційних властивостей лакофарбових матеріалів і навіть неможливості їх використання [1]. Здебільшого сировина, що надходить на переробку, вже мікробіологічно забруднена. З урахуванням мікрофлори виробничих приміщень (високий вміст вологи, підвищена температура, наявність бруду та інших складових поживного середовища) створюються майже ідеальні умови для розвитку різних фізіологічних груп мікроорганізмів – плісневих грибів, дріжджів, бактерій тощо. Особливо це стосується сировини для виробництва алкідних емалей, що призначені для фарбування металевих, дерев'яних та інших поверхонь, що піддаються атмосферній дії, та для фарбування всередині приміщень. Це пов'язано з тим, що вихідні матеріали легко забруднюються спорами плісневих грибів з навколишнього середовища через обслуговуючий персонал, матеріали та обладнання, що застосовуються. У подальшому уражені сировина і напівфабрикат самі стають джерелом біоураження усього виробництва, у тому числі готової продукції, що завдає суттєвих матеріальних збитків [2].

Виходячи з наведеного, а також значного попиту на лакофарбову продукцію, все більш актуальною стає проблема запобігання ураженню мікроорганізмами, зокрема плісневими грибами, лакофарбової сировини та виготовленої з неї готової продукції. Біозахист у лакофарбовому виробництві здійснюється різними методами, найбільш поширеним є хімічний, який передбачає використання антисептиків (біоцидів) – речовин з антимікробними властивостями. Разом з тим, незважаючи на наявність великої кількості антисептичних препаратів, усі вони через низку причин, а саме недостатню ефективність, високу токсичність та вартість широко не застосовуються, тому питання створення ефективного вітчизняного антисептика для лакофарбового виробництва досі залишається актуальним [1].

Постановка завдання

Метою роботи є вибір і застосування у лакофарбовому виробництві на прикладі пентафталевої емалі ПФ-115 (ВАТ «Лакма», Київ) антисептичних препаратів, які повинні мати широкий спектр антимікробної дії при відносно невеликих матеріально-технічних витратах; бути нетоксичними і стійкими при зберіганні; неактивними щодо хімічних реагентів та обладнання, людини і навколишнього середовища; не погіршувати якість напівфабрикату та готової продукції.

Об'єктом та предметом дослідження є процес захисту покриттів пентафталевої емалі ПФ-115 від біоураження. При вирішенні завдань, поставлених у цій роботі, використовуємо традиційні та сучасні методи аналізу лакофарбових матеріалів із залученням методів аналізу, поширених у мікробіології [3].

Дослідження проводимо на суміші бактерій та спор грибів, що були виділені із уражених фарб. В основу визначення бактерицидної активності емалі по відношенню до бактерій та грибів покладений метод зональної дифузії речовин (рис. 1) [4].

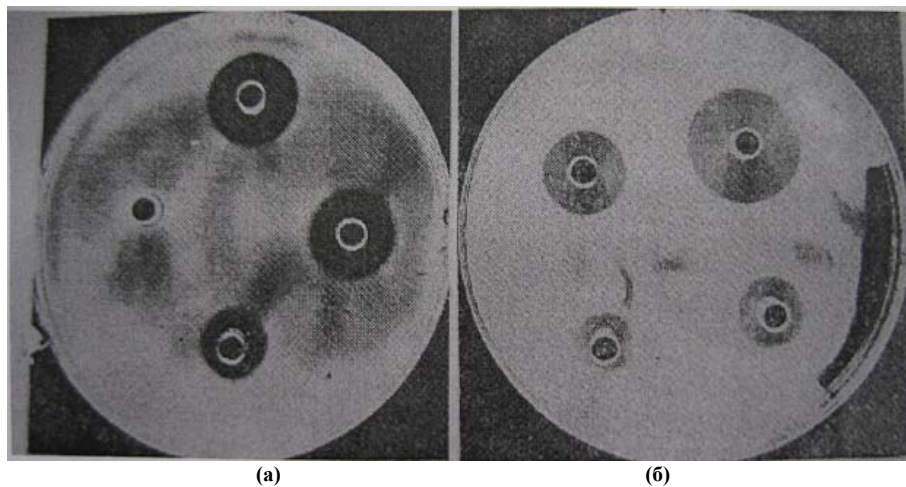


Рис. 1. Зони інгібування при визначенні біоактивності лакофарбових матеріалів по відношенню до аеробних бактерій (а) та грибів (б)

