

ISSN 2226-9150

Науковий журнал

2.2012

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки

Хмельницький 2012

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, 2012, № 2 (187)

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. Либа В.П., д.т.н. Мазур М.П., д.т.н. Поморова О.В., к.т.н. Мандзюк І.А., д.т.н. Мясичев О.А., д.т.н. Олександренко В.П., д.т.н. Пастух І.М., д.т.н. Ройзман В.П., д.т.н. Рудницький В.Б., д.т.н. Сарібеков Г.С., д.т.н. Сілін Р.І., д.т.н. Семенюк М.Ф., д.т.н. Славинська А.Л., д.т.н. Стечишин М.С., д.т.н. Троцишин І.В., д.т.н. Шалапко Ю.І., д.т.н. Шевеля В.В.

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

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету, протокол № 7 від 22.02.2012

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, 2012
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2012

ЗМІСТ

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

В.П. ВЕЛЬБОЙ, М.О. ДИХА, О.Ю. БИКОВ ТЕХНОЛОГІЯ І ПРИСТРОЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ФОРМУВАННЯ ТОПОГРАФІЇ ЗОН ДИСКРЕТНОГО ЗМІЦНЕННЯ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ПОВЕРХНІ	7
В.В. ЧАБАН, Б.Ф. ППА ДИНАМІКА ОСНОВОВ'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ З ВІДЦЕНТРОВОЮ ФРИКЦІЙНОЮ МУФТОЮ	10
С.А. ПЛЕШКО, Н.М. ЗАЩЕПКІНА, Б.Ф. ППА ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ В'ЯЗАЛЬНОЇ СИСТЕМИ В'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ НА ВЕЛИЧИНУ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	17
Е.А. КРАВЧЕНКО ЭЛЕКТРИЗАЦІЯ АБРАЗИВНОГО СЫПУЧЕГО МАТЕРІАЛА КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ КОЛЕСА С РЕЛЬСОМ	21
І.М. ПАСТУХ, М.В. ЛУК'ЯНЮК, В.О. КУРСКАЯ АНАЛІТИЧНІ КРИТЕРІЇ УТВОРЕННЯ НІТРИДІВ ПРИ АЗОТУВАННІ В ТЛЮЧОМУ РОЗРЯДІ З НЕСТАЦІОНАРНИМ ЖИВЛЕННЯМ	25
О.О. АБРАМОВ, В.В. ЗАВГОРОДНИЙ, А.А. ВИЧАВКА ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВОЛОГОСТІ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ НА ПРОБИВНИЙ ЗАЗОР І ПАРАМЕТРИ ЕЛЕКТРИЧНОГО РОЗРЯДУ МІЖ МІДНИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ	33
Г.Б. ПАРАСКА, Н.Г. СУР'ЯНИНОВ, Е.В. СЛАБЕНКО ПРИЛОЖЕНИЕ МЕТОДА ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ К ЗАДАЧЕ ИЗГИБА ДЛИННОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ	36
В.В. СТРЕЛЬБИЦКИЙ ДОСЛІДЖЕННЯ МОНТАЖНИХ НАПРУЖЕНЬ У ПАЯНИХ КОНСТРУКЦІЯХ МІКРОЗБІРОК	42
В.І. КИРИЧЕНКО, Л.М. КИРИЧЕНКО КОМПОЗИЦІЙНІ МАСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ІЗ ТЕХНІЧНИХ ОЛІЙ: КОНЦЕПЦІЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПЕРЕРОБНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	45
В.І. КИРИЧЕНКО КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ІЗ ТЕХНІЧНИХ ОЛІЙ: ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ОДЕРЖАННЯ	50
В.В. РОМАНЮК ОПРЕДЕЛЕНИЕ КВАЗИРАВНОВЕРЯТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗ КОНТИНУУМА ОПТИМАЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ В СТРОГОЙ ЗАДАЧЕ УСТРАНЕНИЯ ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ТРЁХМОДЕЛЬНОЙ {2ε, 3ε}-НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ПО ПРИНЦИПУ ГАРАНТИРОВАНО МИНИМАЛЬНЫХ АБСОЛЮТНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ	56

ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

В.О. ПРИВАЛА, Л.В. БУХАНЦОВА СИСТЕМАТИЗАЦІЯ СПОСОБІВ ЗДІЙСНЕННЯ ТРАНСФОРМАЦІЇ СУЧАСНОГО ОДЯГУ	65
О.П. БОХОНЬКО, О.В. ЯРОЩУК, Є.С. БОХОНЬКО РОЗРОБКА ТЕПЛОЗАХИСНОГО СПЕЦІАЛЬНОГО ОДЯГУ ЗА ДОПОМОГОЮ СУЧАСНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ	68
О.В. ЗАХАРКЕВИЧ ФОРМУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ЛАНЦЮГІВ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЖІНОЧОГО ПЛЕЧОВОГО ОДЯГУ	73

О.В. ЯРОЩУК, О.П. БОХОНЬКО, А.А. КОЧМАР НАПРЯМКИ ГАРМОНІЗАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНИХ ВИМОГ ДО ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ ТА ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДО СТАНДАРТІВ КРАЇН ЄС	77
Л.В. ГОЦИК, Е.А. ЗАХАРОВА, І.М. ЛАНОВА ТОВАРОЗНАВЧА ЕКСПЕРТИЗА РОЗМІРНИХ ПОКАЗНИКІВ ТА МАРКУВАННЯ СПОРТИВНОГО ОДЯГУ ПРОВІДНИХ ФІРМ-ВИРОБНИКІВ	81
В.В. ЄВТУШЕНКО, О.А. УХАНОВА ВПЛИВ ВОЛОКНИСТОГО СКЛАДУ НА ФОРМОСТІЙКІСТЬ ТКАНИН В ОДЯЗІ	85
В.С. ГОРОБЧИШИНА, М.Д. НОВАКЕВИЧ РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ФОРМИ ПОВЕРХНІ ПРЕДМЕТУ ПРАЦІ ШВЕЙНОГО ВИРОБУ НА ОСНОВІ ПАРАМЕТРІВ КОНТУРІВ З'ЄДНУВАНИХ ДЕТАЛЕЙ	88
Г.О. ПУШКАР, Б.Д. СЕМАК ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ВІТЧИЗНЯНОГО РИНКУ ІНТЕР'ЄРНОГО ТЕКСТИЛЮ	93
Г.С. ОЛІЙНИК ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕКОРАТИВНО-МЕБЛЕВИХ ТКАНИН	96
О.Г. БОЙКО, С.А. КАРВАН, О.А. ПАРАСКА ВПЛИВ ОБРОБОК ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ НА ГІДРОФІЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	101
Л.С. СТЕПАНОВА, І. ГЛОВА ВПЛИВ СТРУКТУРИ МАТЕРІАЛУ ТА КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАБРУДНЮВАЧА НА ЗАБРУДНЮВАНІСТЬ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	107
Д.Г. САРИБЕКОВА ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОТДЕЛОЧНЫХ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ КИСЛОТОЗАЩИТНОЙ ОТДЕЛКИ	111
Л.А. НЕСТЕРОВА ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ НА ПРОЦЕСС ГИДРОЛИЗА АКТИВНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ	116
Н.П. СУПРУН, О.В. СМАЧИЛО, Г.В. ТАРАСЕНКО ВИЗНАЧЕННЯ ТА ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ КОМФОРТНОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ПІДКЛАДКИ ДЛЯ ВЗУТТЯ	119
М.П. САВЧУК ВСТАНОВЛЕННЯ НОМЕКЛАТУРИ ТА ВАГОМОСТІ ГІГІЄНИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ДОМАШНЬОГО ВЗУТТЯ	122
Н.М. ОМЕЛЬЧЕНКО, В.П. КЕРНЕС, В.П. КОНОВАЛ РОЗРОБКА РАЦІОНАЛЬНОГО ВЗУТТЯ ДЛЯ СТАРШОКЛАСНИКІВ 15–16 РОКІВ СХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ. ПОВІДОМЛЕННЯ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ МІЖ РІЗНИМИ РОЗМІРНИМИ ОЗНАКАМИ СТОП	126
А.В. СМІЛА, Е.С. КАСЬЯН РОЗРОБКА НОВИХ МОРОЗОСТІЙКИХ ПОКРИВНИХ СКЛАДІВ НА БАЗІ ПОЛІАКРИЛАТІВ	131
Е.Г. КУЗНЕЦОВА, Ю.Г. САРИБЕКОВА ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПОЛИАКРИЛАМИДНЫХ ФЛОКУЛЯНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПОСЛЕ ПРОМЫВКИ ШЕРСТИ	135
Л.В. ПЕЛИК ЗНОШУВАННЯ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ЗМІНУ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ	138

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

О.В. ПОМОРОВА, С.О. ПАРФЕНОВ, О. О. ІЛЛЯШЕНКО ВИКОРИСТАННЯ СЕРЕДОВИЩА ІМВ RATIONAL RHAPSODY DEVELOPER ДЛЯ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ	142
Т.О. ГОВОРУЩЕНКО, Є.В. ПИТЛИК ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТРИК ЯКОСТІ НА ЕТАПІ ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	149
О.В. ІВАНОВ, О.В. ПОМОРОВА ОПТИМІЗАЦІЯ ВИБОРУ СПОСОБІВ ІНФОРМАЦІЙНОГО ОБМІНУ В СИСТЕМІ УНІФІКОВАНИХ КОМУНІКАЦІЙ	156
М.П. ДИВАК, В.В. ЧИЧА, Л.С. ОЛІЯРНИК ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ГРАФІЧНОГО КОРИСТУВАЦЬКОГО ІНТЕРФЕЙСУ (GUI)	160
С.М. ЛИСЕНКО, А.В. КРАСІЙ, В.В. МЕЛЬНИК ПОБУДОВА ПРОЦЕСУ ВИЯВЛЕННЯ ТРОЯНСЬКИХ ПРОГРАМ	164
Т.О. ГОВОРУЩЕНКО, А.В. БАЧИНСЬКИЙ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТРИК СКЛАДНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	171
І.Б. АЛБАНСЬКИЙ, О.І. ВОЛИНСЬКИЙ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ МНОЖЕННЯ РЕАЛІЗОВАНИХ В РІЗНИХ ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВИХ БАЗИСАХ	179
М.В. БАЧИНСЬКИЙ, Л.Є. ДЕДІВ, В.Г. ДОЗОРСЬКИЙ МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОЕНЦЕФАЛОГРАФІЧНОГО СИГНАЛУ ДЛЯ ЗАДАЧ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРНИХ ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ	186
Я.М. НИКОЛАЙЧУК, О.М. ЗАСТАВНИЙ, П.В. ГУМЕННИЙ ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ТА ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ АРИФМЕТИКО-ЛОГІЧНОГО ПРИСТРОЮ НА ОСНОВІ ВЕРТИКАЛЬНО-ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ	190
О.А. МЯСШЦЕВ, Б.В. ГАВДАН, Є.В. ПРОКОПЕНКО СТАТИСТИЧНА ОЦІНКА ДИНАМІЧНИХ СЦЕН НА ВІДЕОЗОБРАЖЕННЯХ В ТРАКТІ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ОПТИКОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ	197
Ю.П. КЛЬОЦ МЕТОД ІДЕНТИФІКАЦІЇ БУЛЬОК ПІНИ НА ЗОБРАЖЕННЯХ	200
В.М. ПУСТОВІТОВ, А.Б. ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ ДОСЛІДЖЕННЯ ПИТАНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ ЗАСОБІВ СПОСТЕРЕЖЕННЯ В РІЗНИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ	205
О.В. БУЯЛО МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ НАСТРОЮВАННЯ СКЛАДНОЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ ТА ЇЇ СКЛАДОВИХ ЧАСТИН ПРИ ПРОВЕДЕННІ РЕМОНТУ У РЕМОНТНОМУ ОРГАНІ	208
С.М. ПЕРВУНІНСЬКИЙ, П.Д. ЖУРАВЕЛЬ ЗАВАДОСТІЙКІСТЬ БІНАРНОГО АВТОКОРЕЛЯЦІЙНОГО ПРИЙМАЧА ШУМОВИХ ОРТОГОНАЛІЗОВАНИХ СИГНАЛІВ З ДВОМА ЛІНІЯМИ ЗАТРИМКИ	212
А.М. СЛІЗКОВ, Л.А. ДМИТРЕНКО ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КІЛЬКІСНИХ ВИМІРЮВАНЬ	219
Я.М. НИКОЛАЙЧУК, Н.Г. ШИРМОВСЬКА БАЗИС ГАЛУА ТА ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СТАНІВ КВАЗІСТАЦІОНАРНИХ ОБ'ЄКТІВ	224

А.А. ТАРАНЧУК, І.О. НЕЧИПОРУК, О.В. ПОМОРОВА ЕФЕКТ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЕХА В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ З ПАКЕТНОЮ ПЕРЕДАЧЕЮ ІНФОРМАЦІЇ	230
О.С. ПИВОВАР, О.Б. ГОЛЕВИЧ МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ГЛОБАЛЬНОГО ПЕРЕКОСУ ШАРОВОЇ СТРУКТУРИ ДІЕЛЕКТРИКА БАГАТОШАРОВИХ ПЛАТ НА ПЕРЕДАЧУ СИГНАЛІВ UWB	235
В.П. РОЙЗМАН, О.В. ОМЕЛЬЯНЧУК, І.В. ГУРМАН МЕТОД СТАТИСТИЧНОЇ ОЦІНКИ СТРУКТУРНОЇ НАДІЙНОСТІ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ	238
В.Б. РУДНИЦЬКИЙ, І.І. ЧЕСАНОВСЬКИЙ, Л.В. КАРПОВА, С.В. МАРЦЕНЮК ПІДВИЩЕННЯ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ НАПІВАКТИВНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМУ КОРЕЛЯЦІЙНОГО ОЦІНЮВАННЯ СУМІШІ ЕХО-СИГНАЛІВ	241
В.Б. РУДНИЦЬКИЙ, І.І. ЧЕСАНОВСЬКИЙ, О.С. ІВАНЮК ОЦІНКА СТУПЕНЯ РОЗРІЗНЕННЯ ІМПУЛЬСНИХ РАДІОСИГНАЛІВ З УРАХУВАННЯМ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ В ЇХ КОМПЛЕКСНІЙ ОБВІДНІЙ	244
К.В. ЧМЕРУК, О.К. ЯНОВИЦЬКИЙ, С.О. ЯНОВИЦЬКИЙ, В.Р. ЛЮБЧИК РОЗРОБКА МЕТОДУ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН В ЗОНІ ДІЇ ВТОРИННИХ РЛС	247
О.В. МІРОШНИЧЕНКО АНАЛІТИЧНА ОЦІНКА ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ КОРЕЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ ПЕЛЕНГАЦІЇ	250
В.І. ЛУЖАНСЬКИЙ, Ю.О. БАБІЙ, Л.М. МЕЛЬНИК ВПЛИВ НЕЛІНІЙНИХ ЕФЕКТІВ ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА НА ПРОПУСКНУ ЗДАТНІСТЬ КОРПОРАТИВНИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ	253
В.Б. РУДНИЦЬКИЙ, А.В. СПІВАК ОБГРУНТУВАННЯ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХИСНОГО ПРИСТРОЮ НВЧ ПРИЙМАЧІВ НА ОСНОВІ НАДПРОВІДНИХ СТРУКТУР	257
С.Ф. РОБОТЬКО СИНТЕЗ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ ПРИ ВИПАДКОВОМУ ПОПИТІ	261
В.В. ЗБАРАВСЬКИЙ, К.Л. ГОРЯЩЕНКО, Л.О. КОВТУН ЗАСТОСУВАННЯ TRIPLE PLAY В СЕРЕДОВИЩІ ADSL	266

УДК 621.891

В.П. ВЕЛЬБОЙ, М.О. ДИХА, О.Ю. БИКОВ

Хмельницький національний університет

ТЕХНОЛОГІЯ І ПРИСТРОЇ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОГО ФОРМУВАННЯ ТОПОГРАФІЇ ЗОН ДИСКРЕТНОГО ЗМІЦНЕННЯ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ПОВЕРХНІ

Представлено технологію, будову і принцип дії пристроїв для формування заданої геометрії розміщення (топографії) локальних зон зміцнення зовнішньої і внутрішньої поверхні сталевих деталей електромеханічною обробкою на універсальному токарно-гвинторізному верстаті.

Technology, structure and principle of action of devices, is presented for forming of the set geometry of topography of local strengthening areas of external and internal surface of steel details by electromechanics treatment on an universal lathe.

Ключові слова: електромеханічна обробка, бойок (електрод), ексцентриковий привод, зони термічного впливу, якість поверхні, токарно-гвинторізний верстат.

Вступ. Сучасні дослідження в галузі створення зносостійких поверхонь в більшості випадків присвячені розробці комбінованих способів створення дискретних робочих зон контакту у трибоспряженнях. Відомо, що такі поверхні мають зміцнені різними технологіями ділянки певної геометричної форми і займають тільки частину всієї номінальної площі контакту. Експериментально доведено, що саме така будова забезпечує кращі показники зносостійкості порівняно з суцільно зміцненою поверхнею. При формуванні дискретних поверхонь використовують різні технології і способи: механічні, високоенергетичні, електрохімічні, комбіновані та ін. Одним із нових сучасних методів підвищення зносостійкості деталей є електромеханічна обробка (ЕМО) дискретного типу. Даний вид обробки відноситься до технології зміцнювальної обробки деталей шляхом створення дискретно-орієнтованих маслоємких лунок на поверхні деталі з одночасним пропусканням струму через зону контакту інструменту з деталлю.

Аналіз відомих досліджень. Для електромеханічного зміцнення циліндричної поверхні сталеві деталі зазвичай використовують універсальні токарно-гвинторізні верстати з механічною поздовжньою подачею супорта і можливістю поперечної подачі різцетримача. Оброблювану деталь затискають в патроні верстата електроізоляційними прокладками, а до оброблюваної поверхні за допомогою ковзкого контакту, який з'єднують з клеюмою джерела живлення системи «деталь – електрод» струмом 150 ...300 А напругою 1,5...3 В.

Обробку виконують спеціальним пристроєм, який прикріплюють до опорної поверхні різцетримача. Як робочий інструмент (електрод) таких пристроїв використовують ролик [1] або бойок [2], з'єднані з іншою клеюмою джерела живлення. Електричний контакт робочого інструменту з оброблюваною поверхнею під час обробки може бути безперервним або переривчастим.

Безперервний контакт, характерний для зміцнювальної електромеханічної обробки деталей з середньо- і висковуглецевих сталей роликом з гладкою робочою поверхнею, призводить до перегрівання оброблюваної поверхні, появи обширних зон термічного впливу і формування суцільного шару високої твердості, що не завжди є сприятливим, наприклад, для підвищення зносостійкості обробленої таким способом поверхні.

Переривчастий циклічний електричний контакт інструменту з оброблюваною поверхнею під час обробки уможливує формування дискретно розміщених локальних осередків зміцнення з обмеженою зоною термічного впливу і чергування ділянок поверхні різної твердості, що сприяє підвищенню її зносостійкості. Відомий інструмент [3] для дискретної електромеханічної обробки поверхні деталі, виготовлений у вигляді ролика з профільною робочою поверхнею, утвореною виступами почергово розміщених на циліндричній твірній ролика. До недоліків такого інструменту слід віднести обмеження топографії дискретної обробки сталем кроком розміщення виступів на робочій поверхні ролика і не технологічність виготовлення його профільної робочої поверхні.

Відомий спосіб і пристрій [4] для електроконтактного формування дискретно зміцненої поверхні бойком (електродом), закріпленим в осерді і встановленим у отвір оброблюваної деталі з можливістю періодичного циклічного контакту з її внутрішньою поверхнею. Циклічний електричний контакт бойка з оброблюваною поверхнею забезпечується повертанням важеля з наважкою. Топографія зон дискретного зміцнення задається переміщенням каретки пристрою обертанням ходового гвинта (осьовий крок) і переустановленням деталі на певний кут (тангенціальний крок). Обидві дії виконуються вручну, що не забезпечує якісного формування дискретно зміцненої поверхні.

Основна частина. В даній роботі представлена вдосконалена будова пристроїв для електромеханічного формування якісної топографії зон дискретного зміцнення з чітко визначеним кроком їх розміщення в осьовому і тангенціальному напрямках гвинтової лінії оброблюваної зовнішньої і

внутрішньої циліндричних поверхонь переривчастим циклічним контактом бойка (електрода) з оброблюваною поверхнею. Бойок приводиться у зворотно-поступальний рух приводним ексцентриком з можливістю регулювання частоти нанесення ударів за рахунок зміни частоти обертання ексцентрика, а заданий крок розміщення зон дискретного зміцнення в осьовому і тангенціальному напрямках визначається величиною механічної подовжньої подачі пристрою і частотою обертання оброблюваної деталі.

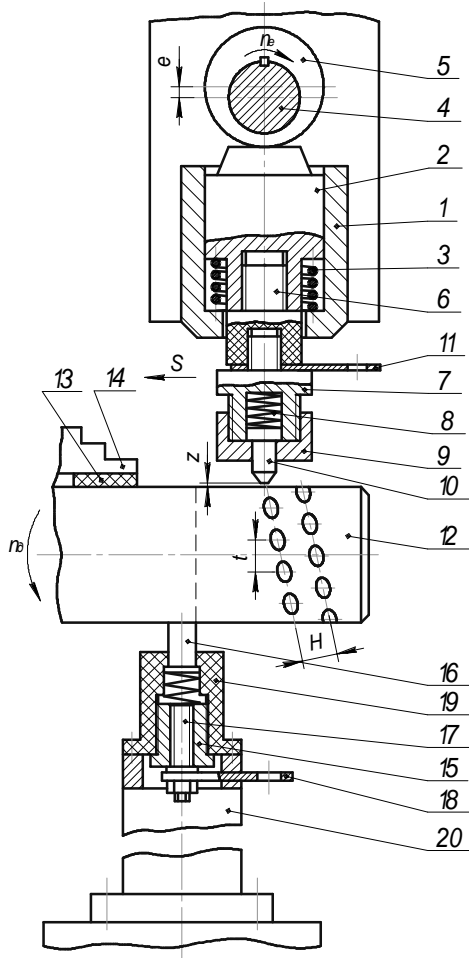


Рис. 1. Установка деталі і пристрій для електроконтактної дискретної обробки зовнішньої поверхні

бойка 10 до поверхні деталі 12 і уможливлене встановлення заданого контактного тиску між ними вгвинчуванням накидної гайки 9.

Пристрій для обробки внутрішньої поверхні (рис. 2) за принципом дії подібний до описаного пристрою за рис. 1 і відрізняється можливістю формування заданої топографії дискретно цементованого шару поверхні мало вуглецевої сталі з одночасним загартуванням з температури електроконтактного нагрівання згідно корисної моделі на винахід [2].

Як карбюратор використовується вуглецева тканинна, яка у вигляді згортки 1 щільно облягає внутрішню поверхню деталі 2 і фіксується на зовнішній поверхні пружними кільцями 3. Обгорнута таким чином вуглецевою тканиною деталь затискається в патроні верстату прокладками 4 з електроізоляційного матеріалу. Зовнішня поверхня за допомогою ковзкого контакту подібно попередньому пристрою (рис. 1) з'єднується з джерелом живлення електричним струмом. Корпус 5 пристрою основою так само кріпиться до опорної поверхні різцетримача з можливістю подовжньої механічної подачі.

В корпусі 5 пристрою міститься приводний ексцентрик 6, посаджений і закріплений шпонкою на валу 7 електродвигуна 9 постійного струму, що уможливлене безступінчасте регулювання частоти обертання ексцентрика. Повзун 8 вставлений в корпус пристрою з можливістю зворотно-поступального руху і притискається до ексцентрика зворотною пружиною 10. В отворі повзуна втулками 11, виготовленими з електроізоляційного матеріалу, кріпиться хвостовик штанги 12, з'єднаний клеєю 13 з джерелом живлення системи «бойок – оброблювана деталь» електричним струмом. Бойок 14 вставлений в отвір електродотримача 15 і закріплений гвинтом 16. Щоб запобігти жорсткий удар бойка до оброблюваної поверхні електродотримач 15 з'єднаний з штангою 11 пружною пластиною 17. Вагомою перевагою наведеного пристрою щодо пристроїв з робочим інструментом у вигляді ролика, придатних для обробки внутрішніх поверхонь діаметром більше 30 мм, є можливість електроконтактного дискретного зміцнення внутрішніх поверхонь діаметром від 16 мм.

Для електроконтактної обробки внутрішньої поверхні діаметром від 10 мм розроблена конструкція

Пристрій для обробки зовнішньої поверхні (рис. 1) складається з порожнистого корпусу 1, у якому з можливістю зворотно-поступального руху міститься повзун 2 і зворотна пружина 3. До основи пристрою кріпиться електродвигун постійного струму (не показано), на валу 4 якого шпонковим з'єднанням з ексцентриситетом e посаджений ексцентрик 5, який дотикається робочою поверхнею до виступу повзуна 2. В різьбовий отвір з протилежного торця повзуна вгвинчений хвостовик 6 з електроізоляційного матеріалу, скріплений різьбою з електродотримачем 7. В отворі електродотримача міститься жорстка пружина 8 і бойок (електрод) 9, притиснутий до пружини 8 накидною гайкою 10. Між хвостовиком 6 і електродотримачем 7 затиснута клема 11 з'єднання електродотримача з джерелом живлення пристрою електричним струмом.

Пристрій працює наступним чином. На оброблювану поверхню деталі (вала) 12 одівається втулка (прокладка) 13 з електроізоляційного матеріалу і деталь закріплюється кулачками 14 в патроні токарного верстату. До оброблюваної поверхні деталі різьбовою втулкою 15 притискається ковзкий контакт (графітова щітка) 16, з'єднаний з джерелом живлення клеєю 18 та гвинтом 17 і вставлений в електроізоляційний корпус 19, прикріплений до станини або напрямних верстата (не показано) кронштейном 20.

Пристрій встановлюється на опорну поверхню різцетримача (не показано) і закріплюється так, щоб вісь деталі 12 і вісь бойка 9 були в одній площині, між бойком і оброблюваною поверхнею деталі був заданий зазор Z . Установочним переміщенням супорта бойок підводиться в положення першої точки зміцнення оброблюваної поверхні. При обертанні ексцентрика 5 з частотою n_e відбувається циклічний електричний контакт бойка 10 з оброблюваною поверхнею. Контактна взаємодія ексцентрика 5 з повзуном 2 забезпечується зворотною пружиною 3. Пружина 8 запобігає жорсткий удар

пристрою (рис.3) з жорсткою штангою 1, в отвір якої вгвинчується Г-подібний бойок (електрод) 2, а в корпусі 3 між приводним ексцентриком 4 і повзуном 5 додатково вставлений з можливістю зворотно-поступального руху вкладиш 6 і пружний буфер 7.

Під час електроконтактної обробки зовнішньої або внутрішньої поверхні почергово вмикаються джерело живлення заданим робочим електричним струмом системи «деталь – електрод», обертовий рух оброблюваної деталі, рух подовжньої механічної подачі супорта і електропривод ексцентрика. Таким чином формується топографія зміцненої поверхні у вигляді сітки локальних зон зміцнення із заданим осьовим h і тангенціальним t кроками (рис.1) їх розміщення по гвинтовій лінії оброблюваної поверхні. Задані координати зон дискретного зміцнення визначаються діаметром оброблюваної поверхні, частотою n_0 обертання деталі, величиною подовжньої подачі супорта S і частотою обертання ексцентрика n_e ,

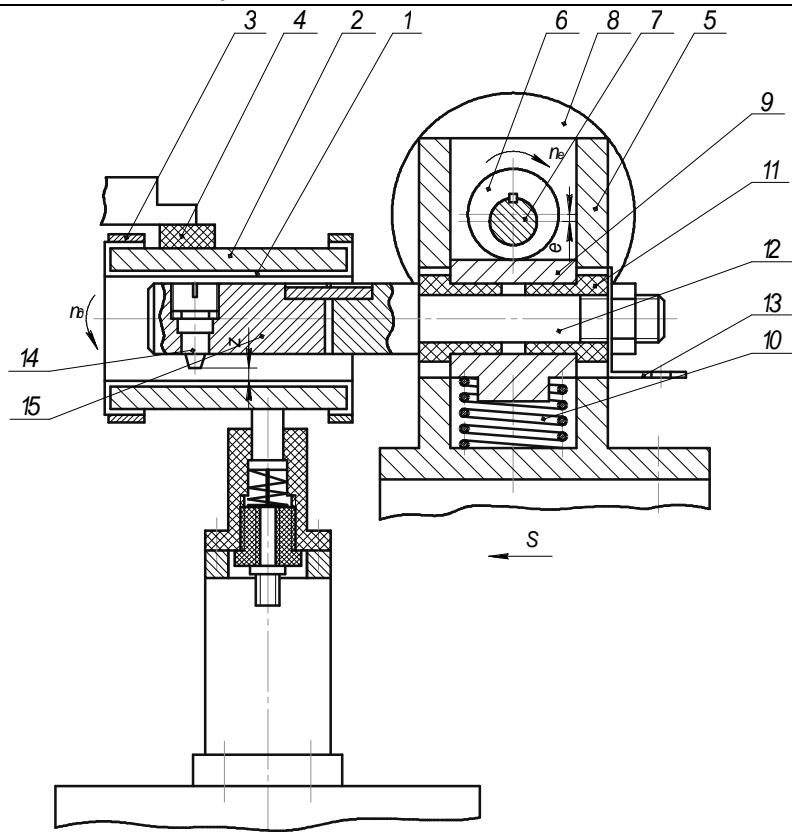


Рис. 2. Установка деталі і пристрій з пружною штангою для електроконтактної дискретної цементації внутрішньої поверхні

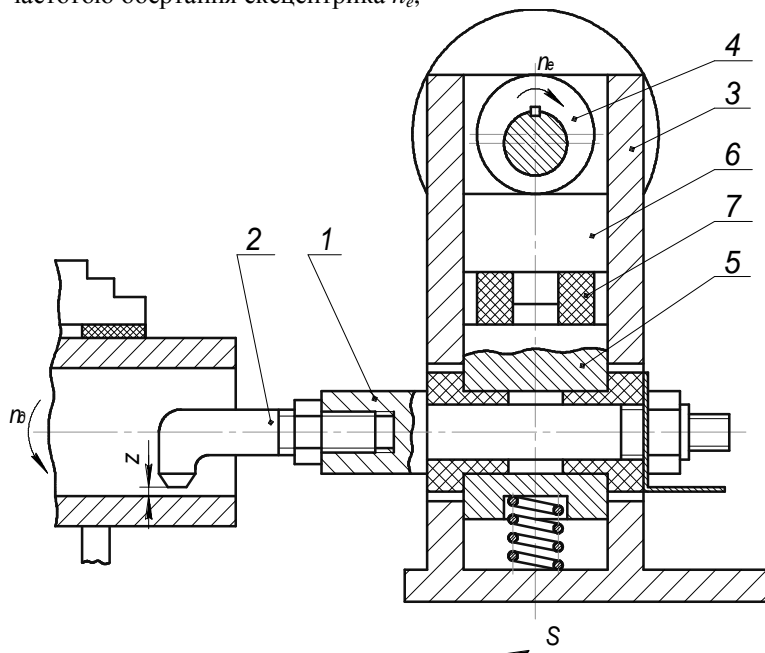


Рис. 3. Установка деталі і пристрій з жорсткою штангою для електроконтактної дискретної обробки внутрішньої поверхні

Висновок

Розроблені конструкції пристроїв для обробки дискретних зміцнених зон на зовнішніх і внутрішніх циліндричних поверхнях деталей машин шляхом керованого електромеханічного впливу інструментом у вигляді бойка-електрода. Використання кінематики універсального токарно-гвинторізного верстата і регульованого ексцентрикового приводу бойка дало можливість формувати розташування зон зміцнення із заданою геометрією.