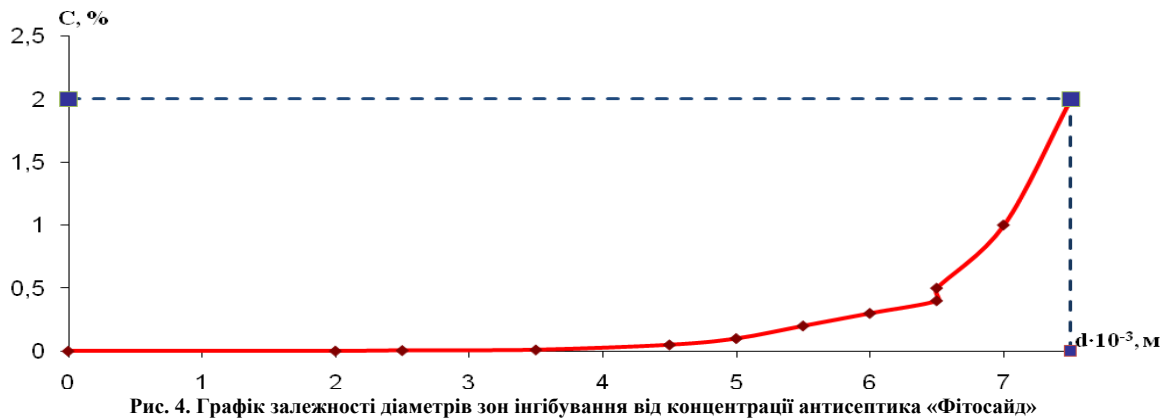
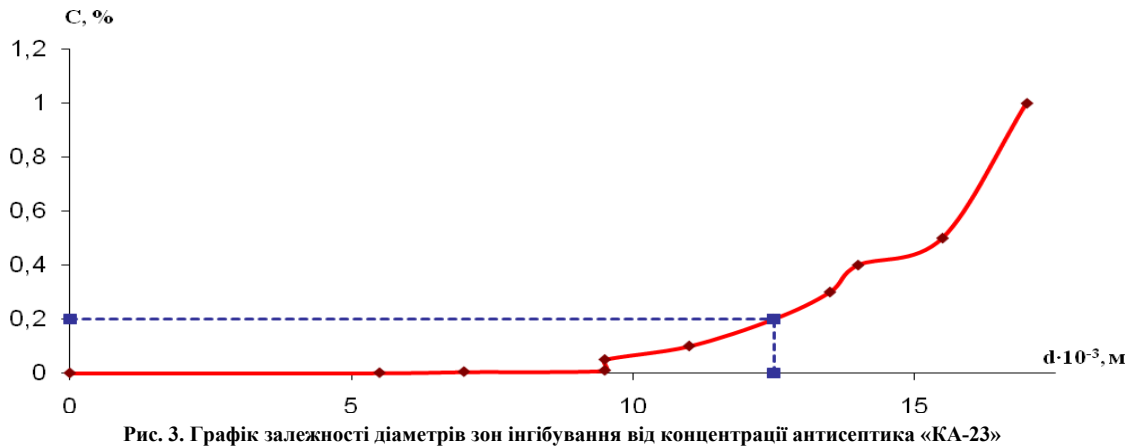
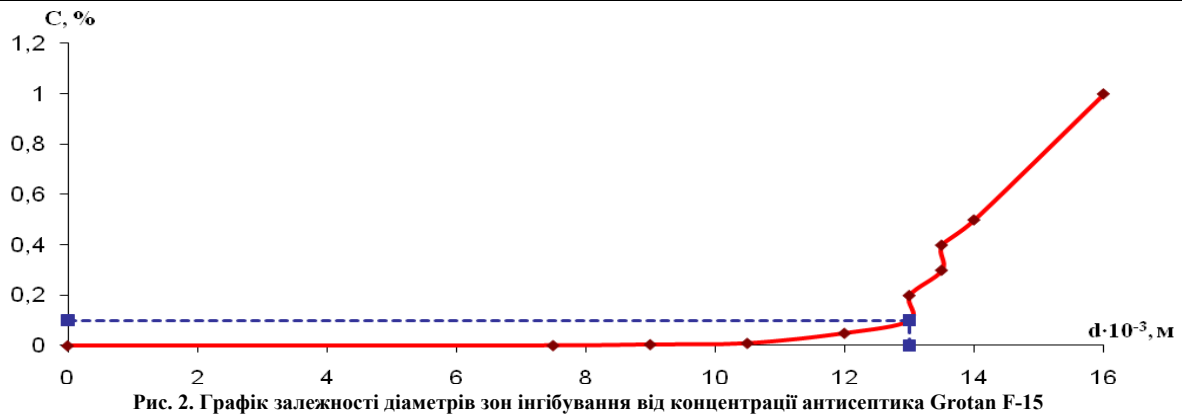
Процес біозахисту покриття пентафталевої емалі ПФ-115 досліджуємо декількома поширеними препаратами, такими як Grotan F-15 (S&M), «КА-23» (Україна) і «Фітосайд» (Україна).

Антисептичні засоби вважаємо активними, якщо при їх концентрації до 0,3 % діаметр зони інгібування становить понад $12 \cdot 10^{-3}$ м. При цьому введення антисептику концентрацією більше 2 % змінює фізико-хімічні властивості матеріалу [5].

На основі експериментальних даних наукового дослідження будуємо графіки залежностей діаметрів зон інгібування від концентрацій антисептичних препаратів.

Результати дослідження

Рис. 2, 3, 4 ілюструють можливість використання наведених вище антисептичних препаратів у виробництві алкідних емалей, а саме пентафталевої емалі ПФ-115. Результати дослідження наведені у табл. 1.



Таблиця 1

Результати проведення дослідження захисту покриття пентафталевої емалі ПФ-115 від біопшкодження

Випробовувані продукти	Оптимальна концентрація біоциду, %	Наявність зон інгібування		Примітки
		бактерії	гриби	
Емаль ПФ-115 (контроль)	0,0	відсутня		
Емаль ПФ-115 + антисептик «КА-23»	0,2	наявна (12,5·10 ⁻³ м)	наявна (12,5·10 ⁻³ м)	Емаль дещо потемнішала
Емаль ПФ-115 + антисептик Grotan F-15	0,1	наявна (13,0·10 ⁻³ м)	наявна (13,0·10 ⁻³ м)	
Емаль ПФ-115 + антисептик «Фітосайд»	2,0	незначна (7,5·10 ⁻³ м)	незначна (7,5·10 ⁻³ м)	Емаль ПФ-115 з добавкою антисептику концентрацією 2,0 % є не біостійкою

З таблиці видно, що оптимальною концентрацією Grotan F-15 при введенні його у пентафталеву

емаль ПФ-115 складає 0,1 %, а «КА-23» – 0,2 %. Використання «Фітосайду» є неефективним, оскільки за його концентрації менше 2 % зони інгібування є незначними (він не є активним), а збільшення концентрації є недоречним.

Висновки

Покриття пентафталевої емалі ПФ-115 не є біостійким.