Література

1. Абрамов О.О. Технологія виготовлення інструментальних роликів для електромеханічної зміцнювальної обробки / О.О. Абрамов, В.П. Вельбой, М.О. Диха // Вісник Хмельницького національного

університету. Технічні науки. – 2011. – №5. – С. 13–16.

2. Пат. України на корисну модель № 66517 У кл. В23 Н9/00. Спосіб дискретної електроконтактної цементації циліндричної поверхні / Вельбой В.П., Посонський С.Ф., Диха О.В., Дробот О.С. ; опубл. 10.01.2012, Бюл. № 1.

3. Пат. РФ № 2271919 кл. В24 В39/00. Инструмент для электромеханической обработки поверхности / Жиганов В.И. ; опубл. 05.03.1996, Бюл. 23.

4. Пат. України на корисну модель № 66857 У кл. В23 Н9/00. Пристрій для електроконтактного формування дискретно зміщеної внутрішньої циліндричної поверхні / Вельбой В.П., Посонський С.Ф., Диха О.В. ; опубл. 25.01.2012, Бюл. № 2.

Рецензент: д.т.н. Сорокатиї Р.В.
Надійшла 20.2.2012 р.

УДК 677.055

В.В. ЧАБАН, Б.Ф. ПІПА

Київський національний університет технологій та дизайну

ДИНАМІКА ОСНОВОВ'ЯЗальної МАШИНИ З ВІДЦЕНТРОВОЮ ФРИКЦІЙНОЮ МУФТОЮ

Представлено результати досліджень з розробки методу знаходження динамічних навантажень, що виникають під час пуску основов'язальної машини з приводом, що містить відцентрову фрикційну муфту.

Here are results of the development researches finding dynamic loads, which are emerging on the start of warp knitting machine with drive and with centrifugal friction clutch.

Ключові слова: основов'язальна машина; привід основов'язальної машини; динамічні навантаження в основов'язальній машині; відцентрова фрикційна муфта.

Перспективою підвищення ефективності роботи основов'язальних машин, як відомо [1–3], є зниження динамічних навантажень, що виникають під час їх несталого режиму роботи (пуск, гальмування та ін.).

Як показують дослідження [4, 5], одним із перспективних і актуальних напрямків зниження динамічних навантажень у в'язальних машинах, зокрема і у основов'язальних, є удосконалення конструкції їх приводу з метою зниження пускового моменту електродвигуна.

Об'єктом досліджень обрано основов'язальну машину з приводом, де, з метою зниження пускового моменту електродвигуна, запропоновано використати відцентрову фрикційну муфту, встановлену на валу електродвигуна, та розробку методу знаходження динамічних навантажень, що виникають під час пуску основов'язальної машини.

При розв'язанні задач, поставлених у даній роботі, були використані сучасні методи теоретичних досліджень, що базуються на теорії динамічних процесів в механічних системах з пружними в'язями.

Завданням досліджень стала розробка методу знаходження динамічних навантажень, що виникають під час пуску основов'язальної машини з приводом, що містить відцентрову фрикційну муфту.

Дослідження динаміки механічних систем [6, 7] показують, що на величину динамічних навантажень, які виникають у вузлах та деталях машин в період несталого режиму руху, значний вплив має надмірний момент електродвигуна, що прикладається до механічної системи в період пуску. Тому доцільно для зменшення динамічних навантажень, що істотно впливають на надійність та довговічність роботи машини, знижувати величину пускового моменту електродвигуна.

Одним із шляхів рішення цієї задачі є встановлення на валу електродвигуна привода основов'язальної машини відцентрової фрикційної муфти.

При цьому треба враховувати, що відцентрова муфта може дати бажаний результат лише у тому випадку, коли її характеристика T_M (див. рис. 2.5 [5]) буде відповідно узгоджена з робочою характеристикою електродвигуна $T_{\text{дв}}$ і машини. Муфта, що має жорстку характеристику (T'_M), до помітного зниження динамічних навантажень привести не може [4].

Метою даного дослідження є розробка методу динамічного розрахунку основов'язальної машини за наявності в складі її привода відцентрової фрикційної муфти.

Динамічний розрахунок проведемо для основов'язальної машини, розрахункова схема якої є рядною тримасовою системою з першою ведучою масою з параметрами: T_M – пусковий момент, що передає механічній системі відцентрова фрикційна муфта (тут і далі приведені значення); T_1, T_2 – моменти сил опору механізмів машини; J_1 – сумарний момент інерції відцентрової фрикційної муфти та обертальних мас привода; J_2, J_3 – моменти інерції обертальних мас механізмів машини; C_{12} – жорсткість пасів пасової передачі привода; C_{23} – жорсткість в'язей, що передають рух механізмам машини.

Згідно з [4]:

$$T_M = \frac{L}{(e^{at} - A)^2} + \frac{N}{e^{at} - A} + H, \quad 0 \leq t \leq t' \quad (0 \leq w \leq w'); \quad (1)$$

$$T_M' = \frac{L'}{(e^{a't} - E)^2} + \frac{N'}{e^{a't} - E} + H', \quad t' \leq t \leq t_p \quad (w' \leq w \leq w_n). \quad (2)$$

Постійні рівнянь (1), (2) визначаються із співвідношень:

$$\begin{aligned} L &= 4C^2 A^2 C_1; \quad L' = 4D^2 C_1 E^2; \quad N = 4C \left(C + \frac{b}{2} \right) C_1 A; \quad N' = -4D \left(D - \frac{A'}{2} \right) E C_1; \\ H &= \left(C + \frac{b}{2} \right)^2 C_1 - C_2; \quad H' = C_1 \left(D - \frac{A'}{2} \right)^2 - C_2; \quad A = \frac{w_1 - 0,5b - C}{w_1 - 0,5b + C}; \quad D^2 = \left(\frac{A'}{2} \right)^2 + B'; \\ a &= \frac{2C_1 C}{J_{\text{об}}}; \quad E = k e^{a't}; \quad C = \frac{1}{2} \sqrt{b^2 + 4a}; \quad a' = \frac{2DC_1}{J_{\text{об}}}; \quad b = \frac{M_{\text{нач.}} b_1}{C_1}; \quad k = \frac{w' + 0,5A' - D}{w' + 0,5A' + D}; \\ a &= \frac{T_{\text{нач.}} C_2}{C_1}; \quad A' = \frac{T_{\text{ном.}}}{(w_0 - w_n) C_1}; \quad B' = A' w_0 + \frac{C_2}{C_1}, \end{aligned} \quad (3)$$

де $C_1 = \frac{n \cdot q \cdot f \cdot R}{r}$; n – число колодок муфти; q – маса однієї колодки; f – коефіцієнт тертя колодок; R – радіус поверхні тертя; r – відстань центру ваги колодки від осі обертання хрестовини муфти, $C_2 = FfR$; F – сила пружини, що утримує колодку (у разі її відсутності $C_2 = 0$);

$$b_1 = \frac{I' - 1}{w_0(1 - I) + w_n I}; \quad I = \frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{ном}}}; \quad I' = \frac{T_{\text{max}}}{T_{\text{нач}}}$$

Оскільки всі основні деталі основ'язальної машини обертаються в підшипниках кочення, втрати в опорах обертання незначні і не враховуються.

Пуск основ'язальних машин, в загальному випадку, відбувається поетапно. Перший етап пуску характеризується рухом маси J_1 при J_2 і J_3 нерухомих. При цьому момент пружних сил деформації гнучкої в'язі C_{12} зростає і за умови $T_{12} = T_2$ в рух вступає маса J_2 , що характеризує початок другого етапу пуску, який продовжується до тих пір, поки момент, що розвивається в гнучкій в'язі C_{23} системи, не досягає величини T_3 . З цієї миті в рух приходять всі маси машини (третій етап пуску).

Розрахунок динамічних навантажень ліній передач приводу виконаємо в системі головних координат. Таке рішення дає можливість одержати незалежні один від одного рівняння руху системи, що містять лише одну перемінну.

Рух механічної системи в період першого етапу пуску, згідно принципу Д'Аламбера, запишемо спочатку в узагальнених координатах, приймаючи як узагальнену координату кутове переміщення мас:

$$J_1 \ddot{j}_1 + C_{12} j_1 = T_M. \quad (4)$$

Диференціальне рівняння вільних коливань першої маси:

$$J_1 \ddot{j}_1 + C_{12} j_1 = 0. \quad (5)$$

Розв'язок лінійних диференціальних рівнянь типу (5) має вид [7]:

$$j_i = \Phi_i \sin(bt + a). \quad (6)$$

Підставляючи значення j_1 в (5) та виконуючи скорочення на загальний множник $\Phi_1 \sin(bt + a)$, одержуємо частотне рівняння:

$$J_1 b^2 - C_{12} = 0. \quad (7)$$

Звідки:

$$b = \sqrt{\frac{C_{12}}{J_1}}. \quad (8)$$

Головною координатою для першого етапу пуску можна прийняти кутове переміщення маси J_1 :

$$j_1 = q_1. \quad (9)$$

Рівняння Лагранжа для вимушених коливань в головних координатах має вигляд:

$$\frac{d}{dt} \cdot \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_k} = G_k, \quad (10)$$

де G_k – узагальнені сили.

Кінетична і потенційна енергії через головні координати виражаються наступним чином:

$$T = \frac{1}{2} \sum_k S_k \dot{q}_k^2; \quad \Pi = \frac{1}{2} \sum_k e_k \cdot q_k^2. \quad (11)$$

Вважаючи, що $\frac{e_k}{S_k} = b_k$, на підставі рівнянь (10) і (11) можемо записати диференціальне рівняння руху системи в головних координатах:

$$\ddot{q}_k + b_k^2 q_k = \frac{G_k}{S_k}, \quad (12)$$

де для першого етапу пуску ($k=1$): $\ddot{q}_1 + b^2 q_1 = \frac{G_1}{S_1}$

Робота узагальнених сил на можливому переміщенні дорівнює:

$$dR = T_M dj_1. \quad (13)$$

Робота узагальнених сил в головних координатах визначається формулою:

$$dR = G_1 dq_1. \quad (14)$$

Прирівнюючи (13) і (14), після підстановки в (13) значення j_1 із (9), одержуємо:

$$G_1 = T_M. \quad (15)$$

Кінетична енергія системи в загальних координатах дорівнює:

$$T = \frac{1}{2} \sum_i J_i \dot{j}_i^2. \quad (16)$$

Підставляючи в (16) значення j_i із (9) та порівнюючи результат з (11), одержуємо:

$$S_1 = J_1. \quad (17)$$

Розв'язок диференціального рівняння (12) при змінних G має вигляд [6, 7]:

$$q_k = q_{k0} \cos b_k t + \frac{\dot{q}_{k0}}{b_k} \sin b_k t + \frac{1}{S_k b_k} \int_0^t G_k \sin b_k (t - \tau) d\tau. \quad (18)$$

Оскільки перший етап пуску характеризується початковими умовами:

$$q_{10} = 0; \quad \dot{q}_{10} = 0,$$

рівняння (18) має вигляд:

$$q_1 = \frac{1}{J_1 b} \int_0^t T_M \sin b (t - \tau) d\tau,$$

де для періоду пуску $0 \leq w \leq w'$, згідно з [5]:

$$\int_0^t T_M \sin b (t - \tau) d\tau = m'_1 b e^{-at} + m'_2 (L + AN) b e^{-2at} + m'_3 b e^{-3at} + [m'_1 + 2m'_2 (L + AN) + 3m'_3] a \sin bt - [m'_1 + m'_2 (L + AN) + m'_3] b \cos bt + \frac{H}{b} (1 - \cos bt); \quad (19)$$

$$m'_1 = \frac{N}{a^2 + b^2}; \quad m'_2 = \frac{1}{4a^2 + b^2}; \quad m'_3 = \frac{2AL}{9a^2 + b^2}$$

Аналогічне рівняння можна одержати для b_2 (другий і третій етапи пуску). Для другого етапу пуску машини ($w' \leq w \leq w''$) необхідне рішення можна одержати по формулі (19), замінивши в ній L на L' , N на N' , H на H' , a на a' і A на E .

Рівняння зміни моменту пружних сил деформації в'язі C_{12} приймає вигляд:

$$T_{12} = C_{12} q_1 = \frac{C_{12}}{J_1 b} \{ m'_1 b e^{-at} + m'_2 (L + AN) b e^{-2at} + m'_3 b e^{-3at} + [m'_1 + 2m'_2 (L + AN) + 3m'_3] a \sin bt - [m'_1 + m'_2 (L + AN) + m'_3] b \cos bt + \frac{H}{b} (1 - \cos bt) \}. \quad (20)$$

Прийнявши до уваги умову закінчення першого етапу пуску $T_{12} = T_2$, знайдемо із рівняння (20) час початку другого етапу пуску системи t_1 .

Оскільки для першого етапу пуску $q_1 = \frac{T_{12}}{C_{12}}$, початкові умови другого етапу пуску будуть:

$$q_{10} = \frac{T_2}{C_{12}}, \quad \dot{q}_{10} = \dot{q}_{(1)} t_1. \quad (21)$$

Умови динамічної рівноваги в узагальнених координатах системи в період другого етапу пуску будуть:

$$J_1 \ddot{j}_1 + C_{12}(j_1 - j_2) = T_M; \quad J_2 \ddot{j}_2 - C_{12}(j_1 - j_2) + C_{23}j_2 = -T_2 \quad (22)$$

Диференціальні рівняння вільних коливань двомасової системи одержимо, прирівнявши праві частини рівнянь (22) до нуля:

$$J_1 \ddot{j}_1 + C_{12}j_1 - C_{12}j_2 = 0, \quad J_2 \ddot{j}_2 - C_{12}j_1 + (C_{12} + C_{23})j_2 = 0. \quad (23)$$

Розв'язок системи однорідних лінійних диференціальних рівнянь (23) мають вигляд:

$$\Phi_1 = \Phi_1 \sin(\beta t + \alpha); \quad \Phi_2 = \Phi_2 \sin(\beta t + \alpha). \quad (24)$$

Підставивши значення j_i в (23) і скорочуючи на загальний множник $\sin(\beta t + \alpha)$, одержимо систему рівнянь щодо амплітуд коливань:

$$(C_{12} - J_1 \beta^2) \Phi_1 - C_{12} \Phi_2 = 0; \quad -C_{12} \Phi_1 + (C_{12} + C_{23} - J_2 \beta^2) \Phi_2 = 0. \quad (25)$$

Прирівнюючи визначник системи рівнянь (25) нулю, одержимо частотне рівняння:

$$b^4 - \left(\omega_{12}^2 + \frac{C_{23}}{J_2} \right) b^2 + \frac{C_{12} C_{23}}{J_1 J_2} = 0.$$

Звідки:

$$\beta_{12} = \frac{1}{2} \left(\omega_{12}^2 + \frac{C_{23}}{J_2} \right) \pm \sqrt{\frac{1}{4} \left(\omega_{12}^2 + \frac{C_{23}}{J_2} \right)^2 - \frac{C_{12} C_{23}}{J_1 J_2}}, \quad (26)$$

де ω_{12} – циклова частота власних коливань двомасової системи (J_1, J_2), $\omega_{12} = C_{12} \frac{J_1 + J_2}{J_1 J_2}$.

Відношення амплітуд вільних коливань визначимо з першого рівняння системи (25) шляхом підстановки відповідних значень коренів частотного рівняння b_1 і b_2 .

Позначивши

$$\frac{\Phi_1'}{C_{12}} = \frac{\Phi_2'}{C_{12} - J_1 b_1^2} = l_1; \quad \frac{\Phi_1''}{C_{12}} = \frac{\Phi_2''}{C_{12} - J_1 b_2^2} = l_2;$$

$$l_1 \sin(b_1 t + a) = q_1; \quad l_2 \sin(b_2 t + a) = q_2$$

та враховуючи (24), одержимо:

$$j_1' = C_{12} q_1; \quad j_2' = (C_{12} - J_1 b_1^2) q_1; \quad (27)$$

$$j_1'' = C_{12} q_2; \quad j_2'' = (C_{12} - J_1 b_2^2) q_2,$$

де q_1, q_2 – відповідно перша і друга головні координати.

Враховуючи обидві гармоніки, одержуємо загальне рішення системи рівнянь (23) в головних координатах:

$$j_1 = j_1' + j_1'' = C_{12}(q_1 + q_2); \quad j_2 = j_2' + j_2'' = (C_{12} - J_1 b_1^2) q_1 + (C_{12} - J_1 b_2^2) q_2. \quad (28)$$

Диференціальні рівняння руху системи в головних координатах згідно [4] будуть мати вигляд:

$$\ddot{q}_1 + b_1^2 q_1 = \frac{G_1}{S_1}; \quad \ddot{q}_2 + b_2^2 q_2 = \frac{G_2}{S_2}. \quad (29)$$

Для визначення узагальнених сил G_k розглянемо їх роботу на можливому переміщенні:

$$dR = T_M dj_1 - T_2 dj_2 \quad (30)$$

та роботу узагальнених сил в головних координатах:

$$dR = G_1 dq_1 + G_2 dq_2. \quad (31)$$

Прирівнюючи (30) і (31) після підстановки значень j_i з (28), одержуємо:

$$G_1 = T_M C_{12} - T_2 (C_{12} - J_1 b_1^2); \quad G_2 = T_M C_{12} - T_2 (C_{12} - J_1 b_2^2). \quad (32)$$

Із умови рівності кінетичної енергії в узагальнених координатах:

$$T = \frac{1}{2} \sum_i J_i \dot{\varphi}_i^2 \quad (33)$$

та в головних координатах $T = \frac{1}{2} \sum_k S_k \dot{q}_k^2$, підставивши значення з (28) в (33), одержуємо:

$$S_1 = J_1 C_{12}^2 + J_2 (C_{12} - J_1 b_1^2)^2; \quad S_2 = J_1 C_{12}^2 + J_2 (C_{12} - J_1 b_2^2)^2. \quad (34)$$

Розв'язок системи рівнянь (29) з урахуванням (32) буде (згідно з [5]):

$$q_1 = q_{10} \cos b_1 t + \frac{q_{10}}{b_1} \sin b_1 t + \frac{C_{12}}{S_1 b_1} \int_0^t T_M \sin b_1 (t - t) dt + \frac{(C_{12} - J_1 b_1^2) T_2}{S_1 b_1} (1 - \cos b_1 t). \quad (35)$$

Аналогічне рівняння можна одержати і для другого головного коливання.

Моменти сил пружності, що розвиваються в гнучких в'язях в період другого етапу пуску, через головні координати можуть бути виражені таким чином:

$$T_{12} = C_{12} (j_1 - j_2) = C_{12} J_1 (b_1^2 q_1 + b_2^2 q_2); \quad (36)$$

$$T_{23} = C_{23} j_2 = C_{23} [(C_{12} - J_1 b_1^2) q_1 + (C_{12} - J_1 b_2^2) q_2].$$

Умовою закінчення другого етапу пуску системи є:

$$T_{(23)} t_2 = T_3. \quad (37)$$

Підставивши q_1 і q_2 , одержані з (35), в (36) і прирівнявши T_{23} моменту зовнішніх сил опору, що діють на третю масу системи – T_3 , знайдемо з другого рівняння (36) час початку третього етапу пуску t_2 .

Шляхом підстановки t_2 в рівняння для визначення головних координат (35) і їх перших похідних, можна знайти початкові умови третього етапу пуску:

$$q_{(1)} t_2 = q_{10}; \quad q_{(2)} t_2 = q_{20}; \quad \dot{q}_{(1)} t_2 = \dot{q}_{10}; \quad \dot{q}_{(2)} t_2 = \dot{q}_{20} \quad (38)$$

Користуючись принципом Д'Аламбера, запишемо рівняння руху системи в період третього етапу пуску спочатку в узагальнених координатах, приймаючи як узагальнені координати кутове переміщення мас:

$$\begin{aligned} J_1 \ddot{\varphi}_1 + T_{12} &= T_M; \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 - T_{12} + T_{23} &= -T_2; \\ J_3 \ddot{\varphi}_3 - T_{23} &= -T_3. \end{aligned} \quad (39)$$

Перетворення рівнянь руху системи в узагальнених координатах в рівняння руху в головних координатах здійснимо методом, запропонованим А.Н. Голубенцевим [6].

Розкриваючи значення T_{12} , T_{23} і прирівнявши праві частини рівнянь (39) до нуля, одержимо диференціальні рівняння вільних коливань:

$$\begin{aligned} J_1 \ddot{\varphi}_1 + C_{12} j_1 - C_{12} j_2 &= 0; \\ -C_{12} j_1 + J_2 \ddot{\varphi}_2 + (C_{12} + C_{23}) j_2 - C_{23} j_3 &= 0; \\ -C_{23} j_2 + J_3 \ddot{\varphi}_3 + C_{23} j_3 &= 0. \end{aligned} \quad (40)$$

Розв'язок системи однорідних лінійних диференціальних рівнянь (40) мають вигляд:

$$j_i = \Phi_i \sin(bt + a). \quad (41)$$

Підставляючи значення j_i з (41) в (40) і виконавши скорочення на загальний множник $\sin(bt + a)$, одержимо систему рівнянь щодо амплітуд коливань:

$$\begin{aligned} (C_{12} - J_1 b^2) \Phi_1 - C_{12} \Phi_2 &= 0; \\ -C_{12} \Phi_1 + (C_{12} + C_{23} - J_2 b^2) \Phi_2 - C_{23} \Phi_3 &= 0; \\ -C_{23} \Phi_2 + (C_{23} - J_3 b^2) \Phi_3 &= 0. \end{aligned} \quad (42)$$

Із рівнянь (42) можна одержати спектр частот власних коливань приведеної тримасової системи. Для цього, прирівнявши визначник системи рівнянь (42) до нуля, вирішимо одержане рівняння відносно b .

$$\Delta(b^2) = \begin{vmatrix} C_{12} - J_1 b^2, & -C_{12}, & 0 \\ -C_{12}, & C_{12} + C_{23} - J_2 b^2, & -C_{23} \\ 0, & -C_{23}, & C_{23} - J_3 b^2 \end{vmatrix} =$$

$$= b^4 - \left(C_{12} \frac{J_1 + J_2}{J_1 J_2} + C_{23} \frac{J_2 + J_3}{J_2 J_3} \right) b^2 + C_{12} C_{23} \frac{J_1 + J_2 + J_3}{J_1 J_2 J_3} = 0. \quad (43)$$

Звідки:

$$b_{1,2} = \frac{1}{2} (w_{12}^2 + w_{23}^2) \pm \sqrt{\frac{1}{4} (w_{12}^2 + w_{23}^2)^2 + \frac{C_{12} C_{23}}{J_2^2}}, \quad (44)$$

де:

$$w_{12}^2 = \frac{C_{12} (J_1 + J_2)}{J_1 J_2}, \quad w_{23}^2 = \frac{C_{23} (J_2 + J_3)}{J_2 J_3}.$$

Підставляючи значення b_1 і b_2 в систему рівнянь (42), можна одержати два рівняння для визначення амплітуд вільних коливань Φ'_i і Φ''_i , відповідні b_1 і b_2 . Оскільки корені b^2 частотного рівняння (43) прості, хоч би одне з алгебраїчних доповнень визначника (43) при постановці b_1^2 не перетворюється в нуль. У такому разі можна визначити з рівнянь (42) відношення амплітуд [7]. Підставимо в рівняння (42) b_1^2 , розділивши заздалегідь всі члени рівнянь на $\Phi'_3 \neq 0$ і опустивши останнє рівняння, що є слідством двох попередніх:

$$\begin{aligned} (C_{12} - J_1 b_1^2) \frac{\Phi'_1}{\Phi'_3} - C_{12} \frac{\Phi'_2}{\Phi'_3} &= 0; \\ -C_{12} \frac{\Phi'_1}{\Phi'_3} + (C_{12} + C_{23} - J_1 b_1^2) \frac{\Phi'_2}{\Phi'_3} &= C_{23}. \end{aligned} \quad (45)$$

Розв'язок системи рівнянь (45) щодо відношення амплітуд набуває вигляду [7]:

$$\frac{\Phi'_1}{\Phi'_3} = \frac{\Delta_1(b_1^2)}{\Delta_3(b_1^2)}; \quad \frac{\Phi'_2}{\Phi'_3} = \frac{\Delta_2(b_1^2)}{\Delta_3(b_1^2)},$$

де

$$\Delta_1(b_1^2) = \begin{vmatrix} -C_{12}, & 0 \\ C_{12} + C_{23} - J_2 b_1^2, & -C_{23} \end{vmatrix} \quad (46)$$

алгебраїчне доповнення елемента, що стоїть у визначнику (43) на місці перетину першого стовпця і останнього рядка. Відповідно:

$$\Delta_2(b_1^2) = \begin{vmatrix} C_{12} - J_1 b_1^2, & 0 \\ -C_{12}, & -C_{23} \end{vmatrix}; \quad (47)$$

$$\Delta_3(b_1^2) = \begin{vmatrix} C_{12} - J_1 b_1^2, & -C_{12} \\ -C_{12}, & C_{12} + C_{23} - J_2 b_1^2 \end{vmatrix}. \quad (48)$$

Позначивши:

$$\frac{\Phi'_1}{\Delta_1(b_1^2)} = \frac{\Phi'_2}{\Delta_2(b_1^2)} = \frac{\Phi'_3}{\Delta_3(b_1^2)} = l_1, \quad l_1 \sin(bt + a) = q_1$$

та враховуючи (41), одержуємо:

$$j'_1 = \Delta_1(b_1^2) q_1; \quad j'_2 = \Delta_2(b_1^2) q_1; \quad j'_3 = \Delta_3(b_1^2) q_1. \quad (49)$$

Аналогічно для другого головного коливання можна записати:

$$j''_1 = \Delta_1(b_2^2) q_2; \quad j''_2 = \Delta_2(b_2^2) q_2; \quad j''_3 = \Delta_3(b_2^2) q_2. \quad (50)$$

Враховуючи обидві гармоніки, одержуємо загальний розв'язок системи однорідних диференціальних рівнянь (40) в головних координатах:

$$\begin{aligned} j_1 &= \Delta_1(b_1^2) q_1 + \Delta_1(b_2^2) q_2; \\ j_2 &= \Delta_2(b_1^2) q_1 + \Delta_2(b_2^2) q_2; \\ j_3 &= \Delta_3(b_1^2) q_1 + \Delta_3(b_2^2) q_2. \end{aligned} \quad (51)$$

Для вивчення вимушених коливань виразимо узагальнені сили (праві частини диференціальних рівнянь (39)) через головні координати.

Робота узагальнених сил на можливому переміщенні дорівнює:

$$dR = T_M dj_1 - T_2 dj_2 - T_3 dj_3. \quad (52)$$

Робота узагальнених сил в головних координатах визначається формулою:

$$dR = G_1 dq_1 + G_2 dq_2. \quad (53)$$

Прирівнюючи (52) і (53), після підстановки в (52) значень j із (51) одержуємо:

$$G_k = T_M \Delta_1(b_k^2) - T_2 \Delta_2(b_k^2) - T_3 \Delta_3(b_k^2), \quad (54)$$

де $k = 1; 2$.

Із рівняння кінетичної енергії системи в узагальнених $T = \frac{1}{2} \sum_i J_i \dot{q}_i^2$ і головних $T = \frac{1}{2} \sum_k S_k \dot{q}_k^2$

координатах одержуємо: $S_k = J_1 \Delta_1^2(b_k^2) + J_2 \Delta_2^2(b_k^2) + J_3 \Delta_3^2(b_k^2)$. (55)

Рівняннями руху системи в головних координатах будуть:

$$\ddot{q}_1 + b_1^2 q_1 = \frac{G_1}{S_1}; \quad \ddot{q}_2 + b_2^2 q_2 = \frac{G_2}{S_2}.$$

Розв'язок диференціальних рівнянь руху системи має вигляд [5]:

$$q_k = q_{k0} \cos b_k t + \frac{\dot{q}_{k0}}{b_k} \sin b_k t + \frac{1}{S_k b_k} \int_0^t G_k \sin b_k (t - t) dt.$$

Враховуючи (19) і (54), для першого головного коливання можемо записати:

$$\begin{aligned} q_1 = q_{10} \cos b_1 t + \frac{\dot{q}_{10}}{b_1} \sin b_1 t + \frac{\Delta_1(b_1^2)}{S_1 b_1} \{ & m'_1 b_1 e^{-at} + \\ & + m'_2 (L + AN) b_1 e^{-2at} + m'_3 b_1 e^{-3at} + [m'_1 + 2m'_2 (L + AN) + \\ & + 3m'_3] a \sin b_1 t - [m'_1 + m'_2 (L + AN) + m'_3] b_1 \cos b_1 t + \\ & + \frac{H}{b_1} (1 - \cos b_1 t) \} + \frac{T'}{S_1 b_1^2} (1 - \cos b_1 t), \end{aligned} \quad (56)$$

де

$$T' = -T_2 \Delta_2(b_1^2) - T_3 \Delta_3(b_1^2).$$

Аналогічне рівняння можна одержати і для b_2 .

Рівняння для визначення моментів сил пружності через головні координати будуть:

$$\begin{aligned} T_{12} = C_{12} (j_1 - j_2) = C_{12} [\Delta_1(b_1^2) - \Delta_2(b_1^2)] q_1 + C_{12} [\Delta_1(b_2^2) - \Delta_2(b_2^2)] q_2; \\ T_{23} = C_{23} (j_2 - j_3) = C_{23} [\Delta_2(b_1^2) - \Delta_3(b_1^2)] q_1 + C_{23} [\Delta_2(b_2^2) - \Delta_3(b_2^2)] q_2. \end{aligned} \quad (57)$$

Виконані дослідження дозволяють зробити висновок, що запропонований метод може бути використаний для знаходження динамічних навантажень, що виникають в період пуску як основ'язальних, так і інших типів машин з приводом з відцентровою фрикційною муфтою.