Введення у композицію емалі ПФ-115 антисептика «КА-23» концентрацією 0,2 % надає емалі необхідної біостійкості. Проте антисептик «КА-23» призводить до деякого потемніння емалі.

Антисептик «Фітосайд» концентрацією менше 2 % не надає фарбі належних біостійких властивостей, а застосування його концентрацією більше 2 % є неможливим.

Антисептик (біоцид) Grotan F-15 концентрацією 0,1 % надає емалі біостійких властивостей. При цьому фізико-хімічні властивості фарби не змінюються.

Отже, антисептик «КА-23» володіє антимікробними властивостями, проте внаслідок того, що він змінює колір емалі, нами забракований як біоцид до покриття пентафталевої емалі ПФ-115. Інший біоцид Grotan F-15 є високоактивним, не змінює фізико-хімічних властивостей емалі, тому може бути рекомендований для використання як біоцид при виробництві лакофарбових матеріалів.

Література

1. Pavlovich A.V., Vladenkov V.V., Izyumsky V.N. Improvement of plant for synthesis of alkylid resins // Paint & Coat. – 2009. – № 1. – P. 14–16.
2. La Microflora de Batteri. – Codyeco S.p.a. – 2005. – P. 86.
3. Екологія мікроорганізмів : посібник / [В. П. Патица, Т. Т. Омелянець, І. В. Гриник, В. Ф. Петриненко]. – К. : Основа, 2007. – 192 с.
4. Биоповреждения в промышленности / [под ред. Ф. М. Иванова, С. Н. Горшина]. – М. : Стройиздат, 1994. – 320 с.
5. Анисимов А. А. Биоповреждения в промышленности и защита от них / А. А. Анисимов, В. Ф. Смирнов. – Горький, 2000. – 84 с.

Надійшла 22.1.2011 р.

УДК 504.062.2

І.А. МАНДЗЮК, В.П. НЕЗДОРОВІН, Ю.В. НЕЗДОРОВІНА

Хмельницький національний університет

РОЗРОБКА СКЛАДІВ І ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДХОДІВ БАЗАЛЬТОВИХ ВОЛОКОН

Проведено дослідження з вибору умов підготовки відходів базальтових волокон для подальшого використання в якості армуючого матеріалу. Здійснено попередню обробку поверхні волокна для досягнення найбільшого значення адгезійної міцності в системі волокно – бетон.

Conducted a number of studies on the choice of waste processing conditions basalt fibers for use as a reinforcing material. Accomplished an earlier fiber surface treatment to achieve the best value in the adhesion strength of fiber – concrete.

Ключові слова: будівельні матеріали, базальтове волокно, розчинники, адгезійний шар, замазлювач.

Відомо [1], що лише невелика частка природних ресурсів переробляється у придатний продукт, а решта йде у відходи. Це означає, що проблема поводження з відходами, що утворюються чи вже утворилися, набуває глобального характеру. Вирішувати цю проблему необхідно, насамперед, через те, що відходи у багатьох випадках негативно впливають на навколишнє середовище і людину, а їх рециклінг дозволяє суттєво економити первинну сировину і таким чином ефективно вирішувати проблему ресурсозбереження.

Останнім часом все більшої уваги заслуговують промислові відходи виробництва базальтових волокон, які можна розглядати як мінеральний посилюючий наповнювач у будівельних сумішах і матеріалах.

Актуальність наведеної роботи полягає в розробці ресурсозберігаючих технологій при виготовленні будівельних матеріалів. Їх використання дозволить значно покращити екологічні і економічні показники в будівельному виробництві за рахунок того, що базальт є мінеральним сировинним компонентом і запаси такої сировини на території України практично невичерпані, а річний вихід техногенних відходів виробництва базальтового волокна нараховує десятки тисяч тонн.

Штучні кам'яні матеріали (бетони) характеризуються низьким опором на розрив і утворенням усадкових тріщин при застиганні. Ліквідувати утворення тріщин можна декількома способами, наприклад, вторинним армуванням, яке в конструкційному бетоні здійснюється сталевією арматурою, а в

плитах перекриття – звареним дротом або сіткою, модифікуванням в'язкої речовини за допомогою поліпропіленових, скляних, металевих та базальтових волокон. Використання базальтових волокон дає можливість усувати конструкційні проблеми, пов'язані з використанням зварної дротяної арматури в перекриттях і дозволяє заощадити на придбанні металу.

В зв'язку з цим надзвичайно важливим стає завдання пошуку і впровадження нових технологій для реалізації процесу армування бетону відходами базальтового волокна.

Мета роботи полягала у дослідженні можливості використання відходів виробництва базальтових волокон при виготовленні будівельних матеріалів на основі бетонів.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішували наступні задачі:

- попередня підготовка поверхні відходів базальтових волокон з метою покращення суміщення волокон з бетонною масою;
- розробка методики визначення міцності адгезивного шару зацепленого базальтового волокна у цементному камені;
- дослідження властивостей виготовлених матеріалів на основі цементних бетонів наповнених відходами базальтових волокон.

Відходи базальтового волокна, у відповідності до технології виготовлення волокон, містять на своїй поверхні замаслювач, який суттєво впливає на формування адгезивного шару при взаємодії базальтового волокна із цементним каменем. В якості замаслювача використовують Замаслювач № 76 [2].

Досліджували різні способи видалення замаслювача із поверхні базальтового волокна, а саме:

- обробкою перхлоретиленом;
- термообробкою за температури 500⁰С протягом 1 години;
- термообробкою та наступною обробкою перхлоретиленом;
- термообробкою та наступною обробкою у воді за температури 80⁰С;
- термообробкою та наступною обробкою у воді за температури 20⁰С;
- термообробкою та наступною обробкою в етиловому спирті.

В розчині ПХЕ, етиловому спирті, у воді за температури 80⁰С та у воді за температури 20⁰С волокна обробляли протягом 30 хвилин.

Випробовували паралельно 15 зразків для кожного досліді.

Результати досліджень з визначення кута змочування поверхні волокон (після термообробки і промивання водою та необробленого волокна із замаслювачем наведено в таблиці 1) [3]. Для порівняння властивостей змочуючої рідини використовувались: 10-відсотковий розчин NaCl, 25-відсотковий розчин NaCl і дистильована вода.

Результати досліджень наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Якісні показники змочуючих рідин

Змочуюча рідина	Концентрація	Кут змочування θ	
		Волокно після термообробки і промивання водою	Необроблене волокно із замаслювачем
NaCl	10	28,3	41,4
NaCl	25	31,6	41,6
Дистильована вода		35,85	48,7

Дослідами встановлено, що найкращою змочувальною здатністю до досліджуваних волокон володіє дистильована вода, при чому найкраща спорідненість спостерігається до волокон після термообробки, що і підтверджує необхідність термообробки волокон.

За зміною адгезивних властивостей поверхні базальтового волокна спостерігали, досліджуючи величину адгезивної міцності за розробленою нами методикою.

Суміш цементу із водою готували при співвідношенні В/Ц = 0,5. Величина адгезивної взаємодії поверхні базальтового волокна із шаром бетонного матеріалу буде визначатись зусиллям, яке необхідно прикласти до волокна, щоб відбулось висмикування волокна із об'єму бетонної твердої маси

Міцність сформованого адгезивного шару зацепленого базальтового волокна у цементному камені при руйнуванні зразків вимірюється силою F , яка необхідна для висмикування волокна із шару адгезиву. Методика дозволяє достатньо швидко отримувати велику кількість зразків [4, 5]. Для виготовлення бетонних циліндричних зразків використовували алюмінієву фольгу. Геометрія з'єднання характеризується довжиною l , яка визначається товщиною шару цементного каменю, і площею $S=\pi dl$, де d – діаметр волокна. Зразки залишаються у формах до

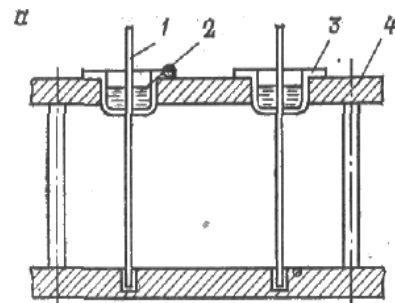


Рис. 1. Визначення міцності адгезивного шару зацепленого базальтового волокна у цементному камені: 1 – волокно діаметром d , мм; 2 – шар цементного каменю товщиною l , мм; 3 – алюмінієва форма; 4 – опорна пластина

закінчення процесу твердіння (рис. 1).

Для проведення досліджень використовували розривну машину із постійною швидкістю деформації.

Випробовування зразків на зсув проводили за допомогою пристрою наведеного на рис. 2.

При закріпленні в зажимах розривної машини зразків, нижній кінець волокна фіксували по центру у нижній зажим розривної машини. У верхній зажим розривної машини кріпили гачок 3.

Досліджувались зразки із волокном діаметром від 128,6 до 357,1 мкм, висота шару цементної суміші коливалась в межах від 5 до 6,5 мм. Форму із зразками поміщали до термошафи за температури 72⁰С на 1 годину, а для забезпечення вологості у термошафу ставили чашку із водою. Потім витримували без нагрівання ще 21 годину і лише після цього випробовували зразки на зсув. Результати досліджень наведені в таблиці 2.

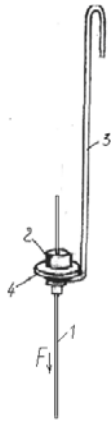


Рис. 2. Розроблений пристрій для випробовування зразків із волокнами на зсув: 1 – волокно; 2 – циліндричний зразок із затверділого бетонного матеріалу; 3 – гачок; 4 – металева шайба

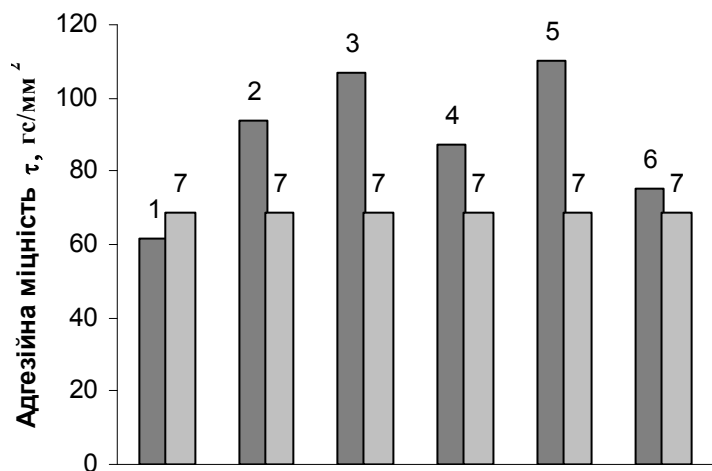
Таблиця 2

Розрахункові значення адгезійної міцності

Вид зразків	Адгезійна міцність, τ МПа
Зразки із вихідним волокном (із замаслювачем)	0,68±0,084
Зразки із вихідним волокном (із замаслювачем) після обробки у розчині ПХЕ	0,62±0,080
Зразки із волокном після термообробки	0,94±0,069
Зразки із волокном після термообробки та наступної обробки у розчині ПХЕ	1,07±0,130
Зразки із волокном після термообробки та наступної обробки у воді при температурі 80 ⁰ С	0,87±0,100
Зразки із волокном після термообробки та наступної обробки у воді при температурі 20 ⁰ С	1,10±0,120
Зразки із волокном після термообробки та наступної обробки в етиловому спирті	0,75±0,100

На основі даних таблиці побудовано діаграму (рис. 3), де показано залежність адгезійної міцності від способу обробки поверхні волокна у порівнянні із вихідним волокном (із замаслювачем).