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. – 209 с.
3. Чабан В.В. Наукові основи проектування пристроїв натягу ниток основи машин легкої промисловості / Чабан В.В. – К. : КНУТД, 2010. – 180 с.
4. Сердюк В.П. Расчет приводов машин легкой промышленности / Сердюк В.П. – К. : Техніка, 1978, 232 с.
5. Пипа Б.Ф. Динаміка круглов'язальних машин / Пипа Б.Ф., Хомяк О.М., Павленко Г.І. – К. : КНУТД, 2005. – 294 с.
6. Голубенцев А.Н. Динамика переходных процессов в машинах со многими массами / Голубенцев А.Н. – М. : Машгиз, 1959. – 306 с.
7. Кожевников С.Н. Динамика машин с упругими звеньями / Кожевников С.Н. – К. : Изд-во АН УССР, 1961. – 190 с.

Рецензент: д.т.н. Місяць В.П.
Надійшла 10.2.2012 р.

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ В'ЯЗАЛЬНОЇ СИСТЕМИ В'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ НА ВЕЛИЧИНУ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Приведено результати досліджень впливу параметрів в'язальної системи в'язальної машини на величину динамічних навантажень, що виникають в зоні ударної взаємодії голок з клинами. На прикладі круглов'язальної машини КО-2 одержано графічні залежності впливу швидкості машини та основних робочих параметрів пари голка – клин на величину динамічних навантажень.

Ключові слова: в'язальна система, в'язальна машина, круглов'язальна машина, динамічні навантаження, голка, клин.

Специфікою роботи в'язальних машин є значні динамічні навантаження, що виникають при взаємодії голок з клинами в'язальних систем [1, 2]. Динамічні навантаження, що виникають при цьому, є одним з визначальних чинників в питаннях надійності роботи в'язальної машини та якості продукції, що випускається [3–5]. Одним із конструктивних рішень, направленим на зниження динамічних навантажень в парі голка-клин є вибір раціональних параметрів в'язальної системи (жорсткість пари голка-клин, кут клина в зоні взаємодії його з голкою, заміна жорстких клинів пружними, та ін.) [2].

Аналіз впливу параметрів в'язальної системи в'язальної машини на величину динамічних навантажень та метод вибору раціональних конструкцій голок та клинів є важливим етапом в розвитку теоретичних основ проектування в'язальних механізмів, оскільки дозволяє вирішити проблему підвищення ефективності роботи в'язальних машин. Особливо актуальним це завдання є в даний час, коли перед трикотажним машинобудуванням стоїть завдання підвищення швидкісних характеристик в'язальних машин.

Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом досліджень обрано аналіз впливу параметрів в'язальної системи в'язальної машини на величину динамічних навантажень. При проведенні досліджень та вирішенні завдань, поставлених у даній роботі, були використані сучасні методи теоретичних досліджень, що базуються на теорії проектування в'язальних машин та теорії динаміки механічних систем з пружними в'язями.

Постановка завдання

Завданням досліджень стало аналітичне дослідження впливу параметрів в'язальної системи в'язальної машини на величину динамічних навантажень, зумовлених ударною взаємодією голок з клинами.

Результати та їх обговорення

Використовуючи результати раніше проведених авторами досліджень [2] та враховуючи рекомендації [6], рівняння для знаходження динамічних навантажень, що виникають у в'язальних системах при взаємодії голок з пружними клинами (клини, що містять пружні елементи, або пружне кріплення), з метою зручності проведення аналізу оцінки впливу параметрів в'язальної системи на величину динамічних навантажень, представимо в наступному виді:

$$P_{1max} = (D_{11} + D_{12} + a_1)tg(a + r);$$

$$P_{2max} = D_{21} + D_{22} + a_2, \quad (1)$$

де

$$D_{11} = \sqrt{A_{11}^2 + B_{11}^2}; \quad D_{12} = \sqrt{A_{12}^2 + B_{12}^2};$$

$$D_{21} = \sqrt{A_{21}^2 + B_{21}^2}; \quad D_{22} = \sqrt{A_{22}^2 + B_{22}^2}; \quad (2)$$

$$a_1 = \frac{F_1}{y}; \quad a_2 = \frac{F_1}{y} + F_3. \quad (3)$$

$$y = 1 - l \, tg(a + r); \quad (4)$$

$$l = \frac{2a + b}{b} m_2; \quad (5)$$

$$A_{11} = \frac{C_1 - \Delta_2}{z} \cdot \frac{F_1}{y}; \quad A_{12} = \frac{\Delta - C_1}{z} \cdot \frac{F_1}{y}; \quad A_{21} = A_{11} \frac{m_2}{C_1} \Delta_1; \quad A_{22} = A_{12} \frac{m_2}{C_1} \Delta_2;$$

$$B_{11} = \frac{C_1 V \Delta_2}{b_1 z}; \quad B_{12} = -\frac{C_1 V \Delta_1}{b_2 z}; \quad B_{21} = B_{11} \frac{m_2}{C_1} \Delta_1; \quad B_{22} = B_{12} \frac{m_2}{C_1} \Delta_2; \quad (6)$$

$$\Delta_1 = g - b_1^2; \quad \Delta_2 = g - b_2^2; \quad (7)$$

$$g = C_1 \frac{m_1 + y m_2}{m_1 m_2}; \quad (8)$$

$$z = b_1^2 - b_2^2; \quad (9)$$

$$b_{1,2}^2 = \frac{C_1(m_1 + y m_2) + C_2 m_1 \pm \sqrt{[C_1(m_1 + y m_2 + C_2 m_1)]^2 - 4y C_1 C_2 m_1 m_2}}{2m_1 m_2}. \quad (10)$$

Аналізуючи отримані результати, як алгоритм визначення максимуму динамічного навантаження, що виникає при ударі голки об клин, можна рекомендувати:

Початкові дані: технологічне навантаження на голку F_1 , Н; статичний тиск п'яток голок на клин (вертикальна складова) F_3 , Н; лінійна швидкість циліндра машини V , м/с; маса голки m_1 , кг; маса клину m_2 , кг; жорсткість системи голка – клин – штега C_1 , Н/м; жорсткість пружного елемента клина або вузла кріплення клину C_2 , Н/м; кут профілю клину в зоні удару голки a ; плече сили удару голки об клин a , мм; плече опорної реакції b , мм; коефіцієнт тертя голки по клину μ_1 (кут тертя r); коефіцієнт тертя голки по штегам μ_2 .

Порядок розрахунку:

- З рівняння (5) знаходимо параметр I .
- Використовуючи рівняння (4) знаходимо y .
- Згідно (10) знаходимо частоти коливань голки та клину (або пружного його елемента) b_1, b_2 .
- З (9) знаходимо параметр z .
- З (8) знаходимо g .
- Обчислюємо параметри Δ_1, Δ_2 по (7)
- З (6) знаходимо постійні інтегрування A і B .
- Згідно (2) знаходимо постійні D .
- З рівнянь (3) визначаємо постійні складові a_1 і a_2 .
- По (1) знаходимо максимальні динамічні навантаження P_{1max} і P_{2max} .

Аналізуючи залежності (1–10), приходимо до висновку, що на величину максимальних динамічних навантажень в механізмі в'язання впливають наступні параметри в'язальної системи:

- кут профілю клину – a
- кут тертя пари голка – клин – (голка – штеги) r ;
- лінійна швидкість циліндра машини (швидкість машини) – V ;
- величина технологічних навантажень – F_1 ;
- величина статичного тиску п'яток голок на клин – F_3 ;
- жорсткість системи голка – клин – штега – C_1 ;
- жорсткість пружного елемента клина або вузла кріплення клину – C_2 ;
- маса голки – m_1 ;
- маса пружного елемента клина або клину (в разі пружного його кріплення) – m_2 .

З метою з'ясування впливу параметрів в'язальної системи на величину максимуму динамічних навантажень побудуємо залежності P_{1max} і P_{2max} (P_{1max} – максимальне навантаження в зоні удару голки об клин; P_{2max} – максимальне навантаження в пружному елементі клина або у вузлі кріплення клину) від досліджуваних параметрів для, як приклад, круглов'язальної машини типу КО.

За початкові дані приймаємо параметри в'язальної системи круглов'язальної машини КО-2 (випадок удару голки об кулірний клин в разі його пружного кріплення до блоку замка [2]): $a = 54^\circ$; $r = 9^\circ 40'$; $V = 0,72$ м/с; $F_1 = 0,17$ Н; $F_3 = 9,67$ Н; $C_1 = 1483,6 \cdot 10^3$ Н/м; $C_2 = 2486,6 \cdot 10^3$ Н/м; $m_1 = 0,713 \cdot 10^{-3}$ кг; $m_2 = 36,4 \cdot 10^{-3}$ кг.

Діапазон варіювання параметрів, виходячи з практичних міркувань, вибираємо в межах:

$$a = (20\mathbf{K}60)^\circ; \quad r = (4\mathbf{K}12)^\circ; \quad V = (0,5\mathbf{K}2,5) \text{ м/с}; \quad F_1 = (0,05\mathbf{K}1,0) \text{ Н}; \quad F_3 = (5\mathbf{K}25) \text{ Н};$$

$$C_1 = (150\mathbf{K}3000) \cdot 10^3 \text{ Н/м}; \quad C_2 = (150\mathbf{K}30000) \cdot 10^3 \text{ Н/м}; \quad m_1 = (0,2\mathbf{K}1,5) \cdot 10^{-3} \text{ кг};$$

$$m_2 = (5\mathbf{K}100) \cdot 10^{-3} \text{ кг}.$$

Результати розрахунків представлені на рис. 1– 6.

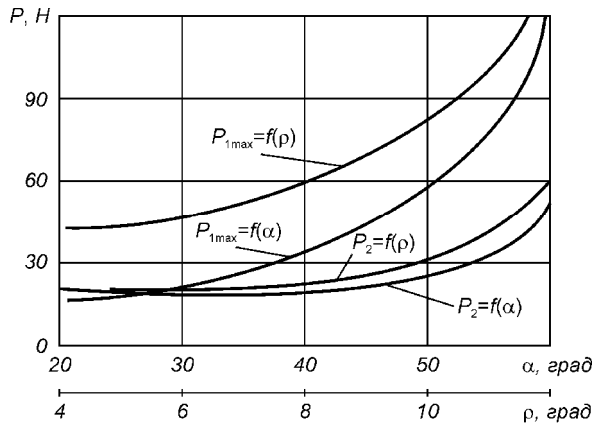


Рис. 1. Залежність динамічних навантажень у в'язальній системі машини МС-9 від кута профілю клину α і кута тертя ρ

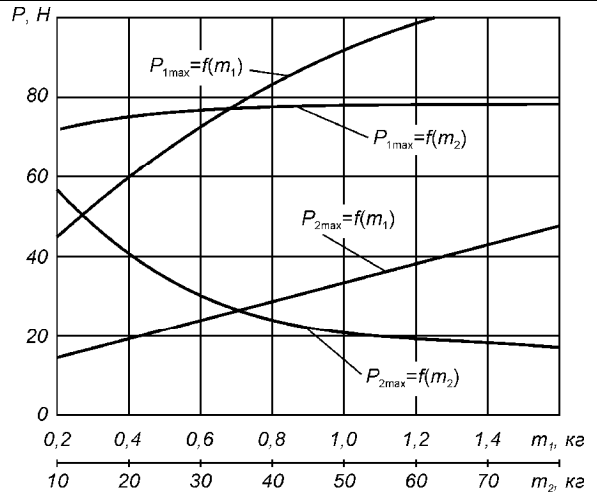


Рис. 2. Залежність динамічних навантажень у в'язальній системі від маси голки m_1 і клину m_2 з урахуванням його пружного кріплення

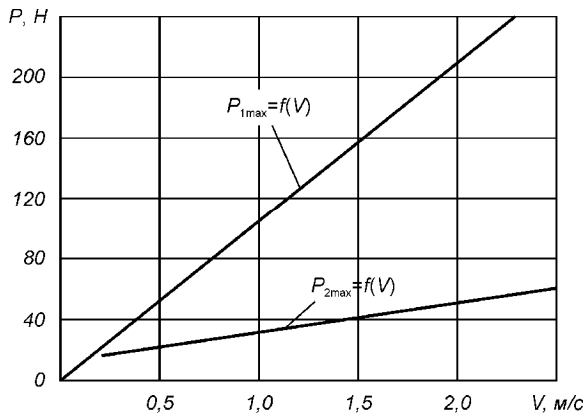


Рис. 3. Залежність динамічних навантажень у в'язальній системі від швидкості машини V

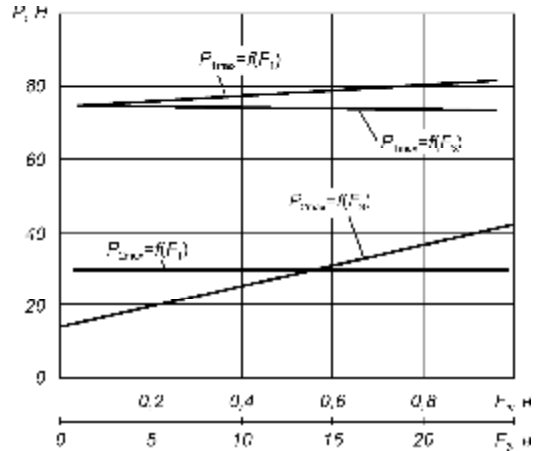


Рис. 4. Залежність динамічних навантажень у в'язальній системі від технологічних навантажень F_1 і сили тиску (статичної) голок на клин F_3

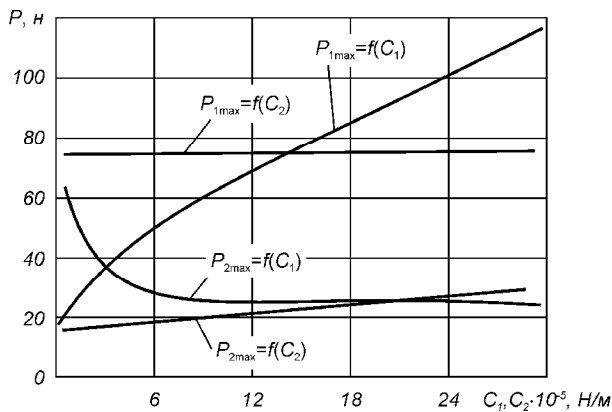


Рис. 5. Залежність динамічних навантажень у в'язальній системі від жорсткості системи голка-клин C_1 і жорсткості вузла кріплення клину C_2

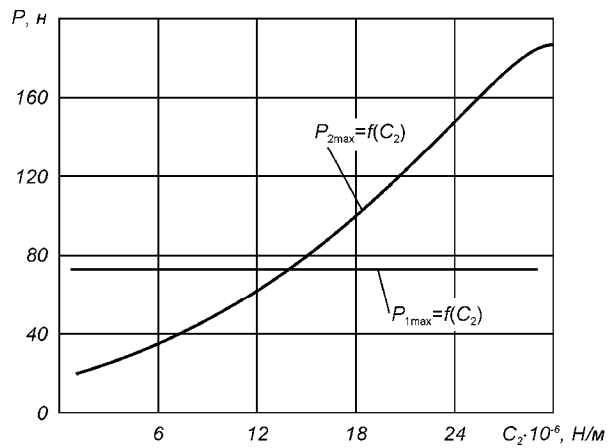


Рис. 6. Залежність динамічних навантажень у в'язальній системі від жорсткості вузла кріплення клину C_2 (при $C_2 \geq 1,5 \cdot 10^6 H/m$)

Висновки

Як видно з рис. 1, кут профілю клина істотно впливає на величину динамічного навантаження у в'язальній системі. При цьому більш істотний вплив кута профілю клина на динамічні навантаження спостерігається в зоні удару голки об клин. При $\alpha > 60^\circ$ клин стає практично непрацездатним. Наступає явище заклинювання голки (динамічні навантаження зростають до безкінечності).

Кут тертя голки об поверхню клина і об штеги помітно впливає на динамічні навантаження у в'язальній системі машини при $\rho > 8^\circ$ (рис. 1). У випадку $\rho \leq 8^\circ$ вплив кута тертя на динамічні

навантаження у в'язальній системі практично несуттєвим. При $r > 12^\circ$ спостерігається явище заклинювання системи (навантаження зростають до безкінечності).

Величина маси голки, істотно впливає на величину навантажень як в зоні удару голки об клин, так і в пружній в'язі C_2 (рис. 2).

Збільшення маси пружного елемента клина або самого клина (в разі його пружного кріплення) m_2 практично не впливає на ударні навантаження в парі голка-клин, проте істотно впливає на динамічні навантаження в пружному елементі клина або у пружній в'язі кріплення клину. При цьому збільшення маси клину знижує динамічні навантаження в пружній в'язі C_2 .

Швидкість машини (рис. 3) прямопропорційно впливає на динамічні навантаження у в'язальній системі. При цьому більш істотний вплив швидкості на навантаження спостерігається в зоні взаємодії голки з клином.

Технологічні навантаження практично не впливають на величину динамічних навантажень у в'язальній системі (рис. 4).

Величина статичного тиску голок на клин впливає на навантаження в пружній в'язі кріплення клину (вузол кріплення клину). Залежність $P_{2max} = f(F_3)$ – лінійна. На величину динамічного навантаження в зоні удару голки об клин параметр F_3 практично не впливає: $P_{2max} = f(F_3) \approx const$.

Жорсткість системи голка-клин істотно впливає на динамічні навантаження в зоні удару голки об клин (рис. 5). При цьому збільшення жорсткості приводить до збільшення динамічних навантажень в системі голка-клин. В той же час збільшення жорсткості C_1 до $9 \cdot 10^5 \text{ Н/м}$ знижує навантаження в пружній в'язі кріплення клину. При $C_1 > 9 \cdot 10^5 \text{ Н/м}$ навантаження в пружній в'язі кріплення клину практично не міняються, $P_{2max} \approx const$.

Величина жорсткості пружного кріплення клину не впливає на величину динамічних навантажень в зоні удару голки об клин (рис. 5, 6). Практично не впливає жорсткість C_2 на навантаження в пружній в'язі кріплення клину при збільшенні її до $30 \cdot 10^5 \text{ Н/м}$. При $C_2 > 30 \cdot 10^5$ спостерігається істотний вплив параметра C_2 на величину навантаження P_{2max} (збільшення C_2 викликає збільшення величини динамічного навантаження P_{2max}).

Література

1. Гарбарук В.Н. Проектирование трикотажных машин / Гарбарук В.Н. – Л. : Машиностроение, 1980. – 472 с.
2. Піпа Б.Ф. Удосконалення робочих органів механізмів в'язання круглов'язальних машин / Б.Ф. Піпа, С.А. Плешко. – К. : КНУТД, 2012. – 470 с.
3. Волощенко В.П. Эксплуатационная надежность машин трикотажного производства / Волощенко В.П., Піпа Б.Ф., Шипуков С.Т. – К. : Техніка, 1977. – 136 с.
4. Повышение надежности трикотажного оборудования / [Піпа Б.Ф., Волощенко В.П., Шипуков С.Т., Орлов В.А.]. – К. : Техника, 1983. – 112 с.
5. Хомяк О.Н. Повышение эффективности работы вязальных машин / О.Н. Хомяк, Б.Ф. Піпа. – М. : Легпромбытиздат, 1990. – 209 с.
6. Кожевников С.Н. Динамика нестационарных процессов в машинах / Кожевников С.Н. – К. : Наукова думка, 1986. – 288 с.

Рецензент: д.т.н. Місяць В.П.
Надійшла 12.2.2012 р.

ЭЛЕКТРИЗАЦИЯ АБРАЗИВНОГО СЫПУЧЕГО МАТЕРИАЛА КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ КОЛЕСА С РЕЛЬСОМ

В статье рассмотрен метод повышения сцепления колеса с рельсом за счет применения предварительной электризации абразивно-воздушной струи перед подачей её в контакт колеса с рельсом. Представлен экономический эффект от внедрения предлагаемых устройств трибо- и электростатической зарядки песка.

This article describes a method of improving adhesion to the rails by the use of pre-electrification abrasive air stream before feeding it into contact with the rail wheels. Presented by the economic effect of implementing the proposed device tribo- and the electrostatic charging of sand.

Ключевые слова: сцепление колеса с рельсом, электризация, абразивный сыпучий материал, электрический заряд, расход песка.

Важным процессом, определяющим достижение максимально возможных тяговых качеств, является фрикционное взаимодействие колес локомотива с рельсами, от которого зависят важнейшие технико-экономические показатели (масса поездов, скорость движения, расход песка, износ рельс и бандажей, реализуемая сила тяги по сцеплению), провозная способность участков железных дорог, безопасность движения, расход электроэнергии на тягу поездов [1, 2, 3]. Наиболее распространенным способом увеличения сцепления является применение кварцевого песка или аналогичных по твердости других минеральных материалов. Этот способ наряду с неоспоримыми преимуществами (высокая эффективность, удобство использования, относительная дешевизна) имеет и явные недостатки (засорение балласта, повышенный износ колес и рельсов, увеличение сопротивления движению). Учитывая указанные недостатки, актуальным является оптимизация использования песка.

В работах [1, 4, 5, 6] доказано, что, с точки зрения тяги, наилучший результат достигается при подаче песка в один слой с некоторым расстоянием между песчинками. Применяемые песочные системы не обеспечивают требуемого количества песка в контакте для достижения высоких сцепных качеств локомотива, что снижает их эффективность и ведет к избыточному расходу песка. При подаче песка эксплуатируемыми песочными системами на поверхности рельса образуется горка. При скоростях движения до 40 км/ч наблюдается избыточная подача песка в область контакта колес с рельсами, предопределяющая главные издержки его использования.

Для достижения требуемого распределения песка на поверхности рельса предлагается производить предварительную электризацию абразивно-воздушной струи перед непосредственной подачей ее в контакт. Согласно проведенному анализу научно-технической литературы [7, 8] существует ряд способов передачи заряда твердым мелкодисперсным частицам (рис. 1). Наиболее приемлемым для песочной системы локомотива является статическая электризация, к которой относится электростатическая и трибостатическая зарядка абразивных частиц.

На основе электростатической и трибостатической зарядки абразивного сыпучего материала разработаны устройства и способ для повышения сцепления колеса с рельсом, защищенные патентами [9, 10, 11].

Трибостатическая зарядка основывается на трении абразивных частиц о стенки трубопровода. При этом заряжающий материал должен быть гидрофобным с высокой диэлектрической проницаемостью. Передача заряда частицам не требует создания дополнительного оборудования для получения высокого напряжения, как при электростатической зарядке. Сложность метода заключается в оптимальном подборе и расположении диэлектрического материала. Однако оба рассматриваемые методы приемлемы для применения на локомотиве.

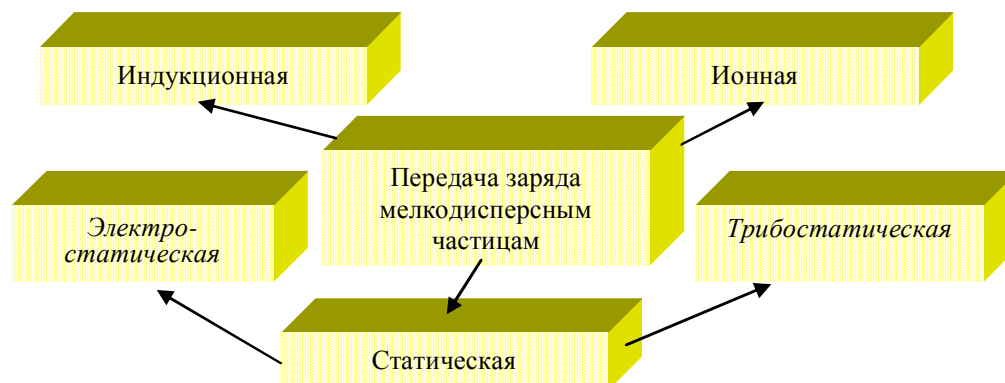


Рис. 1. Способы передачи заряда мелкодисперсным частицам

Способ повышения сцепления колеса с рельсом за счет электризации частиц *трибостатическим* способом [9, 10], заключается в подаче через трубопровод и сопло абразивного материала (песка) в струе сжатого воздуха под колесные пары локомотива. При этом, трибостатическим способом осуществляется целенаправленная зарядка смеси сыпучего абразивного материала с воздухом, которую в зависимости от угла наклона сопла песочницы локомотива подают на рабочую поверхность колеса (рельса) или в контакт взаимодействующих поверхностей колеса и рельса. Зарядка абразивного материала осуществляется за счет применения разработанной триботрубки 1 (рис. 2), размещенной перед соплом.

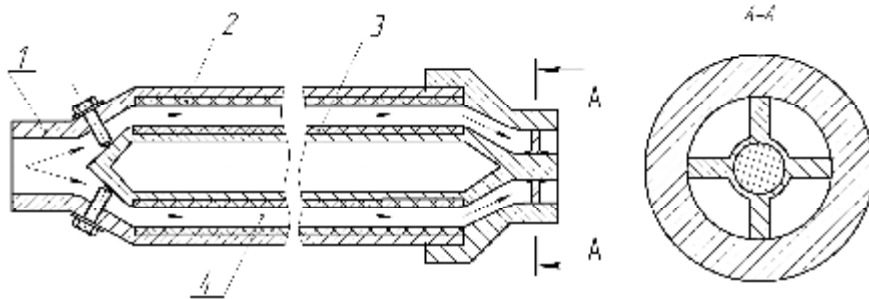


Рис. 2. Схема триботрубки устройства для повышения сцепления колеса с рельсом

Конструкция триботрубки 1 представляет собой сборочную единицу, основными деталями которой являются наружная 2 и внутренняя 3 трубки из гидрофобного материала с высокой диэлектрической проницаемостью. В качестве материала может быть использован политетрафторэтилен - один из лучших акцепторов в трибозлектрическом ряде. Сыпучая абразивно-воздушная смесь, попадая в триботрубку, распределяется по кольцевому каналу 4. Для увеличения количества частиц, взаимодействующих со стенками кольцевого канала 4, на внутренней трубке 2 выполняется, по меньшей мере, одна винтовая проточка, образующая с наружной диэлектрической трубкой 3 винтовой воздушный канал. С помощью винтовой проточки на смесь действует центробежная сила, которая способствует увеличению количества частиц, контактирующих с заряжающими поверхностями. Абразивно-воздушная смесь в триботрубку 1 подается под давлением, при этом увеличивается число и сила столкновений между частицами и заряжающим материалом трубок 2, 3. В результате многочисленных столкновений частиц смеси с поверхностями трубок 2, 3 осуществляется передача электрического заряда. Получив заряд, частицы абразивного материала под действием силы отталкивания одноименно заряженных частиц (силы Кулоновского или электростатического взаимодействия), располагаются в один слой на поверхности дорожки качения с некоторым расстоянием между частицами абразивного материала, что эффективно влияет на сцепление колеса с рельсом. В условиях движения локомотива дорожка качения рабочих поверхностей колеса и рельса является наиболее очищенной, в связи с чем, ее адгезионные свойства повышены, что способствует размещению наэлектризованного сыпучего материала именно на ней.

Основными преимуществами предлагаемого способа является:

- эффективное использование сыпучего материала;
- повышение коэффициента сцепления на 20–30 %, за счет расположения песка в один слой с некоторым расстоянием между частицами на дорожке качения колеса и рельса [1];
- экологическая эффективность, которая достигается снижением объема размолотых частиц песка;
- уменьшение интенсивности износа системы «колесо-рельс»;
- уменьшение сопротивления движения железнодорожного состава.

Физические явления, протекающие при электризации частиц, свидетельствуют о том, что абразивный материал на контактирующих поверхностях располагается в один слой на некотором расстоянии между частицами (рис. 3) за счет сил отталкивания одноименно заряженных частиц по закону Кулона:

$$F = |F'| = k \frac{q_1 \cdot q_2}{\epsilon \cdot L^2}, \quad (1)$$

где F – сила, действующая на заряд q_1 , находящийся в электрическом поле заряда q_2 , Н;

F' – сила, действующая на заряд q_2 , находящийся в электрическом поле заряда q_1 , Н;

$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$ – коэффициент пропорциональности;

ϵ_0 – электрическая постоянная;

q_1, q_2 – величина зарядов абразивных частиц, Кл;

ϵ – относительная диэлектрическая проницаемость среды;

L – расстояние между заряженными частицами, м.

Согласно проведенным исследованиям для достижения максимальных сил сцепления составлена целевая функция, которая определяет расстояние между частицами:

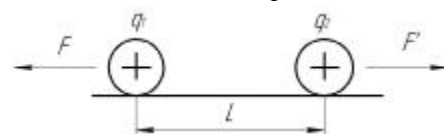


Рис. 3. Схема расположения абразивных частиц на контактирующей поверхности

$$L(N, K, P, Q, D, \bar{m}, t, S) = \left[k \frac{q_1(N, K, P, Q, D, \bar{m}, t, S) \cdot q_2(N, K, P, Q, D, \bar{m}, t, S)}{F(q) \cdot \varepsilon} \right]^{1/2} \rightarrow 3r_{cp}, \quad (2)$$

где N – коэффициент формы заряжающего материала;
 K – вид диэлектрического материала;
 P – коэффициент формы абразивных частиц;
 Q – вид сыпучего материала;
 D – диаметр зарядной трубки;
 \bar{m} – средняя масса частиц абразивного материала;
 t – вероятностная величина времени взаимодействия абразивной частицы с диэлектрической поверхностью;
 S – вероятностная величина пути взаимодействия абразивной частицы с диэлектрической поверхностью;
 $q_1(N, K, P, Q, D, \bar{m}, t, S)$, $q_2(N, K, P, Q, D, \bar{m}, t, S)$ – величина электрического заряда, который передается частицам сыпучего материала;
 $F = |F'| = F(q)$ – сила Кулоновского (электростатического) взаимодействия заряженных частиц;
 ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды;
 r_{cp} – средний радиус заряжающихся частиц.

Конструкция песочной системы, основанная на *электростатической* зарядке песка, предполагает зарядку песка в два этапа. На первом этапе производится зарядка песка для определения производительности песочницы, на втором – для электризации песка, подаваемого в контакт [11, 12].

Скорость и количества песка, подаваемого в контакт, зависит от скорости движения локомотива. Контроль производительности песочницы осуществляется измерительно-регистрирующим блоком, установленным перед форсункой песочницы. При пропускании электрического тока от источника питания 6 (ИП) по центральному проводнику 4 создается концентрическое магнитное поле между центральным проводником 4 и электродом 5, расположенным в патрубке 3 перед форсункой 1 (рис. 4). Песок затягивается потоком воздуха из патрубка 2 в патрубок 3, при движении по которому он приобретает статический заряд, пролетает приемник 10, изготовленный с меди в форме кольца. Измерительный вольтметр 11, соединенный с приемником 10, реагирует на статический заряд песчинки, которая перемещается внутри приемника 10. Система управления 9, соединенная с измерительным вольтметром 11, регулирует положение электропневматического многопозиционного вентиля 7 с учетом скоростемера 8 (чем выше скорость движения локомотива, тем больше внутренний диаметр патрубка 3 для подведения песка и выше производительность песочницы).