Висновки. Встановлено, що ефект зростання адгезійної міцності спостерігається після термообробки волокон, а також від термообробки та наступної обробки у воді при температурі 20⁰С у порівнянні із вихідним волокном, що містить замаслювач.



Зразки

Рис. 3. Залежність адгезійної міцності від способу обробки поверхні волокна: 1 – Зразки із вихідним волокном (із замаслювачем) після обробки у розчині ПХЕ; 2 – Зразки із волокном після термообробки; 3 – Зразки із волокном після термообробки та наступної обробки у розчині ПХЕ; 4 – Зразки із волокном після термообробки та наступної обробки у воді при температурі 80⁰С; 5 – Зразки із волокном після термообробки та наступної обробки у воді при температурі 20⁰С; 6 – Зразки із волокном після термообробки та наступної обробки в етиловому спирті; 7 – Зразки із вихідним волокном (із замаслювачем)

Література

1. Рециклинг отходов производства базальтового волокна и изделий из него [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.npktermo.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=90&Itemid=88
2. Персональный сайт Новицкого Александра [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://novitsky1.narod.ru/basalt9.htm>
3. Бабаевский П. П. Практикум по полимерному материаловедению: [учебник] / Бабаевский П. П. – М.: Химия, 1980. – 256 с.

Надійшла 13.1.2011 р.

УДК 687

О.В. ЯРОЩУК

Хмельницький національний університет

АНАЛІЗ НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ЕКСПЕРТИЗИ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ ДИТЯЧОГО АСОРТИМЕНТУ

В статті проаналізовано номенклатуру показників якості до дитячого одягу; визначено НД, які містять вимоги до швейних виробів дитячого асортименту; запропоновано багаторівневу номенклатуру показників якості дитячого одягу; визначені НД, що мають різне значення однакових властивостей; запропоновані напрямки гармонізації стандартів.

The article analyzes the range of quality indicators for children's clothing, sun set, which contains requirements for children's garments range and proposed a multi-range of quality children's clothing, sun set, having different meanings of identical properties, the proposed areas of standards harmonization.

Ключові слова: номенклатура показників якості, нормативні документи, стандарти, гармонізація, якість.

Постановка проблеми

Останнім часом все частіше ставиться питання про якість виробів із текстилю та про їх безпечність. Особливо це стосується дитячого одягу, до якого висувається значно більше вимог, ніж до дорослого. Це в першу чергу, високі вимоги в питаннях зручності, практичності, якості та безпечності тканин, із яких він виготовлений. При створенні одягу для дітей спеціалісти враховують фізичні норми розвитку дитини, її психологічний і притаманний стан по відношенню до моди, розуміння практичності та зручності. Це обумовлено високою чутливістю сприйняття дитячим організмом зовнішніх дій і специфічних умов експлуатації виробів, пов'язаних з динамічністю образу життя дітей.

Аналіз останніх досліджень чи публікацій

На сьогоднішній день багато дослідників вивчають вимоги до одягу, номенклатуру їх показників якості та займаються розробкою нової схеми цих показників.

В роботі [1] Коблякова Є.Б. розглядає вимоги до одягу як багаторівневу, ієрархічну систему. На першому рівні ієрархії система для якості одягу підрозділяється на дві підсистеми показників, які визначають його споживчі та техніко-економічний рівні, які знаходяться між собою в складній взаємодії, підчиняються загальній цілі – оцінці якості одягу. Споживчий рівень якості характеризується сукупністю показників, які визначають безпосередню суспільну та індивідуальну цінність для людини-споживача. Техніко-економічний рівень якості одягу визначає ступінь технічної досконалості конструкції, методів проектування та технології одягу з врахуванням витрат на його виробництво та споживання.

Показники кожної підсистеми залежать від класових та групових показників тих властивостей, котрі лежать на більш низьких рівнях ієрархії. Ступінь складності показників зменшується від нульового рівня до наступних. Найбільш низький рівень системи складають локальні, одиничні показники, які можна вимірити інструментально або визначити візуально з використанням евристичних методів експертних оцінок.

Споживчі показники якості одягу на другому рівні структурної схеми охарактеризовані п'ятьма класами показників: соціальними – визначають суспільну потребу в одязі з даною цільовою функцією; функціональними – встановлюють ступінь відповідності одягу основній цільовій функції (призначенню), зовнішньому вигляду та психологічним особливостям споживача; естетичними – визначають ступінь відповідності одягу духовним потребам суспільства; ергономічними – зумовлюють ступінь відповідності одягу функціональним можливостям та психофізіологічним особливостям людини, її антропометричним характеристикам в статичі та динаміці, гігієнічність, зручність використання виробу в різних виробничих та побутових процесах; експлуатаційними – визначають ступінь стабільності зберігання якості одягу в експлуатації, її надійність.

Техніко-економічні показники якості одягу охарактеризовані трьома класами показників: стандартизації та уніфікації – визначають ступінь конструктивної та технологічної послідовності проекрованої конструкції; технологічності – встановлюють ступінь прогресивності конструкції та технології, рівень технічного оснащення, трудомісткість виготовлення та матеріалосмієність виробу; економічності – характеризують витрати на проектування, технологічну підготовку, промислове виробництво одягу та витрати споживачів на його експлуатацію.

На наступному, третьому, рівні відбувається подальша конкретизація структури якості одягу: виділяються показники, які об'єднують групи споріднених властивостей; на четвертому та п'ятому рівнях – одиничні показники.