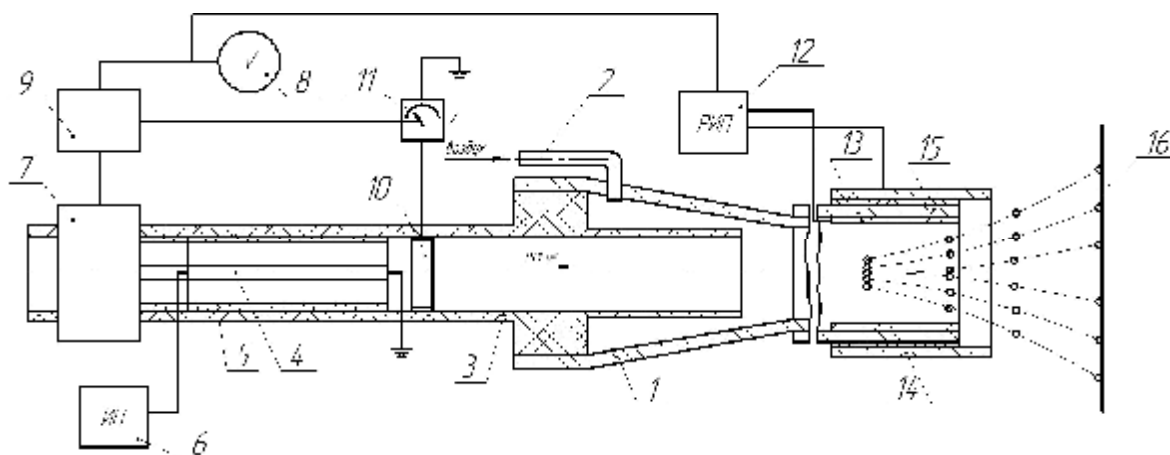


Рис. 4. Схема песочной системы локомотива, основанная на электростатической зарядке песка

За форсункой 1 необходимое количество песка перемещается по трубопроводу 15, где между электродами 13 и 14 создается электрическое поле, которое регулируется источником питания 12 (РИП) в зависимости от скорости движения локомотива и повторно заряжает песок. Под действием электрических сил абразивный сыпучий материал (песок), рассыпается в один слой. После этого песок закрепляется на рельс за счет адгезионных сил. При взаимодействии частичек песка с рельсом происходит электроэрозионное разрушение поверхностного пласта загрязнений на рельсе 16 [13]. В связи с этим повышаются адгезионные качества рельса 16 и улучшаются сцепные характеристики локомотива.

Величина необходимого напряжения, подаваемого на электроды 13 и 14 в зависимости от скорости движения локомотива для распределения песка с расстоянием между частицами равным трем их радиусам, определена на основе имитационного моделирования в системе «форсунка песочницы – рельс» [1, 4].

По данным эксплуатации тепловозов в депо Кондрашевская-Новая расход песка K_p за один год парком локомотивов составляет 389 т, стоимость одной тонны песка – $P = 51$ грн. Стоимость песка с учетом расходов связанных с очисткой балласта верхнего строения колеи от загрязнений песком учитывается коэффициентом $\mu = \left(1 + \frac{32}{26}\right) = 2,23$ согласно данным эксплуатации тепловозов на сети железных дорог [14]. Соответственно полная стоимость песка расходуемого за один год локомотивным парком депо Кондрашевская-Новая составит:

$$P_{01} = K_p \cdot P \cdot \mu = 389 \cdot 51 \cdot 2,23 = 44241 \text{ грн.}$$

Согласно [1] расход песка модернизированной песочной системы уменьшится в 25 раз. При этом стоимость песка расходуемого за один год локомотивным парком составит $P_{02} = K_p \cdot P \cdot \mu = 16 \cdot 51 \cdot 2,23 = 1770$ грн. Следовательно, экономия песка за счет его электризации и поляризации, на парк локомотивов за один год составит:

$$\Delta \mathcal{E} = P_{01} - P_{02} = 44241 - 1770 = 42471 \text{ грн.}$$

Вывод. Применение электризации абразивно-воздушной смеси, подаваемой в контакт колеса с рельсом, позволяет достигнуть требуемого, с точки зрения обеспечения высоких сцепных качеств локомотива, распределения песка по поверхности рельса. При этом повышается коэффициент сцепления и снижается расход абразивного материала, подаваемого в контакт «колесо-рельс».

Литература

1. Кравченко К.О. Обґрунтування резервів підвищення тягових якостей локомотива та їх реалізація керуванням ковзання в системі колеса з рейкою : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня к. т. н. : 05.22.07 / К.О. Кравченко. – Луганск : – 2010. – 23 с.
2. Самме Г.В. Рациональная организация взаимодействия колес локомотива с рельсами / Г.В. Самме, В.А. Яковлев // Современные проблемы совершенствования работы железнодорожного транспорта: Межвузовский сборник научных трудов. – М. : РГОТУПС, 2007. – Т. 1. – С. 90–94.
3. Марков Д.П. Взаимосвязь коэффициента трения с проскальзыванием в условиях взаимодействия колеса с рельсом / Д.П. Марков // Вестник ВНИИЖТ. – 2003. – № 3. – С. 31–33.
4. Осенін Ю.І. Фрикційна взаємодія колеса з рейкою / Ю.І. Осенін, Д.М. Марченко, І.О. Шведчікова. – Луганськ : Вид-во СУДУ, 1997. – 227 с.
5. Haas S. Verbesserung des Haftwerts zwischen Rad und Schiene durch fahrzeugseitige Maß durch fahrzeugseitige Maßnahmen / S. Haas // Schienenfahrzeugtagung, Graz 2005. – 24 p.
6. Каменев Н.Н. Эффективное использование песка для тяги поездов / Каменев Н.Н. – М. : Изд-во Транспорт, 1968. – 87 с.
7. Высоковольтные электротехнологии : [учебное пособие]. – М. : из-во МЭИ, 1999. – 204 с.
8. Дмитриев В.Е. Заряженное состояние адсорбентов и их применение в энергетике при экстремальных условиях : автореферат дис. на здобуття наук. ступеня к.т.н. : 05.14.02, 01.04.13 / В.Е. Дмитриев. – Новосибирск, НГАВТ, 2000. – 18 с.
9. Деклараційний патент на корисну модель № 52361, кл В61С 15/00. Пристрій для запобігання буксуванню коліс локомотива / Горбунов М.І., Кравченко К.О., Ковтанець М.В., Попов С.В., Ноженко О.С. ; заявник та власник СНУ ім. В. Даля – № u201001732 ; заявл. 18.02.2010 ; опубл. 25.08.2010, Бюл. № 16.
10. Деклараційний патент на корисну модель № 48520, кл. В61С 15/00. Спосіб підвищення зчеплення колеса з рейкою / Горбунов М.І., Кравченко К.О., Попов С.В., Ковтанець М.В., Осенін Ю.Ю. ; заявник та власник СНУ ім. В. Даля – № u200908751 ; заявл. 20.08.2009 ; опубл. 25.03.2010, Бюл. № 6.
11. Деклараційний патент на корисну модель № 56033, кл. В61С 15/00. Пісочниця локомотива / Горбунов М.І., Костюкевич О.І., Кравченко К.О., Ноженко В.С., Крутов Ю.М., Ковтанець М.В., Осенін Ю.І. ; заявник та власник СНУ ім. В. Даля – № u201006105 ; заявл. 20.05.2010 ; опубл. 27.12.2010, Бюл. № 24.
12. Горбунов Н.И. Моделирование движения песка в системе «форсунка песочницы – рельс» / Н.И. Горбунов, А.И. Костюкевич, А.Л. Кашура та ін. // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля : в 2-х ч.– Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2010. – № 5(147). – Ч. 1. – С. 20–27.
13. Проволоцкий А.Е. Развитие технологий струйной обработки [Электронный ресурс] / А.Е. Проволоцкий, А.Н. Нарбутович-Кашенко // Збірник наукових праць. Сучасні технології в машинобудуванні, 2008. – № 1. – Режим доступу : http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Stvm/2008_1/articles\13.htm.
14. Самме Г.В. Микроконтроллерная система повышения сцепления (МСПС) для электровозов постоянного тока, работающих по системе многих единиц [Электронный ресурс] / Самме Г.В. – М. : – Режим доступу : http://www.rgotups.ru/ru/nauka/nauka_kafedr.html.

Рецензент: д.т.н., проф. Горбунов Н.И.

Надійшла: 9.2.2012 р.

АНАЛІТИЧНІ КРИТЕРІЇ УТВОРЕННЯ НІТРИДІВ ПРИ АЗОТУВАННІ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ З НЕСТАЦІОНАРНИМ ЖИВЛЕННЯМ

Запропоновано систему аналітичних показників, з допомогою яких проводиться оцінка взаємодії падаючого потоку з металевою поверхнею при азотуванні в тліючому розряді з нестационарним живленням

The analytical indexes system which co-operating estimate particles of stream with a metallic surface at nitriding in glow discharge with the variable delivery is offered

Ключові слова: азотування, тліючий розряд, нестационарне живлення, утворення нітридів, аналітичні критерії

Модифікаційні процеси металевих поверхонь з використанням в якості активатора тліючого розряду можуть базуватись на застосуванні розряду з постійним (умовно постійним, стаціонарним) або нестационарним живленням. Обґрунтування системи аналітичних показників, за допомогою яких якісно відображаються головні субпроцеси для випадку розряду із стаціонарним живленням, приведені в [1-7]. Вибір цих характеристик базувався на запропонованій в означених роботах енергетичній моделі процесу, фундаментальні положення якої зводяться до наступного:

- при певних умовах, обумовлених як видом поверхні, так і характеристиками технологічного режиму, будь-які з субпроцесів можуть мати місце (перелік субпроцесів приведено та детально проаналізовано з точки зору значимості в [1, 2, 8]);
- ймовірність певного субпроцесу визначається відповідністю енергетичного спектру падаючого потоку (ЕСПП) енергетичним характеристикам, у рамках яких цей субпроцес можливий;
- першочергово проходять ті субпроцеси, які в поточних конкретних умовах енергетично найбільш вигідні;
- через адсорбційний шар падаючий потік значною мірою впливає як на поверхню, котра модифікується, так і на компоненти газового середовища, адсорбовані поверхнею та знаходяться на поверхні;
- концентрація атомарного азоту суттєво впливає на інтенсивність азотування в тліючому розряді (АТР), основним джерелом його генерації є дисоціація молекул електронним ударом або рекомбінація молекулярних іонів безпосередньо на поверхні.

Ці положення енергетичної моделі становлять першооснову формування системи оцінок АТР, включаючи його кінцеві результати, а також оптимізацію технологічних режимів. Практична перевірка використання аналітичних критеріїв в повній мірі підтвердила тезу про те, що запропонована система показників відображає якісні співвідношення між компонентами процесу модифікації металевих виробів з використанням АТР при стаціонарному живленні [9]. При цьому тезу про якісний характер оцінки слід розуміти як фактор того, що за допомогою розробленої системи параметрів можливе тільки співставлення відношень наслідків модифікації при різних комбінаціях параметрів технологічних режимів, а не абсолютні значення результатів. Подібна задача в принципі теж може бути вирішена тільки після значних додаткових досліджень вагомості кожної з критеріальних оцінок та відповідності їх конкретним характеристикам, наприклад, фазовому складу поверхневого модифікованого шару, твердості, зносостійкості тощо.

Теоретичні положення енергетичної моделі процесів модифікації поверхні металу з використанням вакуумно-дифузійних газорозрядних технологій (ВДГРТ), викладені в [1, 2] переважно для варіанту умовно постійного (стаціонарного) живлення, передбачають використання системи показників (факторів), за допомогою яких прогнозується оцінка впливу як матеріалу оброблюваної поверхні, так і параметрів технологічного режиму на кінцеві результати АТР. Термін «умовно постійне живлення» слід трактувати саме так з врахуванням того, що навіть при наявності фільтрів будь-якої складності сама природа регулювання величини напруги на електродах розрядної камери з використанням тиристорних схем передбачає певні пульсації струму.

Як зазначалось в [10], параметри технологічного процесу умовно можна розділити на режимні або базові (тиск, температура, склад газового середовища та інше) і енергетичні (напруга між електродами та густина струму). Базові параметри першої групи навіть при змінному характері живлення можна вважати умовно стабільними. В першу чергу це безперечно для процесів з макрофазовою структурою, а тим більше для переважно використовуваних в найпростішому варіантові технології - монофазних, оскільки в цьому випадку відслідковування та підтримка стабільного рівня базових характеристик процесу не становить скільки-небудь складної технічної задачі. Принагідно нагадаємо, що поняття макрофази виходить з того, що тривалість певної фази процесу порівнянна з загальною тривалістю модифікації, а поняття мікрофази стосується до тих елементів процесу, тривалість котрих порівнюється з часом переходу тліючого розряду в дуговий. При переході з однієї макрофази до іншої завжди є можливість внесення необхідних коректив в параметри режиму, а тривалість перехідних процесів в порівнянні з часом всієї обробки настільки незначна, що не може хоч як суттєво вплинути на наслідки модифікації. У випадку ж застосування структурно

мікрофазних режимів, наприклад – циклічно комутованого розряду, період мікрофази настільки малий, що характер релаксації підведеної до об'єкту енергії в межах одного циклу практично стабільний і базові параметри режиму реально незмінні.

Система аналітичних факторів розділяється на дві групи: фактори утворення нітридів в приповерхневому шарові та показники впливу падаючого потоку на структуру поверхні. Фактори першої групи окрім параметрів технологічного режиму (склад газового середовища, напруга між електродами U , густина струму j , температура поверхні T , тиск в розрядній камері p) залежать також від матеріалу, з якого виготовлені об'єкти обробки, насамперед – від їх хімічного складу. Головний принцип формування зазначених факторів зводиться до вичленення з енергетичного спектру падаючого потоку (ЕСПП) тільки тих часток, енергія котрих з врахуванням умов її передачі часткам поверхні знаходиться в межах, які забезпечують реакцію утворення нітридів. Ключовим моментом подібної селекції енергетичного спектру є обов'язкове врахування імовірнісних показників самого процесу передачі енергетичного імпульсу від частки падаючого потоку частці поверхні конкретного типу, оскільки поверхня в загальному виді і, як правило, неоднорідна за хімічним складом. Тому і в якості головного показника (крім величини енергії), за яким проводилась сепарація ЕСПП, використано саме кутові характеристики передачі імпульсу енергії в момент зіткнення.

Базову основу формування аналітичних показників першої групи становлять відносні енергетичні фактори (ВЕФ), в даному випадку – утворення нітридів та його молекулярна і атомарна складові. Поняття відносності базується на тому, що при визначенні цих характеристик використовуються відносні енергетичні спектри, котрі представляють собою розподіл за енергетичними рівнями відношення кількості часток з енергією в межах діапазону навколо цього рівня енергії до загальної кількості заряджених часток падаючого потоку. Ширина діапазону, а, таким чином – вагомість розподілу, залежать як від максимального енергетичного рівня безсуттєвого переміщення часток через прошарок вільного пробігу (ПВП), так і від числа градацій цього енергетичного рівня. Таким чином, максимальний енергетичний рівень першого від катода ПВП

$$e_1 = 2Uq_e \left(\frac{\bar{l}}{d} - \frac{(\bar{l})^2}{2d^2} \right), \quad (1)$$

де \bar{l} - середня довжина вільного пробігу іона,

q_e – заряд електрона, $q_e = 1,6022 \cdot 10^{-19}$ А·с,

d – ширина ОКП.

Середня довжина вільного пробігу іона залежить від тиску p , приведенного перетину сутічок в газі

певного складу $S_{vci} = \sum_1^z p(r_i + r_z)^2 K_{pwz}$ (r_i, r_z – радіуси іона та частки довільного типу, на базі якої передбачається утворення нітриду, при загальній кількості типів часток z , K_{pwz} – коефіцієнт об'ємної долі часток газу конкретного типу), константи концентрації компонента $C_p = 1/kT$ (k – постійна Больцмана, T – термодинамічна температура)

$$\bar{l} = 1/C_p p S_{vci}. \quad (2)$$

Ширина ОКП може бути визначена за методикою [1, 2]

$$d_w(j, p, T) = d_{N300}(j, p) \cdot K_{TN}(j, T) \cdot K_S(k_s) \cdot K_{TS}(k_s), \quad (3)$$

де $d_{N300}(j, p, T)$ – залежність між шириною ОКП, густиною струму і тиском для середовища N100 з вмістом азоту 100% при температурі $T=300^\circ$ К,

$$d_{N300} = 1,54p^{-0.89} + 1,84p^{0.58} j^{-(1,04p^{-0.39})}, \quad (4)$$

$K_{TN}(j, T)$ – температурний коефіцієнт для середовища N100,

$$K_{TN}(j, T) = (0,302 + 0,514 j^{-0,419}) + (0,002013 - 0,001663 j^{-0,749}) \cdot T, \quad (5)$$

$K_\sigma(k_\sigma)$ – коефіцієнт впливу відношення приведених інтегральних перетинів (константа $a_\sigma=0,38$, визначена з похибкою не більше 3,495%),

$$K_S(k_s) = (1 + a_s) - a_s k_s, \quad (6)$$

$K_{TS}(k_\sigma)$ – поправка до температурного коефіцієнта, яка враховує склад газового середовища,

$$K_{TS}(k_s) = 0,285 + 0,715 k_s, \quad (7)$$

відношення приведених інтегральних перетинів k_σ становить для середовищ: N25Ar75 – 1,272; N50Ar50 – 1,181; N75Ar25 – 1,091; Ar100 – 1,362; N90H10 – 0,961, N10Ar90 – 1,326 (тут і далі система позначень складу газового середовища приведена за типом - N75Ar25 – вміст азоту в об'ємних долях 75%, аргону – 25%).

З формули (2) слідує, що середня довжина вільного пробігу іона залежить тільки від базових параметрів технологічного процесу – складу газового середовища, температури і тиску. На рис. 2 і 3 показані залежності ширини ОКП від характеристик режиму.

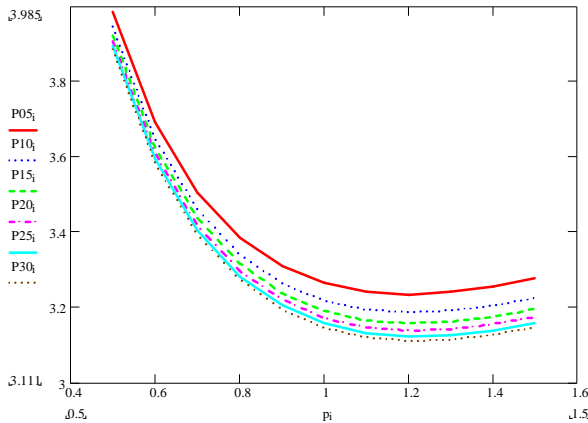


Рис. 1 Залежність ширини ОКП для газового середовища N100 від тиску та інших параметрів технологічного режиму

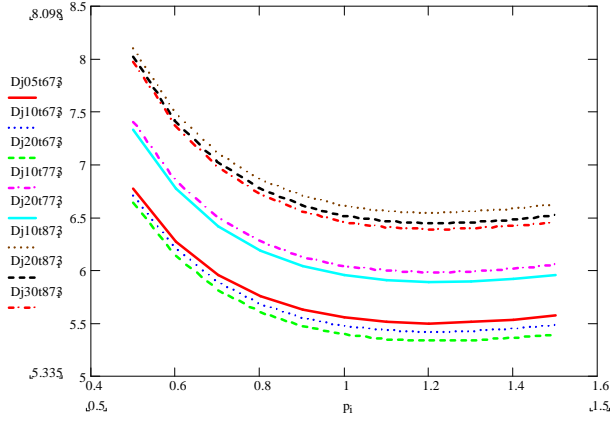


Рис. 2 Залежність ширини ОКП для газового середовища N75Ar25 від тиску та інших параметрів технологічного режиму

В якості змінних параметрів технологічного режиму вибрані тиск від 0,5 до 1,5 тора, густина струму від 5 до 30 А/м², температура від 400 до 600° С. Аналіз наведених графіків показує, що густина струму практично не впливає на ширину ОКП. Так при зміні густини струму в межах відзначеного вище діапазону максимальна різниця значень ширини ОКП складає 3,84%, а в реально застосовуваному діапазоні (10...20 А/м²) – всього 1,51%. У той же час інші параметри, які не відносяться до групи енергетичних, забезпечують різницю ширин ОКП біля 30%. Із зазначеного слідує, що всі енергетичні характеристики технологічного режиму крім міжелектродної напруги U практично не впливають на максимальний енергетичний рівень першого від катода ПВП.

Як зазначалось вище, до групи показників, котрі характеризують процеси утворення нітридів, віднесені:

F_N – загальний ВЕФ утворення нітридів,

F_{NA} – атомарна складова загального ВЕФ утворення нітридів,

F_{NM} – те ж, молекулярна.

Послідовність формування цих характеристик на прикладі загального ВЕФ утворення нітридів зводиться до наступного. В зв'язку з тим, що сам процес формування ЕСПП алгоритмічно складний і базується на значній кількості теоретичних викладок [1, 2], отримання компактного аналітичного виразу практично неможливе, а з огляду на його громіздкість і недоцільне. Простішим і прийнятним в практичному плані виявився метод розбиття ЕСПП на окремі енергетичні діапазони з подальшим пошаровим аналізом всіх найбільш характерних субпроцесів при досліджуваному рівні енергії, формуванням кількісного складу падаючого потоку за критерієм енергії. Крім того, сепарація часток падаючого потоку за енергетичними рівнями враховувала зміну енергетичних порогів утворення нітридів, причому - для компонентів поверхні різного типу. Тому основою ВЕФ утворення нітридів є первинний елемент ВЕФ утворення нітридів, котрий розраховується для енергетичного шару ЕСПП з індексом i (загальне число енергетичних шарів z_c) стосовно компонента поверхні k (загальне число компонентів поверхні z_k)

$$F_{Nik} = 2j_{evMk}(e_i) \int_{\theta_{minMki}}^{\theta_{maxMki}} \cos q \, dq + j_{evAk}(e_i) \int_{\theta_{minAki}}^{\theta_{maxAki}} \cos q \, dq, \quad (8)$$

де $j_{evMk}(e_i)$ – складова відносного розподілу молекулярних часток азоту (числа молекулярних часток, які володіють енергією в діапазоні $e_i - e_i + \Delta e$, віднесене до загального числа іонів) стосовно певного компонента поверхні k ,

$j_{evAk}(e_i)$ – аналогічно, відносного розподілу атомарних часток стосовно того ж елемента поверхні k ,

$\theta_{minMki}, \theta_{maxMki}, \theta_{minAki}, \theta_{maxAki}$ – граничні значення кутових параметрів, які забезпечують обмеження часток енергії рівня e_i , переданих частці поверхні і достатніх для утворення нітриду сорту k .

Складові відносного розподілу визначаються відповідно для молекулярного азоту

$$j_{evMk}(e_i) = P_{ck} j_{evM}(e_i), \quad (9)$$

для атомарного

$$j_{evAk}(e_i) = P_{ck} j_{evA}(e_i), \quad (10)$$

де $j_{evM}(e_i), j_{evA}(e_i)$ – відносні розподіли молекулярних та атомарних часток азоту для діапазону енергій

$\varepsilon_i - \varepsilon_i + \Delta_e$ (всі відносні розподіли ε відношенням числа часток падаючого потоку певного типу з енергією в означеному діапазоні до загального числа іонів $j_{ev} = j_e / j_+ = j_e / 0,624 \cdot 10^{19} j$, котре відповідає певній густині струму j),

P_{ck} – ймовірність сутички частки газу з компонентом поверхні сорту k ,

$$P_{ck} = \frac{K_{ak} s_k}{\sum_{k=1}^{Z_k} K_{ak} s_k}, \quad (11)$$

де K_{ak} – атомарний вміст компонента поверхні сорту k ,

s_k – площа поперечного перетину компонента поверхні сорту k .

Атомарний вміст компонента визначається через його масовий вміст та атомарну масу

$$K_{ak} = \frac{K_{mk} / m_{ak}}{\sum_{k=1}^{Z_k} \frac{K_{mk}}{m_{ak}}}. \quad (12)$$

Передумовою виникнення реакції утворення нітриду буде відбір тільки тієї частини падаючого потоку, яка, по-перше може бути компонентом майбутніх нітридів, по-друге може передати контрчастці енергію ε_d , котра обмежена величинами: з мінімальної сторони енергією утворення відповідного нітриду ε_d ; з максимальної – енергією, при якій контрчастка покидає поверхню (розпорошується), в якості якої прийнята енергія сублімації ε_{sb} . Крім того, якщо частка падаючого потоку є молекулою і для утворення нітриду вона попередньо повинна дисоціювати, то мінімальна енергетична межа повинна враховувати також енергію дисоціації молекули ε_d . Ця передумова обов'язкова, але недостатня, тому, як зазначалось вище, за допомогою ВЕФ утворення нітридів можна проводити тільки якісний аналіз, хоча і в такій постановці стає можливим прогнозування кінцевих результатів обробки. Далі в дію вступають ймовірнісні характеристики процесу утворення нітридів, які залежать від конкретних миттєвих ситуацій взаємодії часток. Певну добавку кількості нітридів дасть також процес активації адсорбованих поверхнею атомів азоту за рахунок передачі їм енергії, достатньої для проведення реакції утворення нітридів, після бомбардування їх частками падаючого потоку, незалежно від того є вони азотом, чи ні. Ці характеристики класично відображаються перетином процесу, котрий може визначатись експериментально.

Ймовірнісні характеристики передачі енергії при сутичці часток азоту з компонентами поверхні з врахуванням енергетичних рамок процесу утворення нітридів, як зазначалось вище, трансформуються в граничні значення кутових параметрів формули (8).

Введемо поняття мінімальної для молекулярних іонів азоту ε_{minMk} , аналогічно – для атомарних ε_{minAk} та максимальної ε_{maxk} енергетичних меж утворення нітридів $e_{minMk} = e_d + e_{dk}$, $e_{minAk} = e_{dk}$, $e_{maxk} = e_{sbk}$. Позначимо K_{enk} – коефіцієнт енергопередачі, який визначається в залежності від характеру сутички частки газового середовища з компонентом поверхні k – го сорту. Для пружної сутички

$$K_{enk} = \frac{4m_v m_k}{(m_v + m_k)^2}, \quad (13)$$

для непружної, яка найбільш характерна для ситуації, коли частка падаючого потоку зустрічається з нерухомим елементом поверхні

$$K_{enk} = \frac{m_k}{m_v + m_k},$$

де m_v, m_k – маси відповідно налітаючої та поверхневої часток.

Якщо виходити з того, що молекулярні іони переважно та найбільш реально можуть вступати в реакцію утворення нітридів тільки за схемою попередньої дисоціативної рекомбінації, то умова достатнього енергетичного забезпечення можливості реакції утворення нітридів полягає в тому, що енергія, яка передається з врахуванням кута θ передачі енергії при зіткненні часток падаючого потоку та поверхні повинна знаходитись в межах

$$2e_{dk} \leq K_{enk} e_i \cos^2 q - e_d \leq e_{sbk}. \quad (14)$$

Тоді обмеження за значенням мінімальної енергії $2e_{dk} \leq K_{enk} e_i \cos^2 q - e_d$ максимально допустимого кута передачі енергетичного імпульсу

$$0 \leq q_{\max Mki} = \arccos \left(\frac{2e_{dk} + e_d}{K_{enk} e_i} \right)^{0.5} \leq \frac{p}{2}. \quad (15)$$

Обмеження за значеннями максимальної енергії та відповідно мінімально допустимого кута

$$K_{enk} e_i \cos^2 q - e_d \leq e_{sbk}, \quad (16)$$

$$0 \leq q_{\min Mki} = \arccos \left(\frac{e_{sbk} + e_d}{K_{enk} e_i} \right)^{0,5} \leq q_{\max Mki}. \quad (17)$$

Аналогічно для атомарних іонів

$$e_{Дк} \leq K_{enk} e_i \cos^2 q \leq e_{sbk}, \quad (18)$$

$$0 \leq q_{\max Aki} = \arccos \left(\frac{e_{Дк}}{K_{enk} e_i} \right)^{0,5} \leq \frac{p}{2}, \quad (19)$$

$$0 \leq q_{\min Aki} = \arccos \left(\frac{e_{sbk}}{K_{enk} e_i} \right)^{0,5} \leq q_{\max Aki}. \quad (20)$$

Важливе зауваження до формул (17), (19), (20) полягає в тому, що вираз в дужках не повинен перевищувати одиницю, тобто в разі, якщо відношення енергій більше одиниці, то його слід приймати рівним одиниці.

Загальний ВЕФ утворення нітридів є сумою первинних елементів. Область, в межах якої додаються всі первинні елементи ВЕФ, залежить від того, який ВЕФ утворення нітридів потрібно отримати. Якщо досліджуються тільки нітриди певного сорту, тобто на основі одного з нітридоутворюючих компонентів поверхні, то потрібно скласти суму по всіх енергетичних рівнях тільки для цього компонента.

$$F_{Nk} = \sum_{i=0}^{Z_c-1} F_{Nik} \quad (21)$$

Повний ВЕФ утворення нітридів є сумою первинних елементів по всьому спектру компонентів

$$F_N = \sum_{k=1}^{Z_k} F_{Nk} = \sum_{i=0}^{Z_c-1} \sum_{k=1}^{Z_k} F_{Nik}. \quad (22)$$

Для поліфазних процесів, які складаються з макрофаз зі стабільним живленням – періодів, тривалість яких порівнянна з загальною тривалістю процесу модифікації, а енергетичні характеристики на протяжні фази з певним допуском незмінні, модель аналітичних показників повинна включати додатково до зазначених вище ще одну змінну – час. В цьому випадку для кожної фази визначається повний ВЕФ утворення нітридів. Загальний, умовно названий динамічним, енергетичний фактор (ДЕФ) є сумою ВЕФ всіх фаз, загальна кількість яких Z_ϕ , з врахуванням долі тривалості кожної фази в загальній тривалості модифікаційного процесу.

$$F_{DN} = \sum_{f=0}^{Z_\phi} F_{N\Phi} \frac{t_f}{\sum_{f=0}^{Z_\phi} t_f}, \quad (23)$$

де f – індекс макрофази,

t_f – тривалості макрофаз.