В нормативній документації [2] подано перелік властивостей без розподілу їх на групи, тобто

номенклатура показників взагалі відсутня. Але і сучасне швейне та текстильне виробництво і діяльність за експертизою та оцінкою якості повинні базуватися на актуалізованій законодавчій та нормативно-технічній базі. Тому на сьогодні багато авторів присвячують свої роботи розробці новій номенклатурі показників якості або займаються узагальненням старої.

В роботі [3] автор поділяє номенклатуру показників якості швейних виробів на вимоги естетичні, надійності (зносостійкість, розміро- та формостійкість), ергономічні (зручність у користуванні та гігієнічність), на конструкторсько-технологічні, економічні, а також вказані показники якості, що забезпечують ці вимоги.

Постановка завдання

На основі проведеного аналізу запропонувати удосконалену номенклатуру показників якості до дитячого одягу, а також виконати аналіз існуючих нормативних документів до дитячих швейних виробів для їх виготовлення та експертизи.

Виклад основного матеріалу

Аналіз літературних джерел показав, що вимоги до одягу постійно удосконалюються та розширюються. Сучасні вимоги вже не відповідають сучасним реаліям, наприклад, зовсім не розглядаються вимоги екологічності та безпеки, що, перш за все, потрібно враховувати при виготовленні дитячого одягу.

На основі проведеного аналізу та з урахуванням сучасних вимог запропонована номенклатура показників якості швейних виробів дитячого асортименту молодших вікових груп. На першій ступені показники були диференційовані на показники споживчих властивостей та суспільно-значимі. Номенклатура показників – це якісна категорія продукції і на сьогоднішній день, в першу чергу, розглядають її споживчі властивості. Тому в подальшому при розробці номенклатури показників якості для дитячого одягу розглядаємо саме цю категорію. Зміну якості швейних виробів пропонуємо розглядати як по горизонталі, так і по вертикалі. По горизонталі це зміна по розширенню зони задовольняючих потреб одним виробом, а по вертикалі це більш глибоке задоволення потреб споживачів. Особливість запропонованої номенклатури полягає у тому, що при зберіганні всіх показників якості продукції, вони розташовуються не на одній гілці, а перегруповуються як по рівням, так і в межах одного ієрархічного рівня. Класифікація номенклатури показників якості дитячого одягу молодших вікових груп представлена на рис. 1.

При виготовленні та проведенні експертизи швейних виробів застосовують цілий ряд нормативних документів, які містять вимоги до швейних виробів: стандарти на швейні та трикотажні вироби, стандарти загальних технічних вимог, стандарти на норми та правила, стандарти на методи контролю, стандарти на маркування, стандарти на терміни та визначення та ін. Стандарти загальних технічних вимог містять загальні положення по виготовленню швейних та трикотажних виробів дорослого та дитячого асортименту. Всі вимоги цих стандартів можна поділити на вимоги до текстильних матеріалів та швейних виробів. Вимоги до текстильних матеріалів містять показники як до волокнистого складу, так і вимоги до безпеки та санітарно-гігієнічні вимоги, а також показники, що впливають на підодяговий мікроклімат. Показники швейних виробів містять вимоги до розкрою, виготовлення, маркування, контролю якості, визначення сортності та пакування і транспортування швейних виробів.

В таблиці 1 надано перелік нормативних документів, що містять вимоги до швейних виробів та текстильних матеріалів. Ці вимоги застосовуються при проектуванні, виготовленні та проведенні експертизи дитячого одягу.

Аналіз вимог нормативних документів показав, що при виготовленні дитячого одягу велика увага приділяється волокнистому складу текстильних матеріалів, який обмежується вмістом хімічних волокон. Крім того, нові текстильні матеріали дитячого асортименту повинні мати дозвіл на використання від Мінздраву України.

Для дитячого одягу є досить актуальна проблема забезпечення безпеки та гарного самопочуття дитини, тому у сучасних нормативних документах є розділи, які містять показники, що регулюють підодяговий мікроклімат, а саме гігроскопічність, повітропроникність, питомий поверхневий електричний опір та впливають на екологічну чистоту – вміст вільного формальдегіду та інших хімічних сполук. Аналіз нормативних документів показав, що не всі перераховані у табл. 1 нормативні документи містять ці показники, а лише деякі: ГОСТ 30383-95, ДСТУ 4239: 2003, ДСТУ ГОСТ 25294: 2005, ДСТУ ГОСТ 25295: 2005, ДСТУ ГОСТ 25296: 2005, СанПіН № 42-125-4390-87.

За нормативними документами рекомендовані значення гігроскопічності текстильних матеріалів для дитячого одягу коливаються в різних межах: ГОСТ 30383-95 рекомендує для першого та другого шару одягу не менше 13– 18 % як оптимальне та не менше 9– 13 % як допустиме, для ясельної групи 13– 18 % як оптимальне; ДСТУ ГОСТ 25294: 2005 – для першого та другого шару одягу 8 %, ДСТУ ГОСТ 25296: 2005 – 9 %; в СанПіН № 42-125-4390-87 значення показників гігроскопічності для першого шару іще більш низькі – 7– 9 % як оптимальне, 6– 7 % як допустиме.

Такі ж розходження спостерігаються і зі значеннями показника повітропроникності: ГОСТ 30383-95 рекомендує як оптимальне значення не менше $300 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$ та як допустиме – не менше $150 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$; ДСТУ ГОСТ 25294: 2005 та ДСТУ ГОСТ 25296: 2005 – не менше $100 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$; в СанПіН № 42-125-4390-87 значення показника складає теж не менше $100 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$.