Задача формування аналітичної моделі відображення утворення нітридів за допомогою системи характеристик значно ускладнюється для поліфазних процесів, які сформовані мікрофазами, в тому числі – зі змінним живленням. На рис. 3, 4 показано порівняння ЕСПП для різних параметрів технологічного процесу, причому комбінації умов підібрані такими, щоб змінювались тільки енергетичні характеристики режимів. На рис. 3 представлені ЕСПП при різних значеннях напруги розряду та тискові в розрядній камері 0,7 тора. З рис. 3 слідує, що при зменшенні напруги зменшуються максимальні значення енергетичного спектру (на рисунку від 105 еВ при напрузі 500 В до 65 еВ при напрузі 300 В, графіки в області високих енергій в послідовності зменшення напруги зміщуються з права на ліво). Крім того зменшення напруги призводить до росту відносної кількості часток з середньою та низькою енергіями. В області низьких енергій, яку в основному формують швидкі нейтральні компоненти та важкі іони, наприклад - аргону, спостерігається екстремальний характер впливу напруги розряду на величину відносних значень спектру (відносність, як зазначалось вище пов'язана з тим, що на графіках ЕСПП приведені не абсолютні значення числа часток, котрі мають певну енергію, в їх відношення до кількості заряджених часток, якими є іони). Спочатку при переході від 500 В до 400 В відносні значення спектру зменшуються, а потім при переході до 300 В збільшуються.

На рис. 4 показані суміщені графіки ЕСПП при тих же значеннях напруги розряду (500, 400 і 300 вольт), але і при двох значеннях густини струму – 10 А/м² і 20 А/м², всього шість спектрів, причому криві товстими лініями відповідають густині струму 10 А/м², тонкими - 20 А/м². Взаємне розташування спектрів

по напрузі – аналогічно рис. 3. Рис. 4 відповідає тискові в розрядній камері 0,85 тора, тому із співставлення рисунків 3 та 4 по цьому факторові можна зробити висновок, що зменшення тиску призводить до підвищення енергетичних порогів. Пояснення цьому очевидне, виходячи з того, що зі зменшенням тиску збільшується довжина вільного пробігу частки, оскільки при цьому зменшується кількість контрчасток сутічок. Відповідно зростає доля падіння напруги, яка припадає на перший від катода прошарок вільного пробігу.

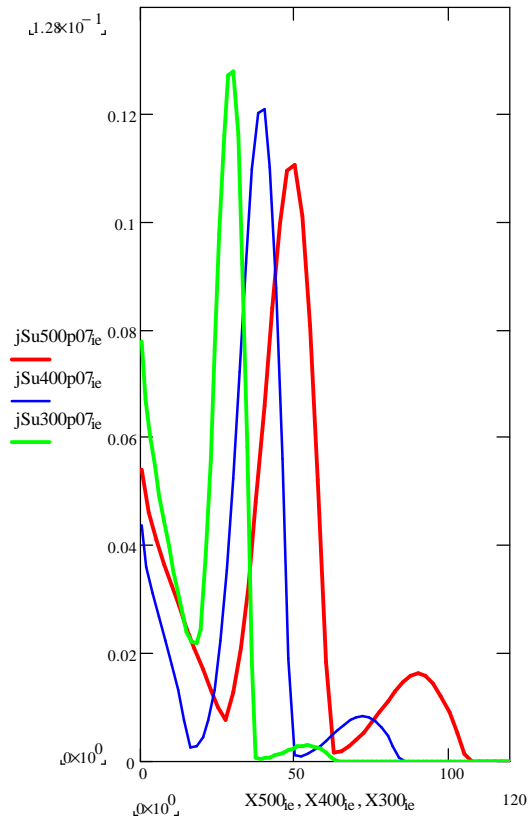


Рис. 3 Енергетичні спектри падаючого потоку в залежності від напруги розряду при тиску 0,7 тора

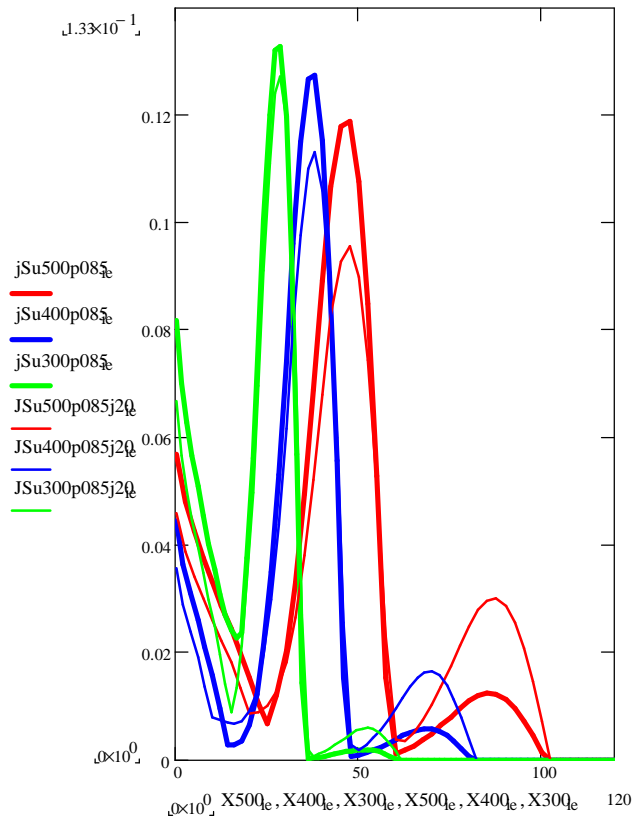


Рис. 4 Енергетичні спектри падаючого потоку в залежності від напруги та густини струму при тиску 0,85 тора

Порівняння відповідних графіків на рис. 4 (товстими та тонкими лініями, що відповідає густині струму 10 A/m^2 і 20 A/m^2) показує, що густина струму як характеристика, котра в основі своїй відображає кількісні параметри розряду, не впливає на енергетичні порого спектру, а призводить тільки до перерозподілу відносного числа часток по енергетичних рівнях. При цьому положення екстремумів розподілів часток в залежності від енергії практично не залежить від густини струму. Екстремальний характер впливу напруги розряду в області низьких енергій та підвищеної густини струму, зазначений вище, спостерігається і в означених умовах, хоча різниця тепер між графіками для різних значень напруги суттєво менша, практично ролі не грає. Таким чином, з рис. 3 та 4 логічно слідує висновок, що основним енергетичним параметром технологічного режиму, який впливає на енергетичні рівні взаємодії падаючого потоку з поверхнею є напруга розряду. В кількісному аспекті густина струму впливає на число часток падаючого потоку, що в певній мірі теж визначає хід окремих субпроцесів.

Дослідимо тезу стосовно впливу на поверхневі субпроцеси часток падаючого потоку, які безпосередньо не можуть утворювати нітриди (аргон та інші компоненти, крім азоту), але ударною дією в якійсь мірі сприяють дисоціативній рекомбінації молекул азоту, що знаходяться в адсорбційному шарі на поверхні. На рис. 5, 6 приведені графіки, аналогічні за змістом відповідно рис. 3 і 4. Різниця полягає тільки в тому, що на рис. 5 і 6 до енергетичного потоку включені лише молекулярний та атомарний азот у вигляді іонів та швидких нейтралей. Спостерігаються всі описані відносно рис. 3 і 4 тенденції стосовно впливу енергетичних чи базових параметрів технологічного режиму на якісні та кількісні характеристики ЕСПП. В області високих енергій, яка за визначенням формується в основному тільки частками азоту, практично не спостерігається змін по зрівнянню з рис. 3, 4. А от в області низьких енергій форма спектру помітно змінюється, оскільки це якраз діапазон аргону та нейтралів, котрі у значній мірі частіше утворюються за рахунок іонів аргону [1, 2]. Таким чином, вплив інших складових газових середовищ, крім азоту, на процеси утворення нітридів можна вважати несуттєвим.

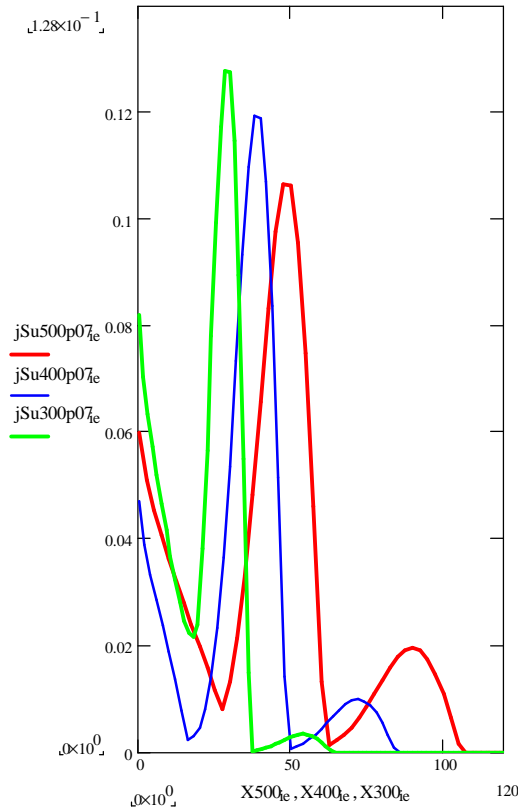


Рис. 5 Енергетичні спектри падаючого потоку компонентів азоту в залежності від напруги розряду при тиску 0,7 тора

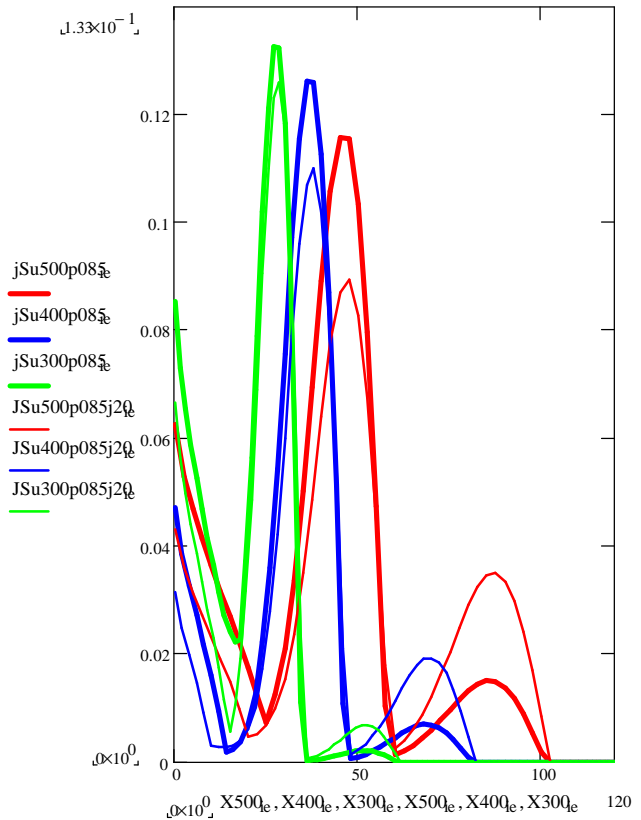


Рис. 6 Енергетичні спектри падаючого потоку компонентів азоту в залежності від напруги та густини струму при тиску 0,85 тора

Питання, які розглянуті вище, стосуються азотування в тліючому розряді з умовно незмінним живленням або процесу, який складається з макрофаз. Для випадку, коли технологія передбачає застосування режимів з мікрофазами принципи формування ЕСПП суттєво відрізняються. В цьому випадку неминучими є змінні енергетичні параметри технологічного режиму в часі, в тому числі – і за рахунок динамічних явищ. Насамперед на відміну від рис. 3-6 форма енергетичних спектрів принципово змінюється, оскільки він стає тримірним (з'являється координата часу τ). Крім того, змінний характер напруги розряду, як найвпливовішого енергетичного параметра режиму модифікації, призводить до міграції енергетичних порогів ЕСПП в різні моменти часу. Орієнтовна демонстраційна форма ЕСПП при нестационарному живленні розряду показана на рис. 7. Приклад, наведений на рис. 7, стосується варіанту циклічно комутованого розряду, коли напруга між електродами камери в часі змінюється по певному закону $U(\tau)$. Тоді всі енергетичні пороги ЕСПП будуть теж змінними

$$e_t = e_U(U(t)). \tag{24}$$

Орієнтовно в якості основи для визначення функції зв'язку енергетичних порогів зі змінною в часі напругою може бути використаною формула (1).

Аналогічно формулам (8) – (10) з врахуванням нової додаткової змінної – часу τ

$$F_{Nikt} = 2j_{evMkt}(e_i) \int_{q_{min Mki}}^{q_{max ki}} \cos q dq + j_{evAkt}(e_i) \int_{q_{min Aki}}^{q_{max ki}} \cos q dq, \tag{25}$$

де $j_{evMkt}(e_i)$, $j_{evAkt}(e_i)$ – складові відносного розподілу аналогічно поясненням до формули (8) для ЕСПП в певному проміжку часу $\tau_f - \tau_{f+1}$ (f – індекс проміжку часу при їх загальній кількості в досліджуваному інтервалі часу Z_τ).

$$j_{evMkt}(e_i) = P_{ck} j_{evMt}(e_i), \tag{26}$$

$$j_{evAkt}(e_i) = P_{ck} j_{evAt}(e_i). \tag{27}$$

ДЕФ утворення нітридів певного сорту для деякого моменту часу

$$F_{Nkt} = \sum_{i=0}^{Z_c-1} F_{Nikt} \tag{28}$$

ДЕФ утворення нітридів в деякий момент часу є сумою первинних елементів по всьому спектру

$$F_{Nt} = \sum_{k=1}^{Z_k} F_{Nkt} = \sum_{k=1}^{Z_k} \sum_{i=0}^{Z_c-1} F_{Nikt} . \quad (29)$$

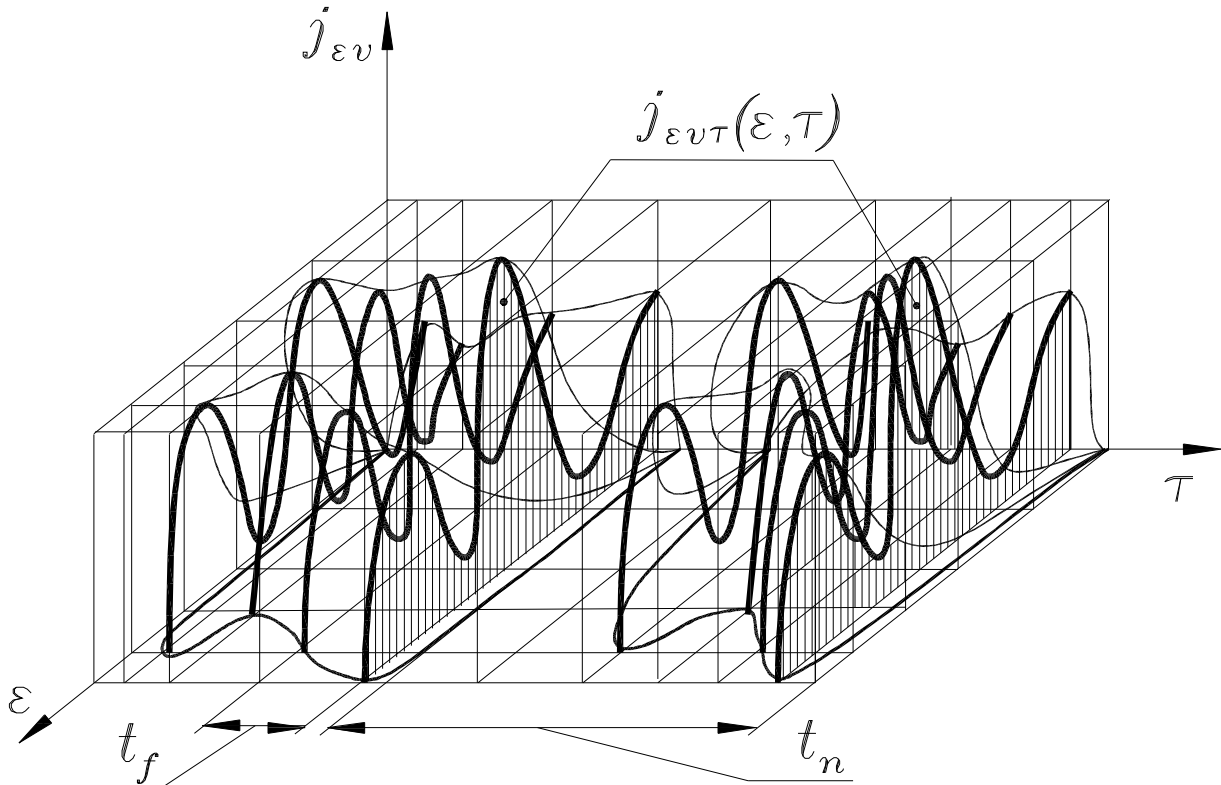


Рис. 7 Загальний вигляд енергетичного спектру падаючого потоку при нестационарному живленні розряду

Повний динамічний фактор утворення нітридів в процесах з нестационарним живленням

$$F_{DN} = \sum_{t=1}^{Zt} F_{Nt} \frac{t_f}{t_n} = \sum_{t=1}^{Zt} K_t \sum_{k=1}^{Z_k} F_{Nkt} = \sum_{t=1}^{Zt} K_t \sum_{k+1}^{Z_k} \sum_{i=0}^{Z_c-1} F_{Nikt} , \quad (30)$$

де $K_t = t_f / t_n$, t_f – тривалість досліджуваного інтервалу часу, t_n – період циклу комутації розряду (див. рис. 7).

Висновок. Викладені результати можуть становити теоретичну основу для розрахунку аналітичних критеріїв утворення нітридів при азотуванні в тліючому розряді з нестационарним живленням. В подальшому повний динамічний фактор утворення нітридів передбачається використати для аналізу впливу змінного характеру енергетичних параметрів технологічного режиму на один з головних результатів модифікації поверхні азотуванням.

Література

1. Пастух И. М. / И. М. Пастух Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде. - Харьков, Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», 2006. – 364 с.
- 1.1. Пастух И. М. Фізико-технічна обробка поверхні металів безводневим азотуванням в тліючому розряді: Дис...докт. техн. наук: 05.03.07. – Київ, 2008. – 675 с.
2. Пастух И. М. / И. М. Пастух, О. С. Здибель Проблематика моделювання процесу азотування в тліючому розряді // Вісник Хмельницького національного університету.-Хмельницький, 2005. - №1.–С. 7-11.
3. Пастух И. М. Енергетичний спектр падаючого потоку при азотуванні в тліючому розряді // Вісник Хмельницького національного університету. - Хмельницький, 2005. - №5, ч. 1, т. 1. – С. 5-15.
4. Пастух И. М. Взаємодія падаючого потоку з поверхнею при модифікації в тліючому розряді // Вісник Хмельницького національного університету. - Хмельницький, 2005. - №6, т. 1. – С. 185-194.
5. Пастух И. М. Поверхневі процеси при азотуванні в тліючому розряді // Вісник Хмельницького національного університету. - Хмельницький, 2006. - №1. – С. 130-142.
6. Пастух И. М. Енергетичний аналіз моделей азотування в тліючому розряді // Вісник Хмельницького національного університету. - Хмельницький, 2006. - №5. – С. 7-14.
7. Пастух И. М. / М. В. Лук'янюк, В. О. Курская Класифікаційні критерії процесів азотування в

тліючому розряді з нестационарним живленням. – Хмельницький: Вісник ХНУ;- 2011;- №5; С. 10-13.

8. Пастух І. М. / І. М. Пастух, О. С. Здибель Практична апробація положень теорії азотування в тліючому розряді // Вісник Хмельницького національного університету. - Хмельницький, 2007. - №1. – С. 7-25.

9. Пастух І. М. / М. В. Лук'янюк, В. О. Курская Перспективи керування формування поверхневих трибо технічних систем при азотуванні в тліючому розряді з нестационарним живленням. – Хмельницький: Вісник ХНУ;- 2011;- №6; С. 114-119.

Статтю представляє: д.т.н. Пастух І.М.

Надійшла: 20.02.2012 р.

УДК 621.791.754

О.О. АБРАМОВ, В.В. ЗАВГОРОДНИЙ, А.А. ВИЧАВКА

Хмельницький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ ВОЛОГОСТІ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ НА ПРОБИВНИЙ ЗАГОР І ПАРАМЕТРИ ЕЛЕКТРИЧНОГО РОЗЯДУ МІЖ МІДНИМИ ЕЛЕКТРОДАМИ

Представлені результати виконаної роботи з визначення співвідношення величин максимальних проміжків між мідними струмоведучими електродами, які пробиваються електричним розрядом за напруги 80 В у середовищі вуглекислого газу різної вологості. Наведені значення відносного пробивного зазору, напруги пробую і струму електричних розрядів у міжелектродних проміжках.

The paper represents results of the work aimed at finding relationship of values of the maximal spaces between conductive copper electrodes which are broken through by electric discharge under 80 V voltage in carbon dioxide medium having various humidity. The values are stated for relative break through gap, breaking through voltage and currents of electric charges in spaces between electrodes.

Ключові слова: вуглекислий газ, вологість, електричний розряд, пробивний зазор.

Вступ

Склад і стан газового середовища, яке застосовується для захисту зони механізованого дугового зварювання, надають значний вплив не тільки на якість формованих зварних з'єднань, але і на працездатність зварювальних пальників і, перш за все, наконечників їх струмопідвідних мундштуків.

Відомо, що при дуговому зварюванні металевих матеріалів широке застосування знайшли вуглекислий газ та його суміші з аргоном (завичай 20–18% вуглекислого газу і 80–82 % аргону). Приведені гази мають неоднакові властивості і, зокрема, різний опір електричному пробую за наявності різниці потенціалів між елементами електричного ланцюга. Такими елементами при механізованому зварюванні плавким електродом у середовищі вуглекислого газу є наконечник струмопідвідного мундштука зварювального пальника (наконечник служить анодом) і рухомий по його поверхні в зону зварювання електродний дріт.

При помітному зношуванні наконечника зварювального пальника різко послаблюється контакт поверхні його отвору з електродним дротом, внаслідок чого в зазорі, що утворюється між ними, виникає іскріння [1–3]. Якщо іскріння набуває систематичний характер, то воно приводить до виділення значної теплової енергії на поверхні отвору наконечника, розм'якшенню, розплавленню і навіть випаровуванню її деяких ділянок. Все це викликає значний нагрів і посилення електроерозійного зношування поверхні наконечника [2; 4]. Руйнуюча дія електроерозії на наконечник зварювального пальника підвищується зі зменшенням електричної стійкості газового середовища, внаслідок чого зростає величина пробивного зазору, кількість самих розрядів стає більше, і вони охоплюють значні площі.

У літературі є суперечливі відомості про напругу, достатню для пробую повітряного проміжку між поверхнею отвору наконечника і електродним дротом струмопідвідного мундштука. У роботі [5] стверджується, що пробой невеликих повітряних проміжків при напрузі між електродами менше 250 В може виникати тільки при замиканні цього проміжку великими або дрібними механічними частинками. Автор [6] вважає, що до реалізації початку іскрового розряду можуть призводити також утворення «контактних містків». По результатам досліджень [7] величина безконтактного пробую повітряного міжелектродного проміжку при напрузі менше 300 В знаходиться в межах від 10^{-6} до 10^{-3} см і залежить від стану поверхні контактуючої пари. Проте автори [8] вважають, що для виникнення електричного розряду між контактами у повітрі мінімально необхідними є струм 0,5 А і напруга 15–20 В.

Величина напруги пробую залежить також від роду газу і його стану. У літературі [9] наведені значення критичної напруги, достатні для реалізації пробую проміжку між струмопідвідними матеріалами в деяких газах (у тому числі вуглекислому), які можуть знаходитися в зварювальній зоні (табл. 1).

Залежно від області застосування, а також за фізико-хімічними показниками двооксид вуглецю газоподібний й рідкий (CO_2) згідно ГОСТ 8050-85 випускають трьох марок: зварювальний (не менш 99,5 % CO_2), харчовий (не менш 98,8 % CO_2) і технічний (не менш 98,5 % CO_2). Для зварювання повинні

застосовуватися тільки зварювальний і харчовий двооксид вуглецю. Їх склад строго регламентується. Тем не менш при відхиленні технологічного процесу отримання газу або при застосуванні технічного сорту вуглекислий газ у балонах може вміщувати значну кількість вологи, яка при зварюванні буде насичувати рідкий метал воднем і приводити до утворення тріщин і пір у зварних з'єднаннях. Крім того, присутність вологи в вуглекислому газі повинна негативно відобразитися на працездатності наконечників струмопідвідних мундштуків зварювальних пальників, тому що вона знижує електроопір газових середовищ і, слідові, сприяє інтенсифікації електроерозійних процесів.

Таблиця 1

Напруга пробую деяких газів відносно повітря при однаковій вологості

Газ	Відносна пробивна напруга	Газ	Відносна пробивна напруга
SF ₆	2,3–2,5	N ₂	1,0
SO ₂	1,9–2,3	CO ₂	0,9

Проте дані про електричну стійкість вуглекислого газу при його різній вологості, а також величині пробивного зазору в цьому газі при зварювальних напругах в літературі відсутні. Тому визначення таких даних а також даних про особливості прояву електричних розрядів в зоні контакту поверхні наконечника з електродним у вуглекислому газі, на наш погляд, є актуальною задачею.

Методика і результати дослідження

Для з'ясування впливу вологості вуглекислого газу на величину пробивного зазору між мідними електродами, що імітують поверхні отвору мідного наконечника струмопідвідного мундштука зварювального пальника та електродного дроту, спроектована і виготовлена наступна дослідна установка (рис. 1).

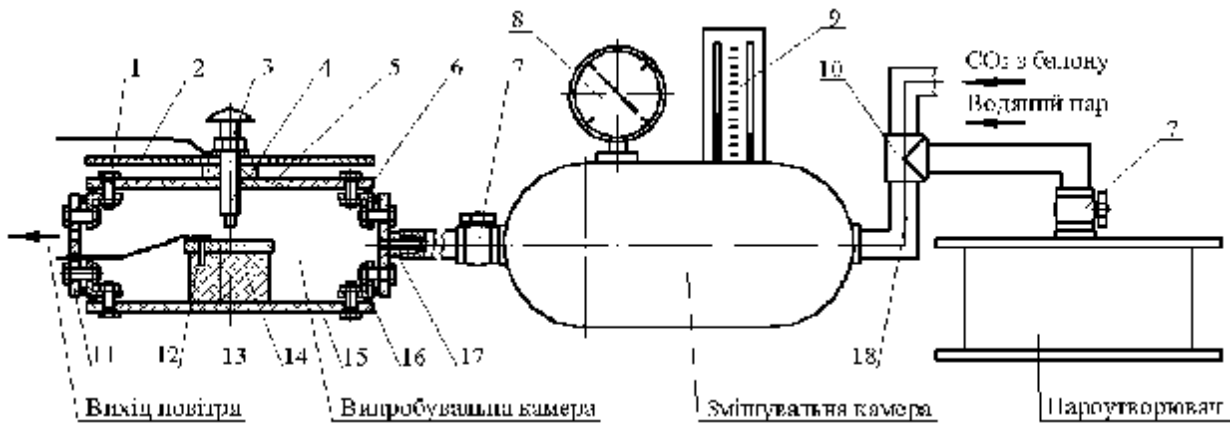


Рис. 1. Схема дослідної установки для визначення пробивного зазору

Установка складається з чотирьох основних частин: випробувальної і змішувальної камер, пароутворювача і балону з вуглекислим газом (останній на рисунку не показаний). Корпус випробувальної камери виконаний у вигляді прямокутного паралелепіпеду розміром 160×160×80 мм з кутків 16. До корпусу з допомогою болтів 1 кріпляться верхня 5, нижня 15 гетинаксові кришки і бічні стінки 11. Для забезпечення можливості безпосереднього нагляду за виникненням розряду бічні стінки виготовлені з плексигласу. У середині нижньої кришки до неметалевої підставці 14 за допомогою гвинта 12 кріпиться нижній електрод – мідна пластина 13 і клема для підведення до ній потенціалу зі знаком (-).

Підставка 14 приклеєна до кришки епоксидною смолою. Для забезпечення герметичності камери між її кришками й корпусом у камері передбачено ущільнення 6 з пористої гуми. До верхньої кришки гвинтами прикріплена текстолітова шайба (на схемі не позначена), в яку вставлена сталеві гайка (на схемі не показана) і залита епоксидною смолою. У гайку ввернуто сталеві шпилька 4 з дуже дрібним різьбленням М8×0,5, до якої приєднана електрична клема зі знаком (+). До нижнього торця шпильки за допомогою різьблення кріпиться верхній електрод – штир (на схемі не позначений) довжиною 10 мм і діаметром 5 мм із міді М1. При обертанні шпильки штир має можливість рухатися до мідної пластини й у кінцевій точці впертися в неї. У такий спосіб забезпечується електричний контакт між двома мідними деталями. Вибір міді у якості матеріалу для випробувань зв'язано з тим, що у зварювальному наконечнику електричний контакт становить між самим наконечником, виготовленим з міді, та покритим міддю зварювальним дротом.

На верхню частину шпильки через просвердлений отвір насаджений вимірювальний диск 2, якій за допомогою притисної гайки 3 підтискується до клеми. На верхню частину вимірювального диска нанесений лімб у вигляді окружності, розділеної на 72 частини для того, щоб ціна розподілу однієї частини становила 5°. При повороті вимірювального диска на один розподіл шпилька зі штирем переміщується на 0,0069 мм. Таким чином, забезпечується можливість одержувати зазори величиною порядку десятих і сотих

часток міліметра.

У випробувальну камеру суміш вуглекислого газу й водяного пару певної вологості надходила зі змішувальної камери – сталевій ємності об'ємом 20 літрів, оснащеної приладами для вимірювання тиску (манометром 8) і вологості (психрометром 9). Вуглекислий газ відбирався зі стандартного балону.

Джерелом водяної пари служив пароутворювач. Нагрів води до пари в пароутворювачі здійснювався газовим полум'ям. Для з'єднання випробувальної й змішувальної камер, балону і пароутворювача між собою використовувалися гумові сполучні шланги 18, штуцер 17 і трійник 10. Регулювання величини подачі водяної пари й суміші виконувалося за допомогою кульових кранів 7.

Оскільки зварювання в середовищі вуглекислого газу здійснюється на постійному струмі зворотної полярності, для експерименту в якості джерела живлення вибрали зварювальний випрямляч ВКСМ-1000. Електрична схема підключення всіх складових від джерела живлення при дослідженні величини пробивного зазору між електродами у випробувальній камері представлена на рис. 2. До складу схеми крім випрямляча входять чотири послідовно включених баластових реостати РБ-302 для зниження струму короткого замикання (на схемі позначені РБ), вольтметр й амперметр.

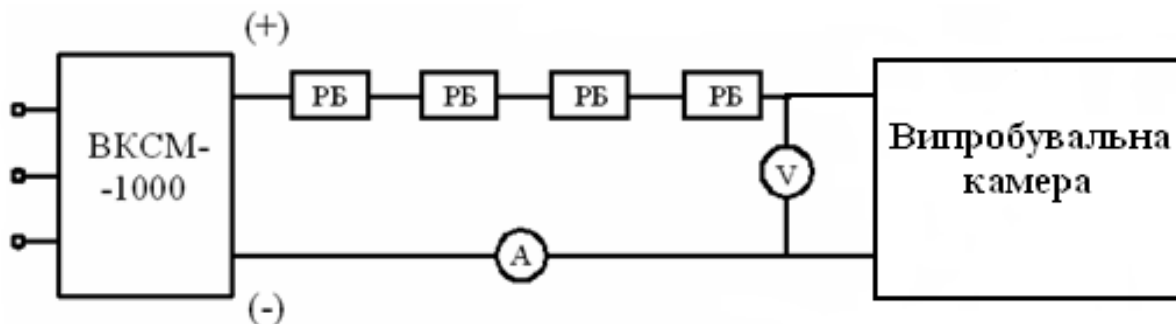


Рис. 2. Електрична схема із зображенням випробувальної камери для визначення величини пробивного зазору

Для визначення пробивного проміжку між електродами у середовищі вологого вуглекислого газу він на шляху з балону спочатку змішувався з паром із пароутворювача у трійнику, а потім подавався в змішувальну і випробувальну камери для витіснення з них повітря. Після такого «промивання» краник 7 на випробувальній камері, редуктор 8 на балоні і кран 7 пароутворювача (рис. 1) переводилися в закриті положення. У змішувальній камері вимірювалася вологість вуглекислого газу (така вологість утворювалася також у випробувальній камері), після чого на клемі подавалася напруга джерела живлення для визначення пробивного проміжку.

В першу чергу, на установці проведено визначення пробивного проміжку між електродами у камері з вуглекислим газом вологістю 60 % (прийнятий за еталон) на підставі показчиків сухого й вологого термометрів психрометра по id – діаграмі. Для цього до електродів, розташованих на клемі пристрою й валику повороту вимірювального диска, з випрямляча подавалася напруга 80 В. При зближенні електродів на деяку величину у газовому просторі між ними виникав пробій. Сигналом до виникнення цього явища служили поява струму в ланцюзі та його реєстрація амперметром, а також зниження напруги, яка фіксувалася мілівольтметром.

Всі гази випробувалися на пробивний зазор по чотири рази, при цьому фіксувалися напруга пробією і струм розряду. Напруга в момент пробією при випробуваннях коливалася від 35 до 55 В, сила струму розряду – в межах 5–20 А.

За отриманими результатами для кожного з газів розраховувалися середні значення контрольованих параметрів. Для порівняння стійкості газу різної вологості в електричному полі величина міжелектродного проміжку, при якому здійснювався пробій вуглекислого газу вологістю 60 %, була прийнята за одиницю. Стійкість вуглекислого газу з іншою вологістю оцінювалася порівнянням зі стійкістю вуглекислого газу з вологістю 60 % – відносним пробивним зазором k , який розраховувався за формулою

$$k = \frac{\Delta l_{\Gamma}}{\Delta l_{\Pi}}, \quad (1)$$

де Δl_{Γ} – величина пробивного зазору досліджуваного газу;

Δl_{Π} – величина пробивного зазору вуглекислого газу з вологістю 60 %.

Результати випробувань і розрахунків представлені в табл. 2.

Дані табл. 2 показують, що підвищення вологості вуглекислого газу, що знаходиться у проміжку між мідними електродами, з 60% до 100 % призводить до зменшення його опору електричному пробією у 5 разів і зменшення напруги пробією в 1,6 рази. У той же час підвищення вологості газу у названому діапазоні супроводжується збільшенням величини струму розряду у 4 рази.

Параметри електричного розряду у вуглекислому газі різної вологості

Склад досліджуваного газу	Вологість газів ψ , %	Відносний пробивний зазор k	Напруга джерела живлення U , В	Напруга пробою U , В	Струм розряду I_p , А
CO ₂	60	1,0	80	55	5
CO ₂ + водяний пар	75	2,1	80	50	8
CO ₂ + водяний пар	85	2,9	80	45	10
CO ₂ + водяний пар	95	4,1	80	40	15
CO ₂ + водяний пар	100	5,0	80	35	20

Висновки

Встановлені співвідношення величин пробивних зазорів між мідними струмоведучими електродами у середовищі вуглекислого газу різної вологості. Визначено, що підвищення вологості цього газу з 60 % до 75, 85 і 100 % при напруги 80 В приводить до зменшення його стійкості проти виникнення електричних розрядів відповідно у 2,1; 2,9; 4,1 і 5 рази, що в умовах зварювання буде приводити до інтенсифікації електроерозії і підвищення зносу струмопідвідних наконечників зварювальних пальників. Виміряні значення параметрів електричних розрядів.

Література

1. Бригидин В.Я. О работе токоподводящих наконечников при дуговой сварке / В.Я. Бригидин // Сварочное производство. – 1979. – № 8. – С. 20–21.
2. Чубуков А.А. Влияние износа наконечника на технологические параметры процесса сварки / А.А. Чубуков // Сварочное производство. – 1980. – № 1 – С. 26–27.
3. Дмитрик В.В. Токоподводящие мундштуки из порошковых материалов для сварочных горелок / В.В. Дмитрик, С.И. Притула. // Автоматическая сварка. – 2005. – № 3. – С. 44–47.
4. Воропай Н.М. Технологические свойства омедненной сварочной проволоки / Н.М. Воропай, М.В. Бринюк. – 2002. – № 4 (26). – С. 16–20.
5. Афанасьев Н.В. Влияние материала упрочняющего электрода на износостойкость упрочненного слоя и сопряженной детали / Афанасьев Н.В., Головейко А.Г., Путан Л.А. – Минск, 1955. – С. 99–108.
6. Стекольников И.С. Исследование начальной стадии разряда при очень малых электродных промежутках / Стекольников И.С. – М., изд-во АН СССР, ОНТ, 1950, № 7. – С. 985–995.
7. Намитоков К.К. Некоторые вопросы физики процесса электрической эрозии металлов в низковольтных импульсных разрядах / Намитоков К.К. – М., Изд-во АН СССР, 1963. – С. 56–68.
8. Электрическая эрозия силовых контактов и электродов / [Буткевич Г.В., Белкин Г.С., Ведешенков Н.А., Жаворонков М.А.]. – М. : «Энергия», 1978. – 256 с.
9. Таблицы физических величин / Под ред. И.К. Кикоина. – М. : Атомиздат, 1976. – 1004 с.

Рецензент: д.т.н. Диха О.В.
Надійшла 15.2.2012 р.

УДК 621

Г.Б. ПАРАСКА, Н.Г. СУРЬЯНИНОВ, Е.В. СЛАБЕНКО

Хмельницький національний університет

ПРИЛОЖЕНИЕ МЕТОДА ГРАНИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ К ЗАДАЧЕ ИЗГИБА ДЛИННОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

Исследуется модель цилиндрической оболочки, состоящей из бесчисленного множества поперечных изгибаемых элементарных полосок. Получены выражения для фундаментальных ортонормированных функций в совокупности с функциями Грина, которые вместе с вектором нагрузки будут использоваться для решения краевых задач изгиба.

There is investigated a model of cylindrical shell, constituted from innumerable set of cross-cut bendable elementary strips. There have been obtained statements for fundamental orthonormed functions with Green's functions, which up with the load vector will be used for solving boundary problems of bend.

Ключевые слова: метод граничных элементов, изгиб длинной цилиндрической оболочки

Как известно [2], напряженное состояние цилиндрической оболочки и соответствующая теория ее расчета существенно зависят от длины оболочки. В случае длинной оболочки, опертой по криволинейным краям и нагруженной произвольной плавно изменяющейся нагрузкой, ее напряженное состояние близко к балочному. При неравномерном распределении нагрузки вдоль оболочки и по сечению такой подход дает

неверные результаты, и нужно учитывать деформацию контура. Это относится и к случаю закрепления продольных краев оболочки.

Для длинной открытой цилиндрической оболочки можно пренебречь изгибающим моментом в продольном направлении, поперечной силой и крутящим моментом, поэтому вектор состояния такой оболочки \bar{P} можно представить в виде

$$\bar{P}^T = \|W, W', M, Q, S, N, U, V\|. \quad (1)$$

Соответствующая модель оболочки разработана В.З. Власовым [1] (рис. 1).

В соответствии с этой моделью оболочка состоит из бесчисленного множества поперечных изгибаемых элементарных полосок, связанных между собой системой стержней с шарнирными соединениями. Каждый такой стержень может передавать только нормальные N_1 и сдвигающие S усилия.

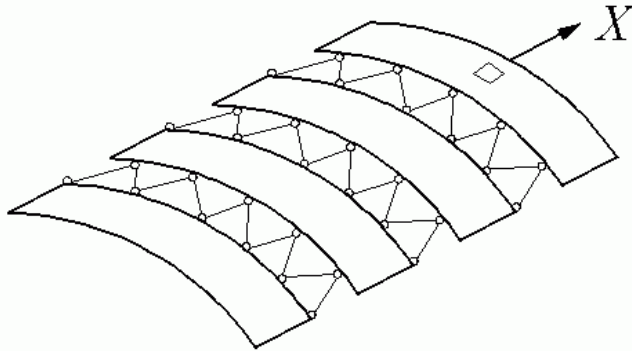


Рис. 1. Модель В.З. Власова

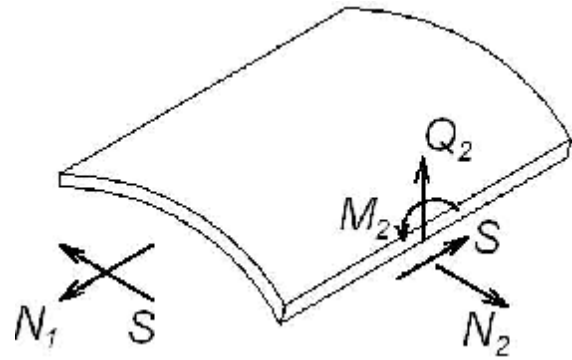


Рис. 2. Усилия и перемещения в элементе оболочки

Всего в векторе состояния (1) будут 4 усилия и 4 перемещения (рис. 2).

С учетом сказанного упрощаются все уравнения общей теории оболочек.

Так, уравнения равновесия имеют вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial N_1}{\partial b} + \frac{\partial S}{\partial q} + R p_1 = 0; \\ \frac{\partial N_2}{\partial q} + \frac{\partial S}{\partial b} + Q_2 + R p_2 = 0; \\ \frac{\partial Q_2}{\partial q} - N_2 + R p_3 = 0; \\ -R Q_2 + \frac{\partial M_2}{\partial q} = 0. \end{cases} \quad (2)$$

Геометрические уравнения:

$$\begin{cases} e_2 = \frac{1}{R} \left(\frac{\partial V}{\partial q} + W \right) = 0; \\ e_1 = \frac{\partial U}{R \partial b}; \\ g = \frac{1}{R} \left(\frac{\partial U}{\partial q} + \frac{\partial V}{\partial b} \right) = 0; \\ \kappa_2 = -\frac{1}{R^2} \left(-\frac{\partial V}{\partial q} + \frac{\partial^2 W}{\partial q^2} \right). \end{cases} \quad (3)$$

Физические уравнения:

$$\begin{cases} N_1 = E h e_1; \\ N_2 = D \kappa_2, \end{cases} \quad (4)$$

где h – толщина оболочки; $D = \frac{E h^3}{12}$ – цилиндрическая жесткость.

Уравнения (2)–(3) записаны в системе безразмерных координат b, q (рис. 3):

$$b = x / R; \quad q = s / R.$$

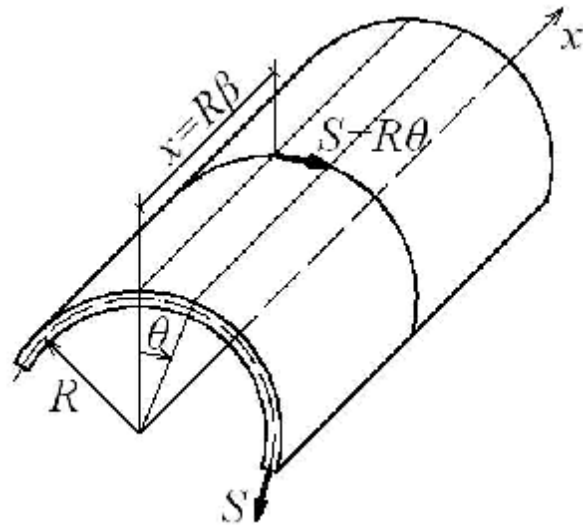


Рис. 3. Используемая система координат

Введем новую функцию F (аналог функции напряжений f в теории пластинок), через которую все параметры НДС оболочки выражаются в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} W = \frac{\partial^4 F}{\partial q^4}; \quad V = -\frac{\partial^3 F}{\partial q^3}; \quad U = \frac{\partial^3 F}{\partial b \partial q^2}; \\ e_1 = -\frac{1}{R} \frac{\partial^4 F}{\partial b^2 \partial q^2}; \quad \varkappa_2 = \frac{1}{R^3} \left(\frac{\partial^4 F}{\partial q^4} + \frac{\partial^6 F}{\partial q^6} \right); \\ N_1 = -\frac{Eh}{R} \frac{\partial^4 F}{\partial b^2 \partial q^2}; \quad S = \frac{Eh}{R} \frac{\partial^4 F}{\partial b^3 \partial q}; \\ N_2 = -\frac{Eh}{R} \left[\frac{\partial^4 F}{\partial b^4} + \frac{h^2}{12R^2} \left(\frac{\partial^6 F}{\partial q^6} + \frac{\partial^4 F}{\partial q^4} \right) \right]; \\ M_2 = \frac{D}{R^2} \left(\frac{\partial^6 F}{\partial q^6} + \frac{\partial^4 F}{\partial q^4} \right); \quad Q_2 = \frac{D}{R^3} \left(\frac{\partial^7 F}{\partial q^7} + \frac{\partial^5 F}{\partial q^5} \right); \quad g = \frac{\partial W}{\partial q}. \end{array} \right. \quad (5)$$

Преобразование уравнений (2)–(4) приводит к основному разрешающему уравнению задачи

$$\left(\frac{\partial^8}{\partial q^8} + 2 \frac{\partial^6}{\partial q^6} + \frac{\partial^4}{\partial q^4} \right) F + \frac{12R^2}{h^2} \frac{\partial^4 F}{\partial b^4} = 0. \quad (6)$$

Для решения задачи будем использовать численно-аналитический метод граничных элементов (ЧА МГЭ), основные положения которого и примеры применения к расчету различных систем подробно изложены в [3]. Концепция ЧА МГЭ предполагает, что исследуемая конструкция рассматривается как одномерный модуль, в то время как уравнение (6) содержит две переменных величины – b и q . Чтобы прийти к одномерной модели, используем вариационный метод Канторовича-Власова.

Будем искать функцию F в виде произведения двух функций:

$$F(b, q) = X(b)Y(q),$$

где $X(b)$ – функция, зависящая только от продольной координаты b , а $Y(q)$ – от координаты q .

Функция $X(b)$ может быть функцией прогиба простой балки с аналогичными условиями опирания и нагрузкой. В.З. Власов предложил использовать в качестве функций распределения фундаментальные функции поперечных колебаний балки, которые являются решением однородного дифференциального уравнения

$$\frac{d^4 Z}{db^4} - I^4 Z = 0,$$

где I – некоторый параметр, связанный с частотой собственных колебаний; в задаче об оболочке

$$I = \frac{Rm}{l},$$

где l – длина оболочки; R – радиус оболочки; m – характеристическое число, определяемое при постановке граничных условий.

Для получения более точного решения выражение функции F задают не одной балочной функцией, а рядом по фундаментальным балочным функциям:

$$F(b, q) = \sum X_n(b)Y_n(q), \quad (7)$$

где $X_n(b)$ – фундаментальная функция, выбранная для конкретных граничных условий и соответствующая определенному значению n .

С учетом (7) компоненты вектора состояния принимают вид:

$$\begin{cases}
W = \sum X_n(b)Y_n^{IV}(q); \\
U = -\sum X_n'(b)Y_n''(q); \\
V = \sum X_n(b)Y_n'''(q); \\
N_1 = -\frac{Eh}{R} \sum X_n''(b)Y_n''(q); \\
S = \frac{Eh}{R} \sum X_n'''(b)Y_n'(q); \\
N_2 = -\frac{Eh}{R} \left[\sum X_n^{IV}(b)Y_n(q) + \frac{h^2}{12R^2} \sum X_n(b)Y_n^{V1}(q) + \sum X_n(b)Y_n^{IV}(q) \right]; \\
M_2 = -\frac{D}{R^2} \sum \left[X_n(b)Y_n^{V1}(q) + X_n(b)Y_n^{IV}(q) \right]; \\
Q_2 = \frac{D}{R^3} \sum \left[X_n(b)Y_n^V(q) + X_n(b)Y_n^{V11}(q) \right].
\end{cases} \quad (8)$$

Выбранная функция не является решением уравнения (6), поэтому при подстановке нет тождественного равенства нулю левой части:

$$\sum \left[Y_n^8(q) + 2Y_n^6(q) + Y_n^4(q) + \frac{12R^2I^4}{h^2} Y(q) \right] X_n(b) \neq 0. \quad (9)$$

Следуя вариационному методу Канторовича-Власова, умножим (9) на $X_n(b)$ и проинтегрируем в интервале от $b = 0$ до $b = b_1 = \frac{l}{R}$.

Учитывая ортогональность функций $X_n(b)$, получим бесконечное число независимых дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами:

$$Y_n^{V111}(q) + 2Y_n^{V1}(q) + Y_n^{IV}(q) + \frac{12R^2I^4}{h^2} Y_n(q) = 0, \quad (10)$$

где $n = 1, 2, 3, \dots$

Характеристическое уравнение для (10) имеет вид:

$$t^8 + 2t^6 + t^4 + k = 0, \quad (11)$$

где $k = \frac{12R^2I^4}{h^2}$.

Аналогичным образом можно преобразовать выражения (8) для кинематических и статических факторов.

Характеристическое уравнение (11) имеет 8 корней:

$$t_{1-4} = \pm a_1 \pm i b_1; \quad t_{5-8} = \pm a_2 \pm i b_2. \quad (12)$$

Функцию $Y(q)$ запишем в виде

$$Y(q) = C_1\Phi_1 + C_2\Phi_2 + C_3\Phi_3 + C_4\Phi_4 + C_5\Phi_5 + C_6\Phi_6 + C_7\Phi_7 + C_8\Phi_8, \quad (13)$$

где $\Phi_1 - \Phi_8$ – гиперголо-тригонометрические функции:

$$\begin{cases}
\Phi_1 = cha_1 y \sin b_1 y; & \Phi_2 = cha_1 y \cos b_1 y; \\
\Phi_3 = sha_1 y \cos b_1 y; & \Phi_4 = sha_1 y \sin b_1 y; \\
\Phi_5 = cha_2 y \sin b_2 y; & \Phi_6 = cha_2 y \cos b_2 y; \\
\Phi_7 = sha_2 y \cos b_2 y; & \Phi_8 = sha_2 y \sin b_2 y.
\end{cases} \quad (14)$$

Константы $C_1 - C_8$ определим из соотношения

$$\bar{\Phi}_i(0)\dot{C}_i = \dot{P}_i(0), \quad i = 1, 2, \dots, 8. \quad (15)$$

Раскрывая (15), получим восемь алгебраических уравнений, образующих две независимые системы относительно наборов констант с четными и нечетными индексами.

Решение любой из этих систем в общем виде приводит к столь громоздким выражениям, что нецелесообразность такого подхода очевидна уже на данном этапе расчета. Если все же записать $C_1 - C_8$, непосредственно решая упомянутые системы уравнений, то последующий переход к выводу аналитических

выражений фундаментальных ортонормированных функций приведет к еще более сложным формулам.

В этой связи используемый нами при решении других задач традиционный подход [3, 4], когда аналитические зависимости основных компонентов алгоритма ЧА МГЭ (фундаментальные функции, функции Грина, векторы нагрузки) выражались непосредственно через корни характеристических уравнений и константы материала, здесь неприемлем. Поэтому с самого начала введем дополнительные обозначения, с учетом которых системы уравнений относительно констант с четными и нечетными индексами записываются в виде:

$$\begin{cases} H_{21}C_1 + H_{23}C_3 + H_{25}C_5 + H_{27}C_7 = W_0'; \\ H_{41}C_1 + H_{43}C_3 + H_{45}C_5 + H_{47}C_7 = Q_0; \\ H_{51}C_1 + H_{53}C_3 + H_{55}C_5 + H_{57}C_7 = S_0; \\ H_{81}C_1 + H_{83}C_3 + H_{85}C_5 + H_{87}C_7 = V_0. \end{cases} \quad (16)$$

$$\begin{cases} H_{12}C_2 + H_{14}C_4 + H_{16}C_6 + H_{18}C_8 = W_0; \\ H_{32}C_2 + H_{34}C_4 + H_{36}C_6 + H_{38}C_8 = M_0; \\ H_{62}C_2 + H_{64}C_4 + H_{66}C_6 + H_{68}C_8 = N_0; \\ H_{72}C_2 + H_{74}C_4 + H_{76}C_6 + H_{78}C_8 = U_0. \end{cases} \quad (17)$$

Коэффициенты H_{ij} в левых частях систем (16) и (17) представляют собой арифметические операторы (здесь мы их не приводим), которые легко программируются и вычисляются, но правые части этих систем – параметры вектора состояния оболочки. В соответствии с алгоритмом ЧА МГЭ [3], константы необходимо выразить в общем виде, как функцию параметров вектора состояния, что позволит получить аналитические выражения фундаментальных функций.

Рассмотрим решение системы (16) методом определителей.

Будем считать, что главный определитель этой системы вычислен (это можно сделать в любой соответствующей математической программе) т.е. представляет собой известное число, которое обозначим $\Delta_{неч}$. Определители $\Delta_{C_1}, \Delta_{C_3}, \Delta_{C_5}, \Delta_{C_7}$ также можно вычислить, раскладывая их по столбцу параметров правой части (16).

Решение системы (16) принимает вид:

$$\begin{cases} C_1 = \frac{1}{\Delta_{неч}} (\Delta_{W_0}^{(1)} W_0' - \Delta_{Q_0}^{(1)} Q_0 + \Delta_{S_0}^{(1)} S_0 - \Delta_{V_0}^{(1)} V_0); \\ C_3 = \frac{-1}{\Delta_{неч}} (\Delta_{W_0}^{(3)} W_0' - \Delta_{Q_0}^{(3)} Q_0 + \Delta_{S_0}^{(3)} S_0 - \Delta_{V_0}^{(3)} V_0); \\ C_5 = \frac{1}{\Delta_{неч}} (\Delta_{W_0}^{(5)} W_0' - \Delta_{Q_0}^{(5)} Q_0 + \Delta_{S_0}^{(5)} S_0 - \Delta_{V_0}^{(5)} V_0); \\ C_7 = \frac{-1}{\Delta_{неч}} (\Delta_{W_0}^{(7)} W_0' - \Delta_{Q_0}^{(7)} Q_0 + \Delta_{S_0}^{(7)} S_0 - \Delta_{V_0}^{(7)} V_0). \end{cases} \quad (18)$$

Аналогичным образом подойдем к определению набора констант C_2, C_4, C_6, C_8 :

$$\begin{cases} C_2 = \frac{1}{\Delta_{чет}} (\Delta_{W_0}^{(2)} W_0 - \Delta_{M_0}^{(2)} M_0 + \Delta_{N_0}^{(2)} N_0 - \Delta_{U_0}^{(2)} U_0); \\ C_4 = \frac{-1}{\Delta_{чет}} (\Delta_{W_0}^{(4)} W_0 - \Delta_{M_0}^{(4)} M_0 + \Delta_{N_0}^{(4)} N_0 - \Delta_{U_0}^{(4)} U_0); \\ C_6 = \frac{1}{\Delta_{чет}} (\Delta_{W_0}^{(6)} W_0 - \Delta_{M_0}^{(6)} M_0 + \Delta_{N_0}^{(6)} N_0 - \Delta_{U_0}^{(6)} U_0); \\ C_8 = \frac{-1}{\Delta_{чет}} (\Delta_{W_0}^{(8)} W_0 - \Delta_{M_0}^{(8)} M_0 + \Delta_{N_0}^{(8)} N_0 - \Delta_{U_0}^{(8)} U_0). \end{cases} \quad (19)$$

Переходим к определению фундаментальных ортонормированных функций.

$$W = A_{11}W_0 + A_{12}W_0' + A_{13}M_0 + A_{14}Q_0 + A_{15}S_0 + A_{16}N_0 + A_{17}U_0 + A_{18}V_0. \quad (20)$$

С другой стороны

$$W = Y^{IV} = C_1\Phi_1^{IV} + C_2\Phi_2^{IV} + C_3\Phi_3^{IV} + C_4\Phi_4^{IV} + C_5\Phi_5^{IV} + C_6\Phi_6^{IV} + C_7\Phi_7^{IV} + C_8\Phi_8^{IV}. \quad (21)$$

Подставим значения констант (18), (19) в выражение (21) и перегруппируем его относительно

параметров вектора состояния. Учитывая (20), коэффициенты при этих параметрах составят первые восемь фундаментальных функций:

$$\begin{aligned}
 A_{11} &= \frac{1}{\Delta_{чѐт}} [(H_{12}\Phi_2 - H_{14}\Phi_4)\Delta_{W_0}^{(2)} - (H_{12}\Phi_4 + H_{14}\Phi_2)\Delta_{W_0}^{(4)} + \\
 &+ (H_{16}\Phi_6 - H_{18}\Phi_8)\Delta_{W_0}^{(6)} - (H_{16}\Phi_8 + H_{18}\Phi_6)\Delta_{W_0}^{(8)}]; \\
 A_{12} &= \frac{1}{\Delta_{неч}} [(H_{12}\Phi_1 + H_{14}\Phi_3)\Delta_{W_0'}^{(1)} - (H_{12}\Phi_3 - H_{14}\Phi_1)\Delta_{W_0'}^{(3)} + \\
 &+ (H_{16}\Phi_5 + H_{18}\Phi_7)\Delta_{W_0'}^{(5)} - (H_{16}\Phi_7 - H_{18}\Phi_5)\Delta_{W_0'}^{(7)}]; \\
 A_{13} &= \frac{1}{\Delta_{чѐт}} [-(H_{12}\Phi_2 - H_{14}\Phi_4)\Delta_{M_0}^{(2)} + (H_{12}\Phi_4 + H_{14}\Phi_2)\Delta_{M_0}^{(4)} - \\
 &- (H_{16}\Phi_6 - H_{18}\Phi_8)\Delta_{M_0}^{(6)} + (H_{16}\Phi_8 + H_{18}\Phi_6)\Delta_{M_0}^{(8)}]; \\
 A_{14} &= \frac{1}{\Delta_{неч}} [-(H_{12}\Phi_1 + H_{14}\Phi_3)\Delta_{Q_0}^{(1)} + (H_{12}\Phi_3 - H_{14}\Phi_1)\Delta_{Q_0}^{(3)} - \\
 &- (H_{16}\Phi_5 + H_{18}\Phi_7)\Delta_{Q_0}^{(5)} + (H_{16}\Phi_7 - H_{18}\Phi_5)\Delta_{Q_0}^{(7)}]; \\
 A_{15} &= \frac{1}{\Delta_{неч}} [(H_{12}\Phi_1 + H_{14}\Phi_3)\Delta_{S_0}^{(1)} - (H_{12}\Phi_3 - H_{14}\Phi_1)\Delta_{S_0}^{(3)} + \\
 &+ (H_{16}\Phi_5 + H_{18}\Phi_7)\Delta_{S_0}^{(5)} - (H_{16}\Phi_7 - H_{18}\Phi_5)\Delta_{S_0}^{(7)}]; \\
 A_{16} &= \frac{1}{\Delta_{чѐт}} [(H_{12}\Phi_2 - H_{14}\Phi_4)\Delta_{N_0}^{(2)} - (H_{12}\Phi_4 + H_{14}\Phi_2)\Delta_{N_0}^{(4)} + \\
 &+ (H_{16}\Phi_6 - H_{18}\Phi_8)\Delta_{N_0}^{(6)} - (H_{16}\Phi_8 + H_{18}\Phi_6)\Delta_{N_0}^{(8)}]; \\
 A_{17} &= \frac{1}{\Delta_{чѐт}} [-(H_{12}\Phi_2 - H_{14}\Phi_4)\Delta_{U_0}^{(2)} + (H_{12}\Phi_4 + H_{14}\Phi_2)\Delta_{U_0}^{(4)} - \\
 &- (H_{16}\Phi_6 - H_{18}\Phi_8)\Delta_{U_0}^{(6)} + (H_{16}\Phi_8 + H_{18}\Phi_6)\Delta_{U_0}^{(8)}]; \\
 A_{18} &= \frac{1}{\Delta_{неч}} [-(H_{12}\Phi_1 + H_{14}\Phi_3)\Delta_{V_0}^{(1)} + (H_{12}\Phi_3 - H_{14}\Phi_1)\Delta_{V_0}^{(3)} - \\
 &- (H_{16}\Phi_5 + H_{18}\Phi_7)\Delta_{V_0}^{(5)} + (H_{16}\Phi_7 - H_{18}\Phi_5)\Delta_{V_0}^{(7)}].
 \end{aligned}$$

Аналогичным образом определяются выражения остальных 56-и фундаментальных функций.

Полученные здесь аналитические выражения фундаментальных ортонормированных функций в совокупности с аналитическими выражениями функции Грина и вектора нагрузки затем используются для решения краевых задач изгиба длинных цилиндрических оболочек при различных граничных условиях. Соответствующий алгоритм подробно изложен в [3, 4].

Литература

1. Власов В.З. Общая теория оболочек и ее приложения в технике / Власов В.З. – М.–Л. : Гостехиздат, 1948. – 784 с.
2. Колкунов Н.В. Основы расчета упругих оболочек / Колкунов Н.В. – М. : Высшая школа, 1972. – 296 с..
3. Численно-аналитический метод граничных элементов : в 2-х т. / [Дашенко А.Ф., Коломиец Л.В., Оробей В.Ф., Сурьянинов Н.Г.]. – Одесса, ВМВ, 2010. –Т. 1. – 416 с. – Т.2. – 512 с.
4. Оробей В.Ф. Практикум по решению краевых задач механики : [учебное пособие для студентов технических специальностей] / В.Ф. Оробей, Н.Г. Сурьянинов. – Одесса : Астропринт, 2011. – 408 с.

Стаття представлена: д.т.н. Параска Г.Б.
Надійшла 12.2.2012 р.

ДОСЛІДЖЕННЯ МОНТАЖНИХ НАПРУЖЕНЬ У ПАЯНИХ КОНСТРУКЦІЯХ МІКРОЗБІРОК

Робота містить результати досліджень впливу фізико-механічних властивостей корпусів і підкладок мікрозбірок з'єднаних пайкою на їх деформований стан.