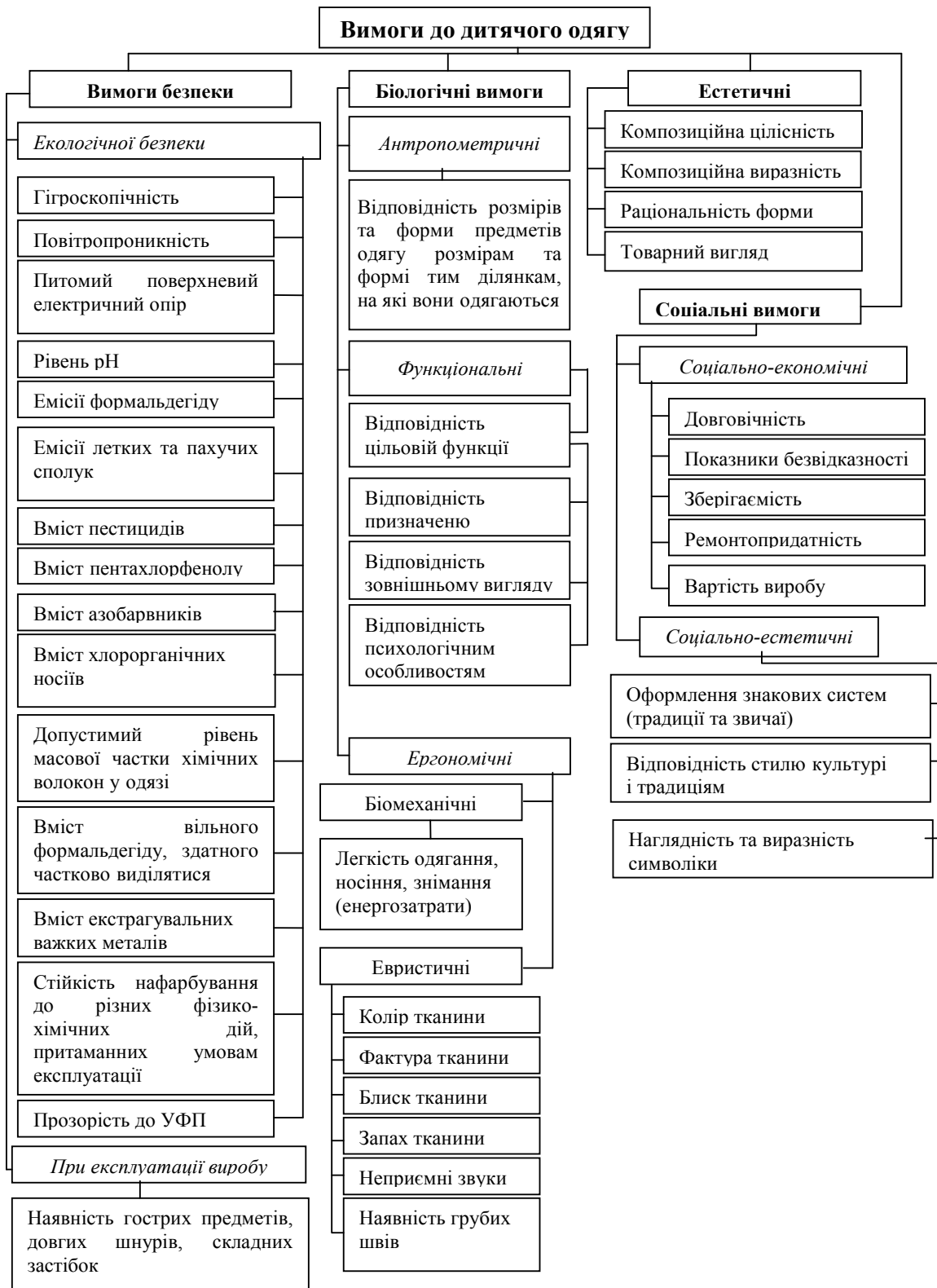


Рис. 1. Номенклатура показників якості дитячого одягу

Значення показника питомого поверхневого електричного опору теж коливаються в різних нормативних документах: ГОСТ 30383-95 рекомендує для підліткової групи не більше 10^{10-12} Ом як оптимальне та не більше 10^{13} Ом як допустиме, а для всіх інших – не більше 10^{10-12} Ом; ДСТУ ГОСТ 25294: 2005 та ДСТУ ГОСТ 25295: 2005 – не більше 10^{11} Ом; ДСТУ ГОСТ 25296: 2005 – не більше 10^9 Ом та допускається не більше 10^{11} Ом; в СанПіН № 42-125-4390-87 значення цього показника ще жорсткіші – не більше 10^{8-9} Ом як оптимальне, не більше 10^{9-11} Ом як допустиме.

Неоднозначними являються також значення вмісту вільного формальдегіду. Так, СанПіН № 42-125-4390-87 не має обмеження на цей показник. Для білизняного та платтяно-блузочного асортименту значення

цього показника згідно з ДСТУ ГОСТ 25294: 2005 та ДСТУ ГОСТ 25296: 2005 складає не більше 75 мкг/г, а для верхнього одягу значення цього показника є ще більшим – для тканин верху не більше 1000 мкг/г, а для підкладкових тканин – не більше 300 мкг/г. ГОСТ 30383-95, який гармонізований з вимогами міждержавних стандартів, містить найжорсткіші вимоги – не більше 20 мкг/г. Крім того, цей стандарт містить сучасні показники гранично допустимих концентрацій на вміст в текстильних та трикотажних матеріалах шкідливих та небезпечних хімічних елементів, сполук та вільних радикалів. Так для дитячого одягу згідно ГОСТ 30383-95 встановлені допустимі значення залишків важких металів, що здатні до екстрагування, а також значення інших хімічних речовин та сполук.

Дитячий одяг повинен відповідати обов'язковим вимогам нормативних документів, а білизняний асортимент дитячого одягу підлягає обов'язковій сертифікації. Проведення необхідної експертизи дитячого одягу на відповідність обов'язковим вимогам ускладнюється неоднозначністю значень, що містять ці нормативні документи.

Таблиця 1

Вимоги нормативних документів до дитячого одягу

№ п/п	Номер та назва нормативного документу	Вміст хімічних волокон	Вимоги до виробів та матеріалів			
			Гігроскопічність, %, не менше	Повітропроникність, дм/м с, не менше	Питомий поверхневий електричний опір, Ом, не більше	Вміст вільного формальдегіду, мкг/г, не більше
1	2	3	4	5	6	7
1.	ГОСТ 904-87 Вироби трикотажні білизняні для жінок та дівчаток. Загальні технічні умови.	Не дозволяється вміст синтетичних волокон у виробках до 60-го розміру по обхвату грудей включно та нічних сорочках і піжамах – до 80-го розміру, для дівчаток (від 64-го розміру по обхвату грудей) не повинна перевищувати 40 %, в інших випадках з дозволу Мінздраву.	Не вказано	Не вказано	Не вказано	Не вказано
2.	ГОСТ 28039-89 Вироби трикотажні верхні для чоловіків та хлопчиків. Загальні технічні умови.	З дозволу Мінздраву.	Не вказано	Не вказано	Не вказано	Не вказано
3.	ГОСТ 12694-90 Вироби трикотажні білизняні для дітей новонароджених, ясельного та дошкільного віку. Загальні технічні умови.	Вироби з натуральної та штучної сировини, їх поєднання, інші з дозволу Мінздраву.	Не вказано	Не вказано	Не вказано	Не вказано
4.	ГОСТ 19540-90 Вироби трикотажні купальні. Загальні технічні умови.	Згідно санітарно-гігієнічним нормам СанПіН № 42-125-4390 або з дозволу Мінздраву.	Не вказано	Не вказано	Не вказано	Не вказано
5.	ГОСТ 30327-95 Сорочки верхні. Загальні технічні умови.	Згідно вимогам СанПіН № 42-125-4390-87, затвердженні Міністерством здоров'я СРСР 13.07.87.	Не вказано	Не вказано	Не вказано	Не вказано
6.	ГОСТ 30383-95 Вироби трикотажні дитячі білизняні. Норми фізико-механічних показників.	Не вказано	Для ясельної групи 13-18 (оптимальне), для інших 13-18 (оптимальне) та 9-13 (допустиме)	300 (оптимальне), 150 (допустиме)	Для підліткової групи 10 (оптимальне) та 10 (допустиме), для інших 10 (оптимальне)	Не вказано

1	2	3	4	5	6	7
7.	ДСТУ 4239: 2003 Матеріали та вироби текстильні і шкіряні побутового призначення. Основні гігієнічні вимоги.	Не вказано	Не вказано	Не вказано	Не вказано	20
8.	ДСТУ ГОСТ 25294: 2005 Одяг верхній платтяно-блузкового асортименту. Загальні технічні умови.	Згідно з діючими санітарними нормами або з дозволу Мінздраву.	8	100	10 ¹¹	75
9.	ДСТУ ГОСТ 25295: 2005 Одяг верхній пальтрово-костюмного асортименту. Загальні технічні умови	Згідно з діючими санітарними нормами або з дозволу Мінздраву.	Не вказано	Для підкладкових матеріалів та матеріалів виробів костюмної групи – не менше 60	10 ¹¹	В тканинах верху – не більше 1000 мкг/г, підкладках – не більше 300 мкг/г
10.	ДСТУ ГОСТ 25296: 2005 Вироби швейні білизняні. Загальні технічні умови	Згідно з діючими санітарними нормами або з дозволу Мінздраву.	9	100	10 ⁹ Ом (допускається 10 ¹¹ Ом)	75
11.	СанПіН № 42-125-4390-87 Вміст хімічних волокон в матеріали для дитячого одягу та взуття у відповідності з їх гігієнічними показниками.	Залежності від виду, призначення одягу та шару пакета.	7–9 (оптимальне), 6–7 (допустиме)	100	10 (оптимальне), 10 (допускається)	Не вказано

Висновки

1. Запропонована більш детальна класифікація номенклатури показників якості дитячого одягу молодших вікових груп з урахуванням сучасних споживчих вимог.

2. Проаналізовано вимоги НД, аналіз яких дозволяє стверджувати, що вимоги стандартів не узгоджені та містять різні значення одних і тих же показників, що являється недопустимим для вимог національних стандартів та ускладнює їх використання при проведенні експертизи.

3. Пропонується гармонізувати державні стандарти на відповідність єдиних вимог, взявши за основу вимоги міжнародних стандартів ЕКО-ТЕХ-100.

Література

1. Коблякова Е. Б. Основы проектирования рациональных размеров и форм одежды / Коблякова Е. Б. – М. : Лег. и пищ. про-сть, 1984. – 208 с.
2. Тканини та вироби ткани поштучні. Класифікація та номенклатура показників якості : ДСТУ 3047-95. – [Чинний від 01.07. 1996]. – К. : Держспоживстандарт України, 2006. – (Національні стандарти України).
3. Савчук Н. Г. Особливості формування номенклатури показників для моніторингу якості швейних виробів / Н. Г. Савчук // Легкая промышленность. – 2007. – №4. – С. 52–53.

Надійшла 26.1.2011 р.

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету, протокол № 5 від 27.01.2010 р.

Підп. до друку 26.11.2009 р. Ум.друк.арк. 18,26 Обл.-вид.арк. 22,65
Формат 30x42/4, папір офсетний. Друк різнографією.
Наклад 100, зам. № _____

Тиражування здійснено з оригінал-макету, виготовленого редакцією журналу “Вісник Хмельницького національного університету” редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету 29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63