Work contains the results of researches of influence of physico-mechanical properties of corps and lining of microcircuits united a stake on their deformed state.

Ключові слова: корпус, підкладка, пайка, ситал, полікор, деформація.

Постановка проблеми

У практиці експлуатації авіаційних і транспортних приладів мали місце випадки руйнування підкладок мікрозбірок особливо при зміні температури (термоударах). Аналогічні явища спостерігалися в процесі виробництва та ремонту зазначених приладів.

Тому необхідно розібратися в причинах згаданих руйнувань.

Аналіз останніх публікацій

Слід зазначити, що мікрозбірка складається з двох матеріалів: керамічної підкладки (ситал, полікор, кераміка) і металевого корпусу (алюміній, титан, мідь, сталь), котрі з'єднуються пайкою.

Керамічним матеріалам притаманний такий істотний недолік – надзвичайно висока крихкість, разом з тим високий опір стиску і жорсткість, низька питому щільність, висока стійкість проти дії агресивних середовищ [1].

Відомо, що на міцність ситалу і полікору впливає технологія одержання і обробки цих матеріалів. Крім того фізико-механічні характеристики зазначених матеріалів мають великий розкид.

При пайці таких різномірних матеріалів необхідно враховувати розходження в коефіцієнтах їх термічного (лінійного) розширення і значеннях інших характеристик [2]. Проте, у літературі вкрай мало даних про значення і розкид фізико-механічних характеристик як самих пластин, так і припоїв.

Постановка завдання

На якість з'єднання пайкою суттєво впливають величини зазору між деталями, а також умова плинності в ньому припою, та інші фактори, через дію яких дійсні монтажні напруження можуть істотно відрізнитися від розрахункових. У зв'язку з цим необхідно розробити метод виміру монтажних напружень як на макетних, так і на натурних виробках у діапазоні робочих температур (+120°C ... -60°C).

При проведенні експериментів корпусу мікрозбірок були виготовлені з дюралюмінію (титану), а пластинки з ситалу, полікору, кераміки.

Технологія з'єднання підкладки з корпусом така, що спочатку вони розігріваються вище температури плавлення припою (+ 200...+250°C) і між ними наноситься рідкий припій. При нагріванні кожної деталі окремо вони вільно розширювалися. При остиганні зібраної конструкції, починаючи з температури твердіння припою, вільний стиск стає неможливим.

Оскільки, коефіцієнти лінійного розширення корпусу більше ніж у пластини, то у збірці можуть виникнути напруження стику в пластині, розтягу в корпусі, котрі залежать від перепаду температури і різниці в значеннях коефіцієнтів лінійного розширення й інших фізико-механічних характеристик матеріалів, що з'єднуються.

Вважатиме напружений стан спаяної конструкції – плоский, так як перепади температури однакові по всьому об'єму з'єднання, і що через велику твердість рамки згин пластинки неможливий.

Для виміру деформацій було використано метод електротензометрії, виконуючи препарування тензорезисторами, по можливості термокомпенсованими для досліджуваних матеріалів.

Препарування корпусів здійснено термокомпенсованими для алюмінію тензорезистори БП1-5-200-В-23, а для пластинок - БП1-1-100-Б-12.

Проте, з огляду на ту обставину, що ідеальна термокомпенсація тензорезистора неможлива, у ході експерименту була передбачена індивідуальна послідовна температурна компенсація кожного тензорезистора.

В процесі досліджень температурні деформації, зафіксовані окремим датчиком для кожного із заданих значень температур визначали, використовуючи метод деструкції:

1. Спочатку фіксували показання тензорезисторів на всіх необхідних значеннях температур (+120°C, +20°C, -60°C) у зібраній конструкції, повторюючи дослід 10 разів і більш.

2. Після чого, нагрівали збірку до температури плавлення припою, фіксували показання тензорезисторів, роз'єднували плату і корпусу за температур (+120°C, +20°C, -60°C), повторюючи дослід 10 разів і більш.

Отримані значення усереднювали для зібраного виробу і алгебраїчно віднімали усереднені показання тензорезистора при цій же температурі, але для роз'єднаних рамки і плати. Отримані значення відповідали величині відносної деформації зібраної конструкції (у місці наклейки датчика) за даної

температури.

Для визначення напружень використано узагальнений закон Гука для плоского напруженого стану:

$$s_x = \frac{e_x - \mu e_y}{1 - \mu^2} E, \quad s_y = \frac{e_y - \mu e_x}{1 - \mu^2} E \quad (1)$$

де e_x і e_y – відносні деформації в напрямку осей X і Y , обмірювані тензорезисторами;

μ – коефіцієнт Пуассона;

E – модуль пружності.

Схема препарування пластики показана на рис. 1.

Досліди показали, що при наближенні температури навколишнього середовища до температури плавлення припою на окремих зразках у кутах сторін відбулося розтріскування пластин з розташуванням тріщин під кутом наближених до 45° до напрямку плати. На рис. 2, 3 приведені фотокартки зруйнованих керамічних підкладок (пластини). Вид руйнування дозволяє відновити картину розтріскування, властивому явищу – чистому зсуву. При зміні температури, рамка прагне зсунутися щодо пластини, і тоді на поверхні пластини, що контактує з припоєм, виникають дотичні напруження, спрямовані до кута перетинання граней пластини, якщо рамка щодо пластини розтягується, і від кута перетинання граней, якщо рамка стискується.

Оскільки кераміка (ситал, полікор) значно гірше опирається розтягу, ніж стиску, то руйнування повинно відбутися по лініях, перпендикулярним до головних напружень розтягу σ_1 , що співпадає з реальною картиною руйнування (фото на рис. 2, 3).

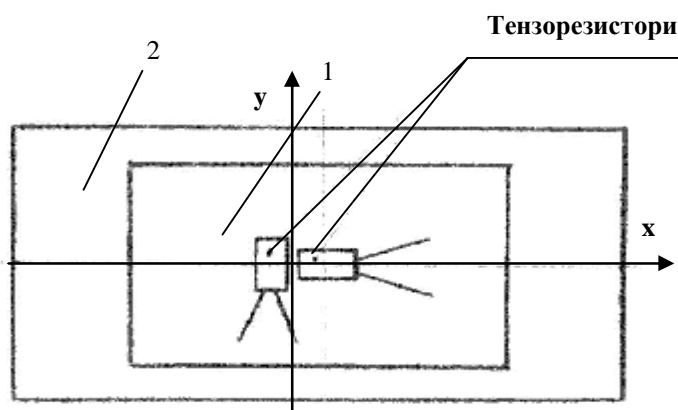


Рис. 1. Схема препарування мікробірки: 1 – підкладка; 2 – корпус

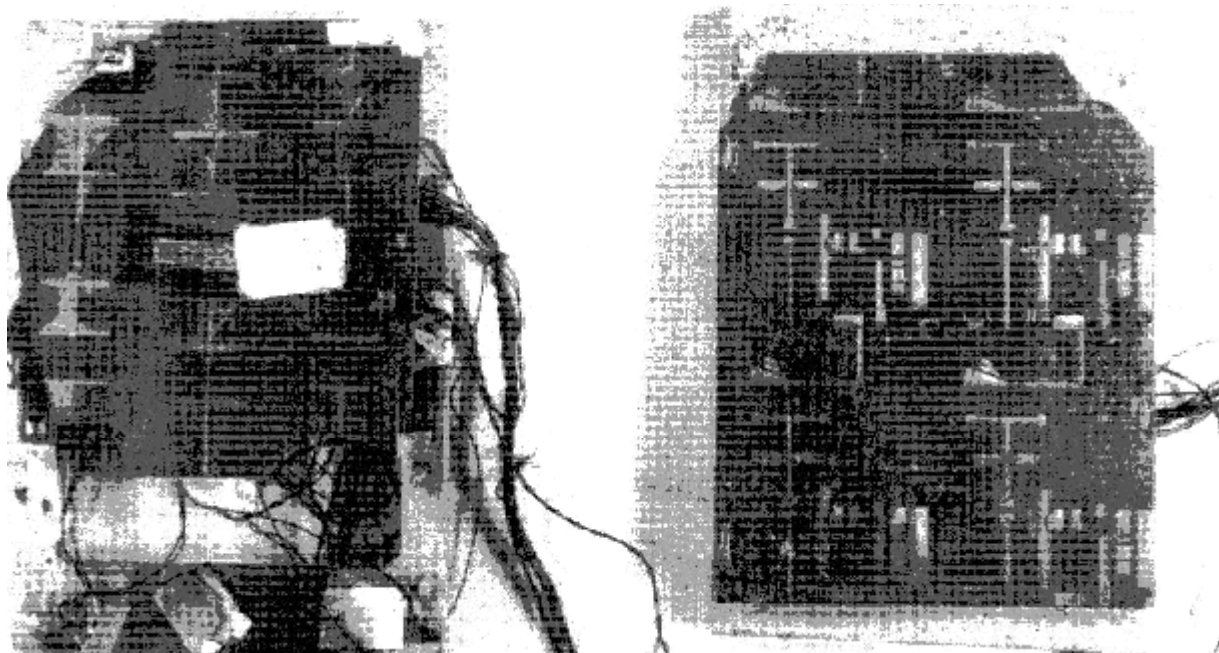


Рис. 2. Фотокартка зруйнованих пластин, препарованих тензодатчиками

Слід відзначити, що при розігріві конструкції до 200°C мали місце факти руйнування окремих пластин (рис. 3 нижній ряд). Це навело на думку про необхідність дефектації під мікроскопом усіх непрепарованих зразків, що залишилися. Проведена дефектація показала, що на 3-х зібраних зразках ще в стані постачання спостерігались тріщини.

В тих випадках, коли мало місце руйнування пластини дані експерименту не приводяться, і не розглядалися.

Результати експериментів для підкладок з полікору наведені в таблиці 1. Слід зазначити, що розподіл напружень для ситалу аналогічний наведеному, крім того напруження в корпусі незначні і не становлять для нього небезпеки.



Рис. 3. Фотокартки типових скритих дефектів (тріщини – верхній ряд, руйнування кутів – нижній ряд) підкладок мікросбірок

Таблиця 1

Результати вимірів напружень в мікросбірках з'єднаних пайкою

Матеріал підкладки мікросбірок	Матеріал корпусу мікросбірок	Розміри підкладки, мм	Розміри корпусу, мм	Спосіб з'єднання	Монтажні напруження після роз'єднання мікросбірок, t=+20°C		Напруження в підкладках, t=+120°C		Напруження в підкладках, t=-60°C	
					$\sigma_{хп}$, МПа	$\sigma_{уп}$, МПа	$\sigma_{хп}$, МПа	$\sigma_{уп}$, МПа	$\sigma_{хп}$, МПа	$\sigma_{уп}$, МПа
Полікор	Дюраль Д16	30x24x0,5	40x24x4	Пайка припоєм ПОСК50-18 за температури t=+200°C	-420,6	-410,8	-270,1	-280,3	-280,9	-430,5
Полікор	Дюраль Д16	30x24x1	40x24x4		-434,2	-440,1	-280,2	-300,3	-360	-480
Полікор	Дюраль Д16	60x48x0,5	70x48x4		-200,1	-220,2	-120,1	-140,1	-150,1	-220,3
Полікор	Титан	30x24x0,5	30x24x4		-90,1	-100,2	-60,1	-70,1	-65,1	-110,3

Не дивлячись на певний розкид даних показів датчиків, загальні закономірності впливу матеріалів мікросбірок на їх деформований стан полягають в наступному:

- а) напруження, котрі виникають в паяних парах дюраль-ситал і дюраль-полікор перевищують граничні, що призводить до руйнування підкладок;
- б) температурні напруження набувають граничних значень за температури -60°C;
- в) рівень деформацій підкладок, встановлених на корпуси з дюралюмінію, в 4–5 разів перевищує такий для підкладок, встановлених на корпуси з титану;
- г) рівень деформацій підкладок з полікору на 30–40% перевищує такий для підкладок з ситалу і кераміки.
- д) передача зусиль між рамкою і пластиною відбувається по поверхні спаювання, де діють дотичні напруження, котрі визначають напружений стан чистого зсуву, з появою нормальних напружень розтягу, відбувається розтріскування пластин.

Таким чином, незважаючи на наявність великого числа бракованих пластин, що мають тріщини в

стані постачання, великий розкид фізико-механічних характеристик матеріалів, можна зробити висновок, що застосування рамки з титану істотно знижує монтажні температурні напруження в пластинах з полікору і ситалу.

Висновки

1. Результати експерименту визначення температурних монтажних напружень у паяних з'єднаннях типу мікрозбірок і показують, що:

- а) напруження, котрі виникають в паяних парах дюраль-ситал і дюраль-полікор перевищують граничні, що призводить до руйнування підкладок;
- б) температурні напруження набувають граничних значень за температури -60°C ;
- в) рівень деформацій підкладок, встановлених на корпуси з дюралюмінію, в 4–5 разів перевищує такий для підкладок, встановлених на корпуси з титану;
- г) рівень деформацій підкладок з полікору на 30–40% перевищує такий для підкладок з ситалу і кераміки.
- д) передача зусиль між рамкою і пластиною відбувається по поверхні спаювання, де діють дотичні напруження, котрі визначають напружений стан чистого зсуву, з появою нормальних напружень розтягу, відбувається розтріскування пластин.

Література

1. Никоноров Н.В. Оптическое материаловедение: основы прочности оптического стекла / Н.В. Никоноров, С.К. Евстропьев. – СПб. : СПбГУ ИТМО, 2009. – 102 с.
2. Гуськов Г.Я. Монтаж микрорелектронной аппаратуры / Гуськов Г.Я., Блинов Г.А., Газаров А.А. – М. : Радио и связь, 1986. – 176 с.

Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.
Надійшла 22.2.2012 р.

УДК 621.892.094: 892.099.6

В.І. КИРИЧЕНКО, Л.М. КИРИЧЕНКО
Хмельницький національний університет

КОМПОЗИЦІЙНІ МАСТИЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ІЗ ТЕХНІЧНИХ ОЛІЙ: КОНЦЕПЦІЯ І ПЕРСПЕКТИВИ ПЕРЕРОБНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Розглядається концепція системного підходу до розроблення раціональних і ефективних методів і технологій комплексного перероблення технічних олій як поновлювальної і екологічно безпечної сировини на мастильні матеріали нового типу – біосинтетичні, композиційні за структурою і визначеними функціональними властивостями; оцінюються перспективи переробних технологій

The concept of a systematic approach to developing effective and efficient methods and technologies for integrated processing technology of vegetable oils as a renewable and environmentally friendly raw material for lubricants of a new type - biosynthesis, composites in its structure and specific functional properties, evaluated the prospects of technologies for processing.

Ключові слова: Ключові слова: концепція системного підходу, технічні олії, переробні технології, біосинтетичні матеріали.

Вступ

Нашими дослідженнями доведено, що технічні олії можуть і повинні слугувати поновлюваною ресурсною базою оновлення досить консервативною в цілому традиційного матеріалознавства багатьох галузей економіки, але в першу чергу паливно-мастильної, полімерної, миючих засобів тощо. Йдеться про комплексне перероблення таких олій як ріпакова (ріпол), соєва (соєол-2М), пальмова (пальмол) та рицинова (рицол) на принципово новий клас матеріалів – біосинтетичні як основи інноваційного оновлення традиційних матеріалів мінерального, синтетичного, та мінерально-синтетичного походження. Сутність такого перероблення полягає в хімічній модифікації недосконалих як за молекулярними структурами, так і за своїми функціональними властивостями технічних олій, як поновлювальної і екологічно безпечної сировини, простими і доступними методами з метою внесення ціленаправлених синтетичних коректив структури і досягнення передбачуваних функціональних їх властивостей. В результаті такого напрямленого модифікування початкові біологічні структури олій набувають певних синтетичних змін, які приводять до створення продуктів нового типу біосинтетичних з їх наперед визначеними властивостями [1–3].

Постановка завдання

Техніко-економічна доцільність розробки проекту комплексного перероблення олій повинна спиратися на низку переконливих факторів, зокрема:

- 1) на єдиний блок ресурсо-, енерго- і еколого-зберігаючих методів і технологій;
- 2) на модульність побудови проекту переробних процесів (не менше трьох модулів);

3) на мотивованість і обґрунтованість використання в одному модульному виробничому комплексі трьох-чотирьох технічних олій;

4) на розробку і використання оптимізованих композицій олій різних типів, наприклад: соеол + рицол → соєрицол, соеол + пальмол → соєпальмол; соеол + рицол + пальмол → соєрипол тощо;

5) на виробництво одночасно декількох біосинтетичних продуктів різно- чи одногалузевих призначень, наприклад: біопалив (в т.ч. і «бюдизеля»), технічних рідин, розчинників, мономерів, біоолив, біоолив-присадок, компонентів для одержання миючих засобів, емульгаторів, мастильно-холодильних засобів (МХЗ) для обробки металів [4, 5, 6, 7, 9, 12].

Результати дослідження

Концепція дослідження проблеми знаходить своє відображення в методах і технологіях хімічного модифікування (доцільними і ефективними за техніко-економічними характеристиками) недосконалих за певними своїми функціональними властивостями молекулярних структур технічних олій з метою перетворення їх на екологічно безпечні біосинтетичні матеріали із визначеними функціональними властивостями та якісними триботехнічними показниками. Мова йде про створення цілої низки нових базових матеріалів, в першу чергу, базових біоолив, біоприсадок, біоолив-присадок, технічних рідин біомономерів, біо-МХЗ для процесів оброблення металів тощо [6, 7, 8].

Серед сформованих концептуальних підходів до дослідження проблеми слід виділити провідні:

- вирішення комплексу питань ресурсо- і енергозбереження за рахунок використання поновлювальної сировини – технічних олій; досягнення належної екологічної і техногенної безпеки на всіх етапах: від сировини – до виділення цільових біоматеріалів [2, 3, 8, 9];

- інноваційне оновлення певної частини асортименту традиційного і досить консервативного матеріалознавства, яке характеризується низкою таких недоліків як: вичерпуваність і низька якість мінеральної сировини, синтетичні методи перероблення, небезпечність для довкілля, тощо [3, 4, 10, 12];

- комплексність підходу до розробки методів і технологій переробних процесів: за рахунок компонування їх за модульним принципом (два-чотири модулі) та з виробництвом широкого та варіативного асортименту біоматеріалів, зокрема: біопалив (в т.ч. і дизельного), базових біоолив, біоприсадок, біоолив-присадок, технічних рідин, біомономерів, МХЗ для обробки металів, біо-ПАР тощо [3, 8, 9, 10];

- орієнтування на перероблення оптимізованих композицій технічних олій на основі двох базових і двох допоміжних [2, 3, 4, 8];

- забезпечення оптимальних умов для процесів хемісорбції та хімічних взаємодій нових біоолив і біоприсадок на контактуючих поверхнях вузлів тертя з утворенням ефективних, стійких до жорстких експлуатаційних умов змащуваних плівок типу сервовітних, трибополімерних, комплексних тощо [10, 11, 12];

- орієнтування на розроблення проекту невеликих, зональних, малотонажних періодичних переробних виробництв максимально наближених, як до постачальників олій, так і до споживачів біоматеріалів (біопалив) [2, 3, 4, 8];

- дослідженість трибохімічних процесів на змащуваних поверхнях трибосистем: адсорбції, хемісорбції, фізико-хімічних взаємодій з матеріалами поверхонь, в т.ч. і ефекта Ребіндера [5, 6, 7, 10, 11];

- встановлення трибохімічних і експлуатаційних показників роботи змащених новими біосинтетичними матеріалами поверхонь вузлів тертя, шляхом дослідження процесів тертя та зношування [5, 8, 11, 12].

Завдання дослідження направлені на досягнення низки конкретних результатів. Одержання із олій трибохімічно активних на контактуючих поверхнях вузлів тертя молекулярних структур базових матеріалів галузі мастильних матеріалів ММ: біоолив, біоприсадок, біоолив-присадок, а також біопалив тощо;

1. Розроблення методів і технологій модифікування структури олій за двома напрямками:

1) модифікування гліцеринової компоненти естерної структури олій із перебудовою «вторинної естерної групи» і хімічного зв'язку $>CH-OH$;

2) модифікування ацильних компонент естерної структури олій із введенням до їх молекул поляризованих функціональних груп типу $-OH, -NH_2, -NH, -O-, -P-(S)-S-$, тощо та з підвищенням вмісту в них хімічно зв'язаного кисню $-CH_2-O-CH_2-$; $-CH_2-OH$; $=C=O$ тощо.

2. Розроблення методів і технологій міжмолекулярного трансестерифікування оптимізованих композицій олій (базових і допоміжних), а далі – гліцеролізу комполів (соєолу + рицолу; палолу + рицолу тощо) з одержанням трансестерифікованих 1,3-діацил-2-оксі-гліцеринів.

3. Перетворення 2-оксі-діацилгліцеринів у структуру біоолив-SP-присадок, присадок.

4. Розроблення методів і технологій алкоголізу олій гліколями: етилен-гліколем (Et), діетилен- (DEt), триетилен- (TEt) – гліколями тощо, а також олігомерними гліколями з одержанням базових біоолив з високим вмістом зв'язаного оксисену, широкого асортименту, з якісними в'язкісно-температурними та функціональними характеристиками.

5. Розроблення методів і технологій переестерифікації олій промисловими естерами, наприклад: диметиладипінатом, диметилсебацінатом, бутилацетатом, дибутилфталатом тощо.

6. Розроблення методу і технології алкоголізу комполів спиртами з високими t кип. і водонерозчинними з одержанням технічних біорідин та проміжних продуктів.

7. Дослідження процесів амідування та етаноламідування олій з утворенням амідів ВЖК, високополярних, і гідрофільних поверхнево-активних продуктів (біо-ПАР).

8. Впровадження у виробництво розробленого проекту «мастильно-холодильні засоби (МХЗ) із олій для процесів обробки металів» .

Проект перероблення олій набув низки визначальних техніко-економічних особливостей, серед яких виділимо головні [1,2,3,4,8].

- Реалізація принципів комплексності і системності підходів до розроблення методів і технологій перероблення як окремих олій (ріполу, соєолу-2м) , так і оптимізованих композицій ріполу чи соєолу із рициновою (рицолом) і пальмовою (палолом) оліями;

- Модульна побудова передбачених проектом технологічних процесів та організації виробництва за принципом комбінування двох, трьох чи більше модулів.

- Однотипність або схожість технологій і процесів, стандартизованість обладнання та апаратів.

- Практична безвідходність всіх технологічних процесів; замкнутість всіх матеріальних потоків між модулями.

- Можливість переходу від експорту олійної сировини (85% олій експортується) до експорту цільових матеріалів та проміжних продуктів, одержаних переробленням олій.

- Виробництво біосинтетичних продуктів і матеріалів широкого за будовою і в'язкісно-температурними характеристиками та функціональними властивостями асортименту та різногалузевих призначень.

- Скорочення на першому етапі на 25–30% номенклатури традиційних, помірної якості і екологічно небезпечних базових матеріалів (олій, присадок) мінерального походження за рахунок їх зміни на нові біорозкладаємі, біосинтетичні матеріали, які добре суміщуються із традиційними в композиційних матеріалах.

- Налаштованість проекту на впровадження передусім малої чи середньої потужності виробництва з одержанням оптимального за обсягом і асортиментом біосинтетичної продукції і матеріалів. Виконання проекту гальмується накопиченими і невирішеними організаційно-фінансовими питаннями, зокрема: недостатністю державної підтримки пріоритетного напрямку досліджень та проекту на його основі, зокрема за умов: а) очевидної техніко-економічної доцільності, актуальності і нагальності теми дослідження; б) широкої номенклатури теоретичних і прикладних ідей, методів і технологічних задумів, які слід опрацьовувати; в) невідповідності між, з одного боку, обсягом досить трудомістких, експериментально вирішуваних завдань та експлуатаційних випробувань, а з іншого - обмеженим фінансуванням теми і проекту;

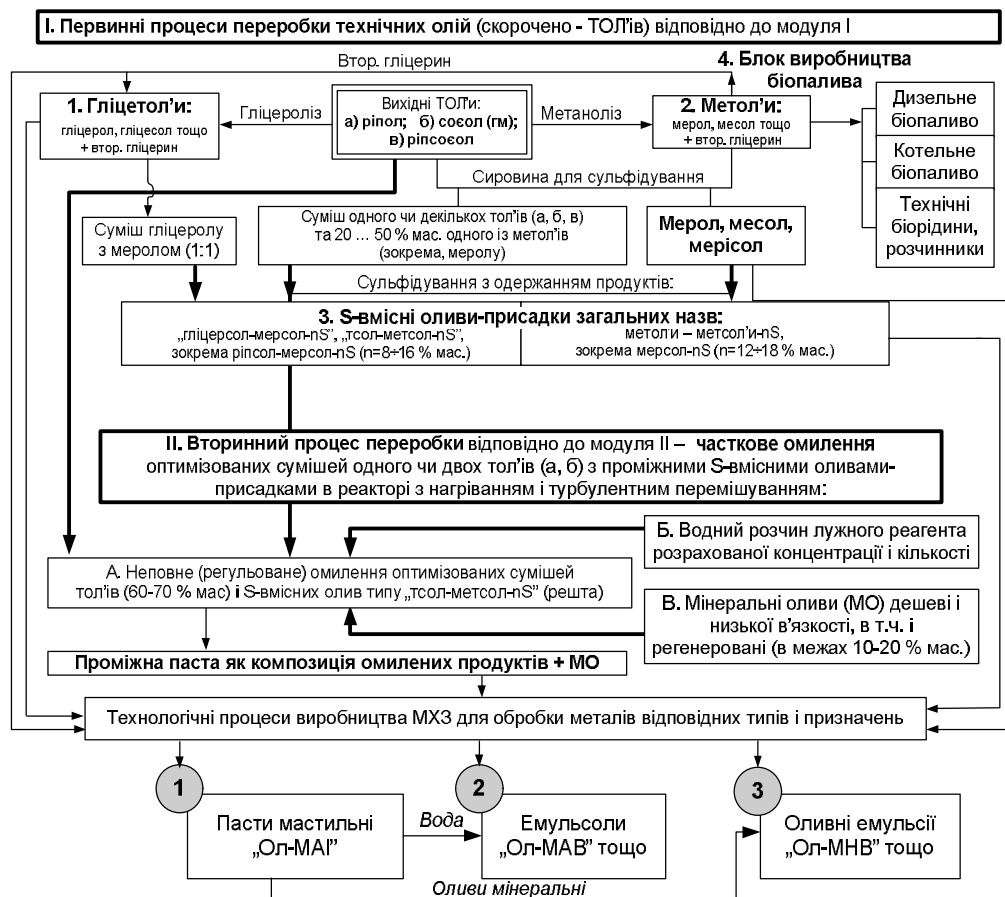


Рис. 1. Структурно-логічна схема ієрархічного і комплексного підходів до переробки технічних олій на мастильно-холодильні засоби (МХЗ) для обробки металів

- особливою поліфункціональністю усього досліджуваного середовища даної проблеми, яке спрямоване на одночасне інноваційне використання: методів органічного і нафтохімічного синтезу, процесів і апаратів хімічних технологій, хімії технологій мастильних матеріалів, основ трибології і трибохімії, методик ідентифікування нових матеріалів, триботехнічних випробувань та сертифікування їх;

- відсутністю сучасного і досить вартісного обладнання для дослідження трибологічних і триботехнічних процесів (тобто тертя і зношування), структури контактуючих поверхонь вузлів тертя, зокрема: растрового електронного мікроскопу (РЕМ), комплексів з інфрачервоної і електронної спектроскопії, рентгеноструктурного аналізу, тощо, а отже і можливості всебічного вивчення фізико-хімічними методами функціональних властивостей і експлуатаційних характеристик нових біоматеріалів [9, 10, 11, 12];

Нами запропонований оптимальний варіант комплексної переробки технічних олій, зокрема ріполу, пальмолу, соєолу на біосинтетичні продукти широкого асортименту в тому числі і на базову пасту-концентрат, яку можна використовувати для приготування головних типів МХЗ відповідно до стандарту DIN 51.385: а) емульсолів типу «олива у воді»; б) оливних емульсій типу «вода в оливі»; в) пластичних мастил [1, 2, 3,4,8].

I. Первинні операції переробки ріполу в однотипному реакторі ($V = 100-500$ л) з нагріванням і перемішуванням та з одержанням проміжних продуктів:

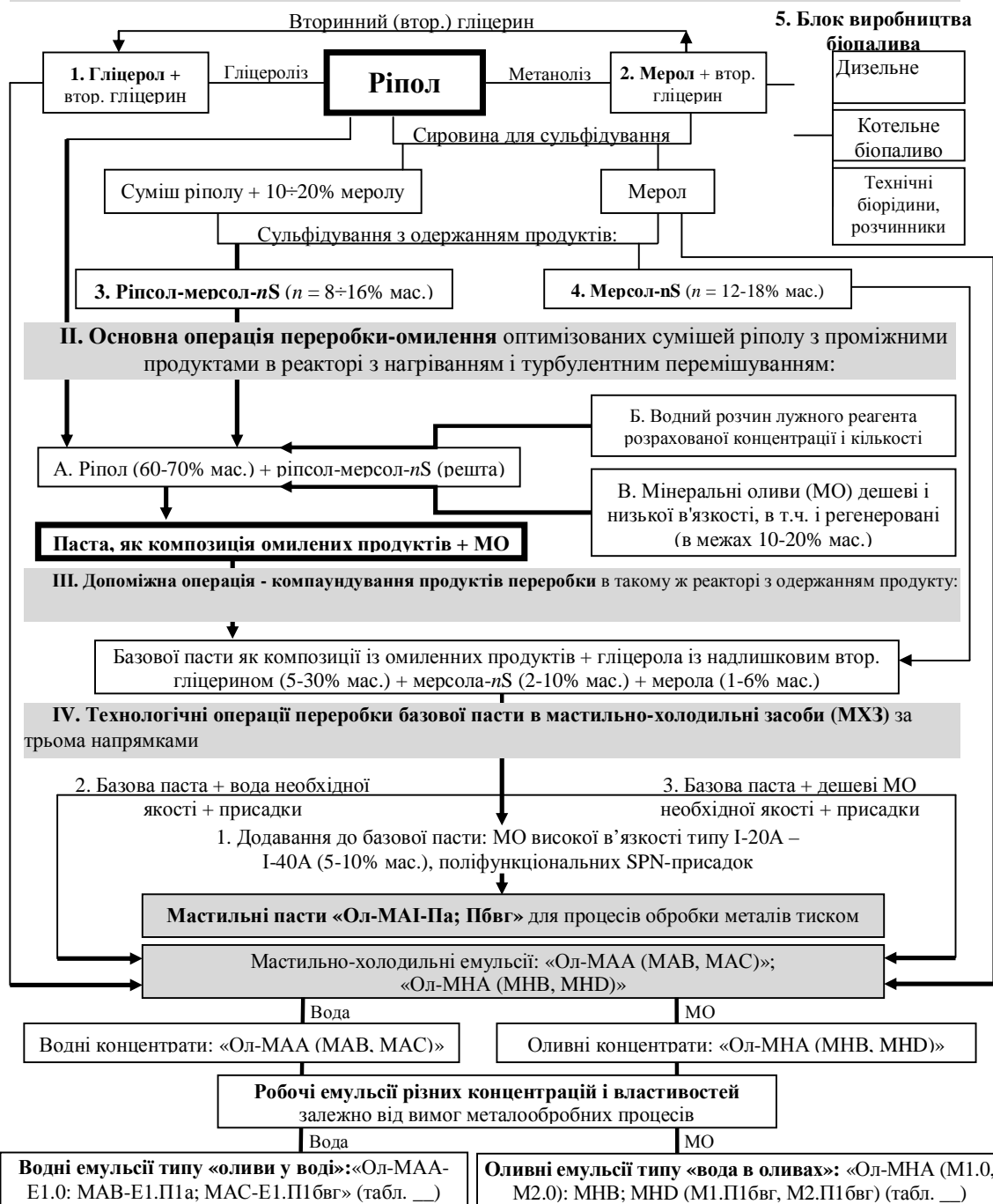


Рис. 2. Схема реалізації і принципу ієрархічної послідовності технологічних операцій комплексної переробки ріпаквої олії (ріполу) на мастильно-холодильні засоби для процесів обробки металів

Розробка технології переробки олій (в першу чергу ріполу) спиралась на визначений нами концептуальний підхід до проблеми «олії – паливно-мастильні біоматеріали», коли будь-яка окрема технологія повинна розглядатись як складова єдиного ієрархічно-модульно побудованого комплексу переробки олій за всіма можливими методами і напрямками [2, 3, 8, 12]. Сутність запропонованої нами інноваційної технології переробки технічних олій на нові МХЗ відображається структурно-логічними схемами рисунків 1 і 2.

Як видно з рис. 1 і 2, технологія в цілому починається із первинної переробки олій, яка реалізується за розробленим алгоритмом процесів: а) повний низькомолекулярний алкоголіз ріполу (метаноліз чи етаноліз) із трансформуванням триацилгліцеринних їх структур у відповідні естери вищих жирних кислот (ВЖК, частіше ненасичених загальних формул $U-C(O)-OH$, рідше насичених $S-C(O)-OH$); б) потім – гліцероліз олій вторинним гліцерином (накопичуваним після метанолізу–етанолізу) з модифікацією триацилгліцеринів у суміш моно- і діацилгліцеринів олій; в) сульфидування проміжних продуктів метанолізу та гліцеролізу, їх оптимізованих сумішей та розчину ріполу в меролі, яке супроводжується присадками сульфідних чи дисульфідних груп за місцем подвійних зв'язків ацильних залишків [3, 5, 8].

При цьому одержують проміжну базову пасту як сировинну основу для виробництва будь-яких типів МХЗ. Як видно з рис. 1, методом компаундування проміжної пасти з гліцеролом і меролом, а також із сульфідвмісними біооливами-присадками (зокрема ріпсол-мерсол-nS) одержують базову пасту, яку зручно транспортувати і виходячи із неї безпосередньо у споживача готувати (відповідно до наданої інструкції) конкретні типи МХЗ для виробничих потреб [3, 5, 7, 8].

Далі, виходячи із необхідного і достатнього асортименту проміжних продуктів, похідних від первинної переробки олій, а також із вибраної базової олії – ріполу, соєолу чи пальмолу, здійснюють вторинний процес – високотемпературне часткове омилення оптимізованих композицій ріполу із олівами-присадками та мінеральними олівами.

Висновок

Сформований концептуальний підхід до розроблення методів і технологій перероблення олій, який знайшов своє відображення в структурно-логічній схемі – алгоритмі процесів переробки. Характерними рисами переробки олій визначено: системність, комплексність, модульність, адаптованість до хімії олій досягнень органічного і нафтохімічного синтезу, зокрема метанолізу, гліцеролізу, гліколізу, сульфидування, етаноламідуювання з одержанням низки нових матеріалів: біоолив, біоолив-присадок, біо-ПАР, біорозчинники тощо.

Література

1. Кириченко В.І. Хіміко-технологічні аспекти комплексної переробки технічних рослинних олій в нові екологічно безпечні продукти / В.В. Кириченко, О.М. Полумбрик, В.І. Кириченко // Вопросы химии и химической технологии. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2008. – № 1. – С. 141–144.
2. Кириченко В.І. Якісні біоматеріали з технічних олій: стан і перспективи переробки / В.В. Кириченко, О.М. Полумбрик, В.І. Кириченко // Хімічна промисловість України. – К., 2008. – № 3. – С. 9–18.
3. Кириченко В.І. Биосинтетические материалы из технических масел в контексте энерго- и ресурсосберегающих технологий их комплексной переработки. – Ч. 1 «Проблема комплексной переработки масел: состояние и перспективы решений» / В.І. Кириченко, Л.М. Кириченко // Научн.-практ. журнал «Масложировая комплекс». – Днепропетровск, 2009. – № 1 (24). – 49–54.
4. Кириченко В.І. Нові технології комплексної переробки олій на якісні біосинтетичні матеріали широкого асортименту та різногалузевих призначень / В.І. Кириченко, Л.М. Кириченко // Тезиси докладов II-й Междн. научн.-техн. конф. «Химия и технология жиров: перспективы развития масложировой отрасли» (Алушта, АР Крым, 21–29 сентября 2009 г.). – Днепропетровск : Эксперт-Агро, 2009. – С. 15–19.
5. Пат. 65014, Україна, 2006. С10М115/00, С10М101/04, С10129/08, С10М137/00. – Мастильна композиція «Глірапсол-nS-МАРН» / В.І. Кириченко, В.П. Свідерський ; заявл. 24.04.2003 ; опубл. 15.09.2006. Бюл. № 9, 2006.
6. Пат. №84484. Україна, МПХ С10М177/00, 105/00; С07С67/00; С11С3/00. – Спосіб одержання базових для галузі ММ біосинтетичних олив / В.В. Кириченко, В.І. Кириченко ; заявл. 15.02.2007. опубл. 27.10.2008. Бюл. №20 2008.
7. Пат. №91623. Україна, МПХ С10М177/00, 111/00,141/00; С07С67/00, 31900. – Спосіб одержання базових для галузі ММ біосинтетичних олив – присадок / В.В. Кириченко, В.І. Кириченко ; заявл. 24.12.2008 ; опубл. 25.06.2010. Бюл. № 12, 2010.
8. Кириченко В.І. Особливості системного підходу до комплексної переробки соєвої олії на... / В.В. Кириченко, О. М. Полумбрик, В.І. Кириченко // Хімічна промисловість України. – К. : 2008. – №5. – С. 14–22.
9. Lubricants and lubrication. – 2nd Ed/ Edited by TR. Mang and W. Dresel. – WILEY – VCH Verlag GmbH. Weinheim. 2006. – 586 p.
10. Mortier R. M. Chemistry and technology of Lubrication / R. M. Mortier. S. T. Orzulik. – Eds. Blackie and Son Ltd.. Glasgow. 1997. – 610 p.
11. Rudnick L. R. Lubricant Additives: chemistry and application / L.R. Rudnick – Ed. Marsel Dekker. – New York. 2003. – 550 p.

Статтю представив: к.т.н. Кириченко В.І.
Надійшла 9.2.2012 р.

УДК 621.892.094:621.892.099.6

В.І. КИРИЧЕНКО
Хмельницький національний університет

КОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ІЗ ТЕХНІЧНИХ ОЛІЙ: ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ОДЕРЖАННЯ

Розглядаються техніко-економічні, екологічні і технологічні аспекти одержання із технічних олій якісного, базового композиційного мастильно – холодильного засобу (біо-МХЗ) для різних процесів обробки металів. Змодельована технологічна схема виробництва з апаратним оформленням, розроблений його матеріальний баланс. Нові біо-МХЗ вписані в систему класифікації і номенклатури цього типу матеріалів.

We consider the feasibility, ecological and technological aspects of the receipt of the technical quality of oils, lubricating the base composition of coolant for the various processes of metal. Modeled with the technological scheme of production hardware design. New bio-lubricant materials written in the cooling system of classification and nomenclature of materials of this type.

Ключові слова: Ключові слова: технічні олії, обробка металів, біо-МХЗ, біо-ПАР, технологічна схема, матеріальний баланс.

Вступ

На фоні загострення енергетичної кризи та посталих економічних і матеріалознавчих проблем вельми актуальною проблемою є пошук напрямів і методів перероблення технічних олій (ТО) як поновлювальної і екологічно безпечної сировини на нові енергоносії та якісні біоматеріали із заданими властивостями. Україна має потужний потенціал виробництва таких ТО як ріпакова та соєва генетично модифікована (скорочено (ріпол і соєол-гм) і водночас досить обмежені власні як енергетичні ресурси, так і асортимент сировинних і базових матеріалів для галузі паливно-мастильних матеріалів (ПММ) та інших галузей.

Досвід розробки даного проекту показав [1, 2, 3, 4,], що *виробництво мастильно-холодильних засобів (МХЗ) для процесів обробки металів* (як різанням, так і тиском) повинно формуватись як окремих, зокрема другий модуль, тісно пов'язаний із першим модулем за такою схемою: перший модуль – переробки олій шляхом метанолізу, гліцеролізу чи етаноламідунання олій з одержанням певного базового асортименту проміжних продуктів, зокрема: біопалива, вторинного гліцерину, біо-розчинника, гліцеролізованих олій біо-ПАР у вигляді етаноламідів ВЖК олій тощо → другий модуль переробки спеціально розроблених композицій олій, проміжних продуктів першого модуля та мінеральних олів. Важливим позитивним аспектом взаємозв'язаних технологій першого і другого модулів є те, що тут як накопичується, так і практично повністю використовується такий побічний продукт виробництва біопалива як вторинний гліцерин. Причому, в перебігу такого використання відпадає необхідність досить вартісних операцій попереднього очищення досить забрудненого вторинного гліцерину, тоді як інші напрямки його використання, наприклад, як компонента антифриза та теплоносія вимагає упередженого очищення [2, 3, 5, 6].

Постановка завдання

Традиційні МХЗ для обробки металів за своїм походженням є мінеральними (із нафти), синтетичними, або мінерально-синтетичним, тобто технології їх виробництва неможливо визнати ресурсозберігаючими та екологічно безпечними, навіть за умови виявлення конкретними їх типами якісних експлуатаційних показників [2, 3, 4, 9]. Відомо, що якісних експлуатаційних показників будь-яких типів МХЗ (водних емульсолів, оливних емульсій, мастильних паст) можна досягти шляхом ціленапрявленого формування таких їх молекулярних структур, які виявляють певні специфічні властивості, зокрема: високу поверхневу активність, здатність емульгувати і диспергувати середовище МХЗ та утворювати на поверхнях металів змащувальну плівку, а також ефективно охолодження поверхонь і інструменту [5, 10, 11, 13, 14]. Лише висока поверхнева активність якісних МХЗ забезпечує виникнення ефекту пластичної деформації наночарів оброблюваних поверхонь металів із зниженням зсувних зусиль (так званого ефекту Ребіндера), що у поєднанні з ефективними факторами охолодження і диспергуємості запобігає таким небажаним явищам обробних процесів як нагоряння, зварювальні «схплювання» з інструментом тощо. Саме такої поверхневої активності і всього комплексу показників якості засобів для обробки металів можна досягти, спираючись на технологію виробництва нових, екологічно безпечних та ефективних МХЗ із олій, зокрема ріполу [2, 5, 6, 9, 10, 11, 15].

Результати дослідження

Нами запропонований оптимальний варіант комплексної переробки технічних олій, зокрема ріполу, пальмолу, соєолу на біосинтетичні продукти широкого асортименту в тому числі і на базову пасту-концентрат, яку можна використовувати для приготування головних типів МХЗ відповідно до стандарту DIN 51.385: а) емульсолів типу «олива у воді»; б) оливних емульсій типу «вода в оливі»; в) пластичних

мастил [1, 2, 5, 10, 15].

Розробка технології переробки олій (в першу чергу ріполу) спиралась на визначений нами концептуальний підхід до проблеми «олії – паливно-мастильні біоматеріали», коли будь-яка окрема технологія повинна розглядатись як складова єдиного ієрархічно-модульно побудованого комплексу переробки олій за всіма можливими методами і напрямками [2, 3, 5, 8, 11, 15]. Сутність запропонованої нами інноваційної технології переробки технічних олій на нові МХЗ відображається структурно-логічними схемами рисунків 1 і 2.

Як видно з рис. 1 і 2, технологія в цілому починається із первинної переробки олій, яка реалізується за розробленим алгоритмом процесів: а) повний низькомолекулярний алкохолізу ріполу (метанолізу чи етанолізу) із трансформуванням триацилгліцеринних їх структур у відповідні естери вищих жирних кислот (ВЖК, частіше ненасичених загальних формул $U-C(O)-OH$, рідше насичених $S-C(O)-OH$); б) потім – гліцеролізу олій вторинним гліцерином (накопичуваним після метанолізу–етанолізу) з модифікацією триацилгліцеринів у суміш моно- і діацилгліцеринів олій; в) сульфідкування проміжних продуктів метанолізу та гліцеролізу, їх оптимізованих сумішей та розчину ріполу в меролі, яке супроводжується приєднанням сульфідних чи дисульфідних груп за місцем подвійних зв'язків ацильних залишків [3, 5, 8].

Далі, виходячи із необхідного і достатнього асортименту проміжних продуктів, похідних від первинної переробки олій, а також із вибраної базової олії – ріполу, соколу чи пальмолу, здійснюють вторинний процес – високотемпературне часткове омилення оптимізованих композицій ріполу із олівами-присадками та мінеральними олівами. При цьому одержують проміжну базову пасту як сировинну основу для виробництва будь-яких типів МХЗ. Як видно з рис. 2, методом компаундування проміжної пасту з гліцеролом і меролом, а також із сульфідвмісними біооливами-присадками (зокрема ріпсол-мерсол-nS) одержують базову пасту, яку зручно транспортувати і виходячи із неї безпосередньо у споживача готувати (відповідно до наданої інструкції) конкретні типи МХЗ для виробничих потреб [4, 7].

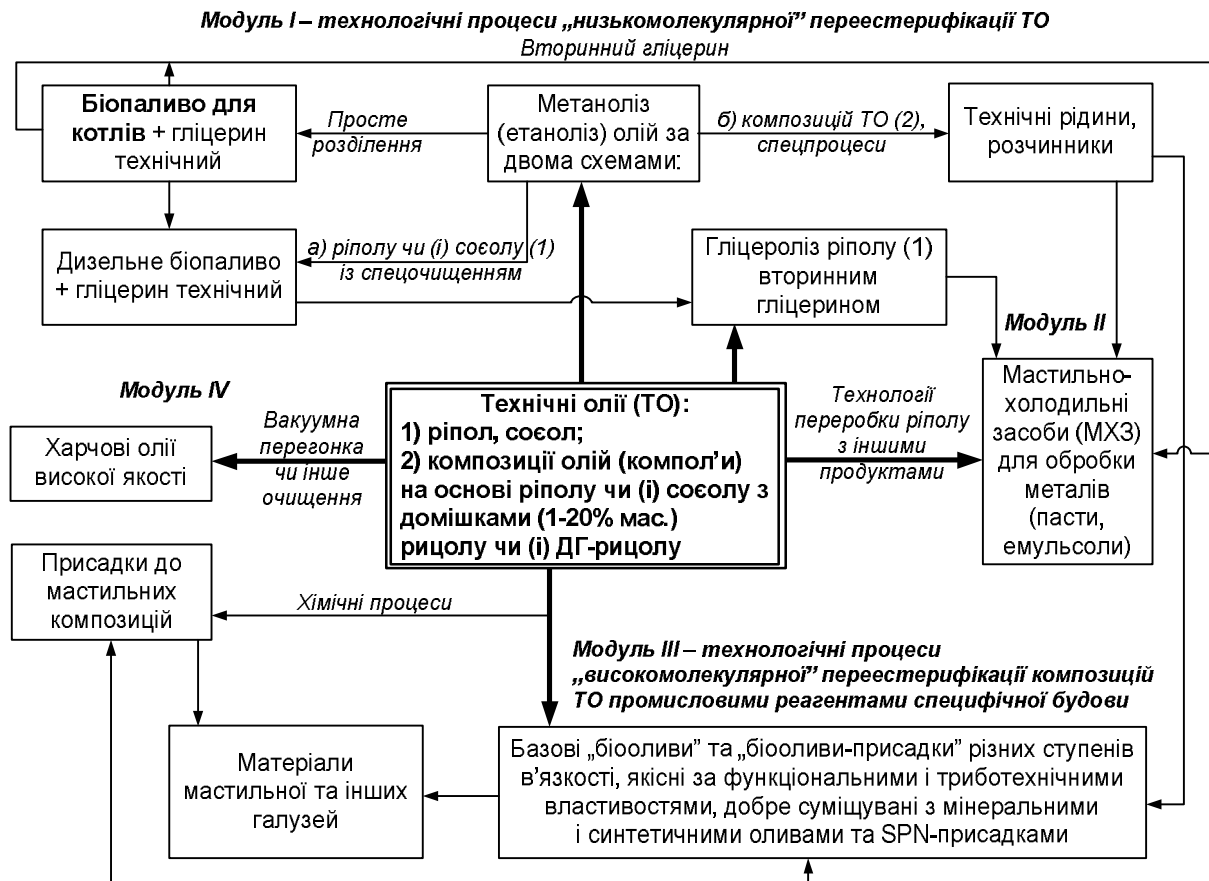


Рис. 1. Структурно-логічна схема ієрархічного і комплексного підходів до переробки технічних олій на мастильно-холодильні засоби (МХЗ) для обробки металів

Аналіз рисунків 1 і 2 переконує, що саме комплексна переробка олій (в першу чергу ріполу) має декілька визначальних рис, а саме: 1) повну циклічність (замкнутість) всіх технологічних операцій переробки; 2) практичну безвідходність виробництва багатьох типів МХЗ і біопалива; 3) можливість виробництва цілого комплексу продуктів – компонентів для виробництва багатьох типів МХЗ, включаючи і протизношувально-протизадирні присадки; 4) виробництво базової пасту-концентрату як продукту, зручного для транспортування з можливістю приготування емульсій на конкретному металообробному підприємстві.

Особливості побудови технологічної схеми виробництва нових МХЗ (рис. 3) полягають в тому, що вона складається з трьох модульних, типових технологічних операцій (за виключенням операцій метанолізу

і гліцеролізу олій як складників процесів первинної переробки олій), а саме:

1) операції сульфидування сумішей типу «олія-метилові естери ВЖК», наприклад «ріпол-мерол», яка реалізується за певною технологією, що ставить за мету одержання спочатку біооливи-S-присадки, а далі на її основі і поліфункціональних біоолив-SPN-присадок;

2) операції омилення спеціально підібраних композицій типу «олія-сульфидовмісна оліва-присадка-мінеральна оліва», наприклад, ріпол-ріпсол-мерсол-I-12A (або I-20A) концентрованим водним розчином *NaOH* за високої температури і при інтенсивному перемішуванні з метою одержання проміжної пасти-1;

3) операцій компаундування за двома напрямками: а) продуктів омилення олійної композиції та продуктів гліцеролізу ріпову з одержанням проміжної пасти –2; б) проміжної пасти –1 і функціональних добавок (в т.ч. і присадок) з одержанням базової пасти –концентрату.

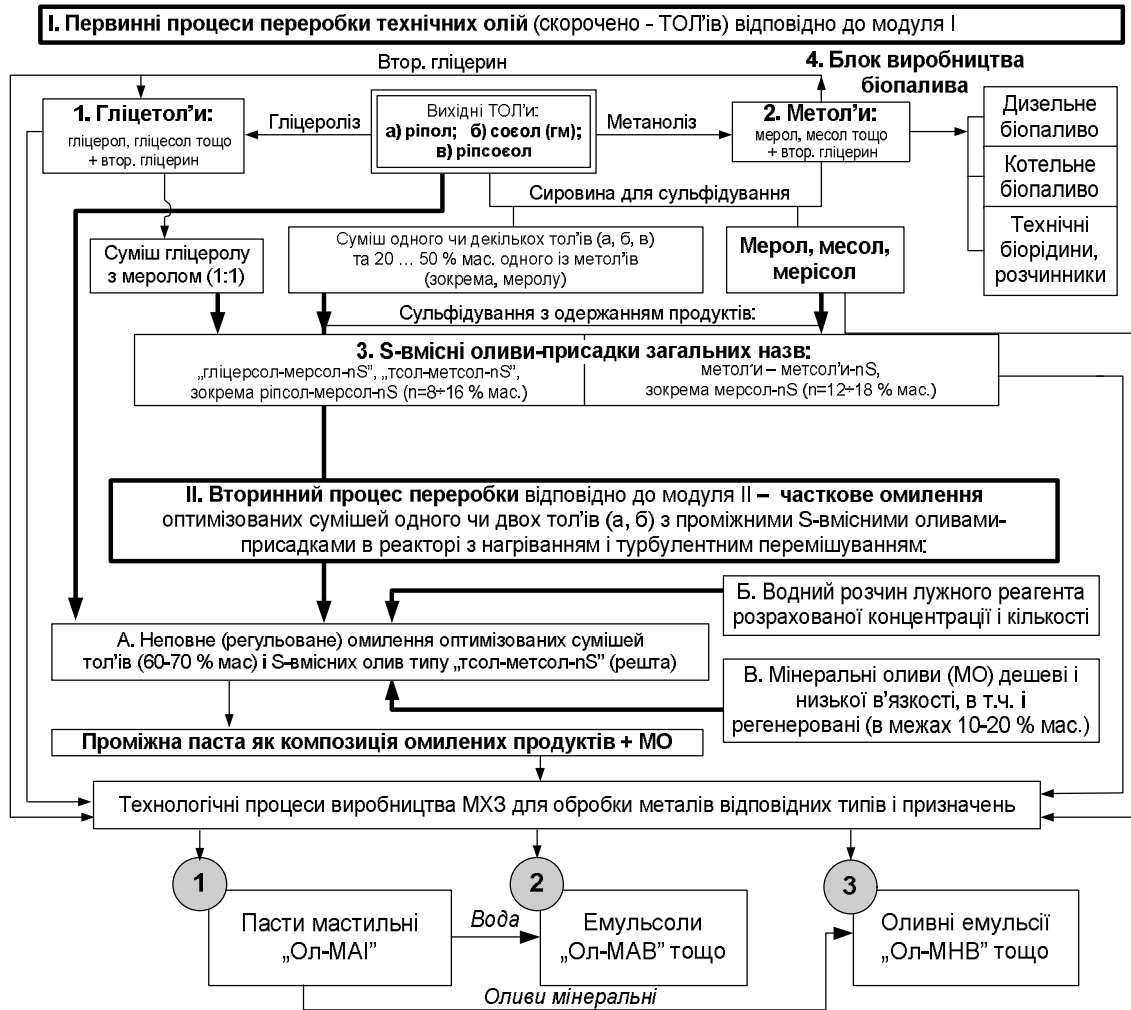
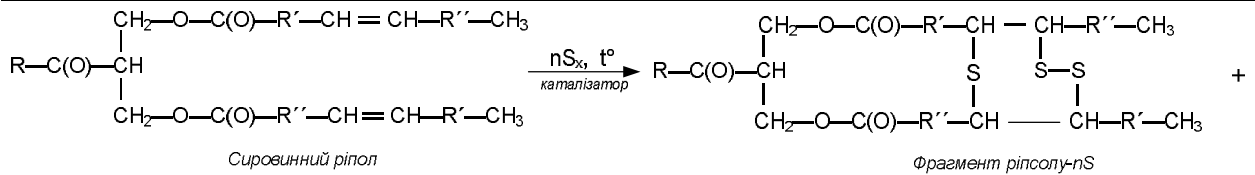


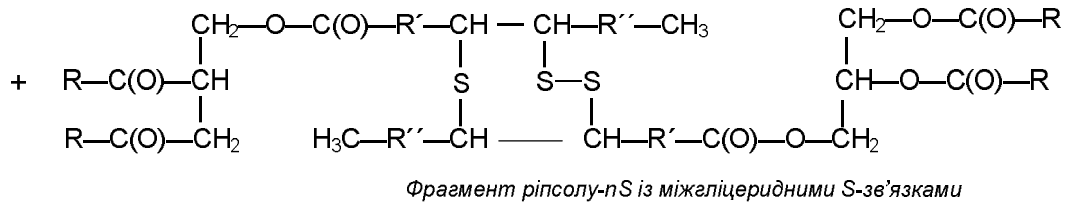
Рис. 2. Схема реалізації і принципу ієрархічної послідовності технологічних операцій комплексної переробки ріпакової олії (ріполу) на мастильно-холодильні засоби для процесів обробки металів

Важливим етапом технологічного процесу було одержання за розробленим нами методом [5,6,7,8] протизношувально-протизадирної присадки на основі переробки олій типу “ріпол – мерсол- nS” шляхом сульфидування оптимізованих композицій ріпол- мерол, чи етерол складу від 0,5 : 1 до 1 : 1. Естери вищих жирних кислот (ВЖК), похідних від структури ТО (метилові – мерол, етилові – етерол), є новими низьков'язкісними технічними, екологічно безпечними (з біорозкладаємністю в межах 85–90%) біорідинами або біорозчинниками. Їх виробляють методом метанолізу чи етанолізу ТО, зокрема ріпову, за першим модулем переробки олій (рис. 1). Нами доведена техніко-економічна доцільність, технологічна зручність і ефективність використання саме цих естерів (меролу чи етеролу) як розчинників олій (зокрема ріпову) в процесі їх сульфидування у вигляді розчинів. Сульфидування низько-в'язкісних розчинів олій (ріпову) дозволяє запобігти такому негативному для самих олій явищу як олігомеризація сульфитованих олій – ріпсолу із значним загущенням його при введенні сульфідної сірки в мінімальній кількості (в межах 6–7% мас.).

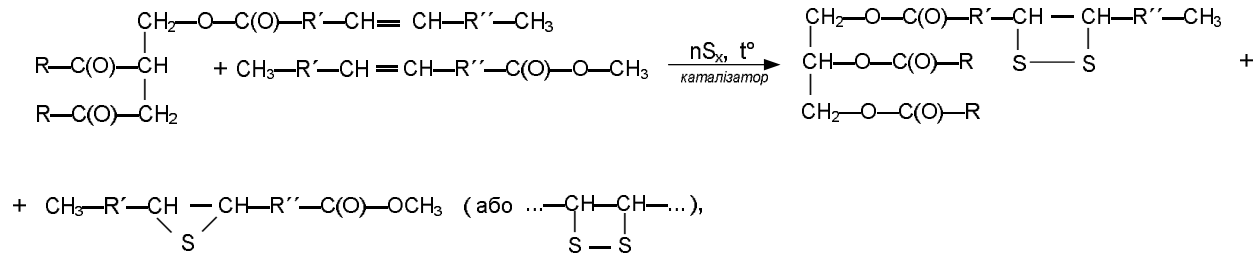
Інакше кажучи, естери ВЖК (мерол чи етерол) запобігають виникненню в процесі сульфидування значної кількості, специфічних сульфідних чи дисульфідних зв'язків певної структури в масі продукту, а саме: а) міжацильних внутрішньогліцеридних:



б) так і міжгліцеридних (міжмолекулярних):



Тоді як сульфидування запропонованих нами композицій «ріпол-мерол», наприклад складу 1:1 за таких же умов веде до сульфидування переважно окремих ацильних залишків як гліцеридів ріполу, так і метилових (етилових) естерів ВЖК [5, 7, 9]:

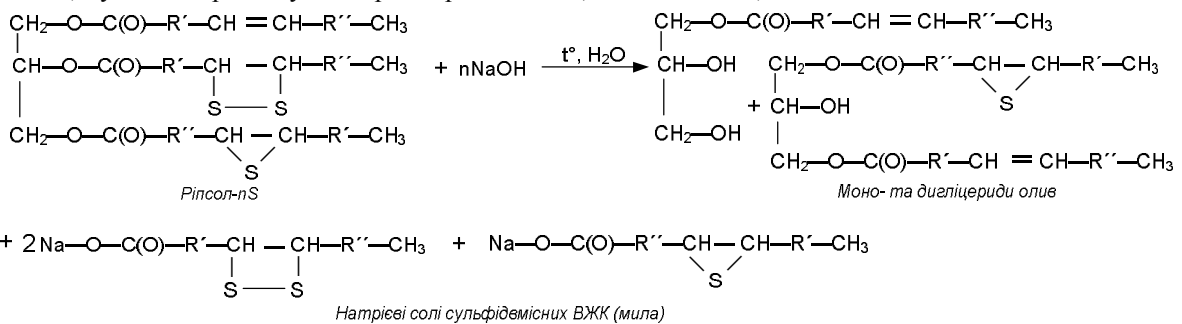


де nS – вміст S може досягти значень в межах від 10 до 18 % мас., без значного підвищення її в'язкості.

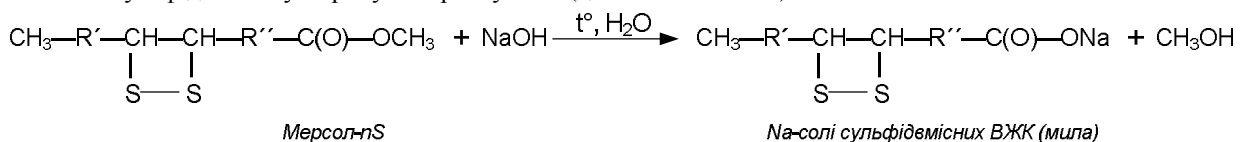
Таким чином, саме такий метод сульфидування дозволяє досягти двох більш високих якісних показників біооливи-присадки: а) одержувати зручну у використанні оливу-присадку помірно та регульованої в досить широкому інтервалі в'язкості; б) економніше її використовувати як присадку за рахунок високого та регульованого вмісту головного присадочного елементу – сульфуру, виходячи із необхідності досягнення оптимального вмісту S у відповідних мастильних матеріалах, наприклад: в оливах – в межах від 0,8 до 3,5 % мас., в емульсолах – в межах від 0,3 до 0,8 % мас., в пастах – в межах від 1,2 до 4,0 % мас. тощо [1, 5, 6].

Хіміко-технологічна сутність цієї стадії технологічного процесу виробництва МХЗ спирається на реакції часткового (в межах від 50 до 60 %) лужного гідролізу естерних структур як тригліцеридів ріполу та ріпсолу-nS, так і мерсолу-nS, відповідно до наведених схем [5, 6, 7, 8]:

а) лужний гідроліз суміші «ріпол-ріпсол-nS» (де n≈6-7% мас.)

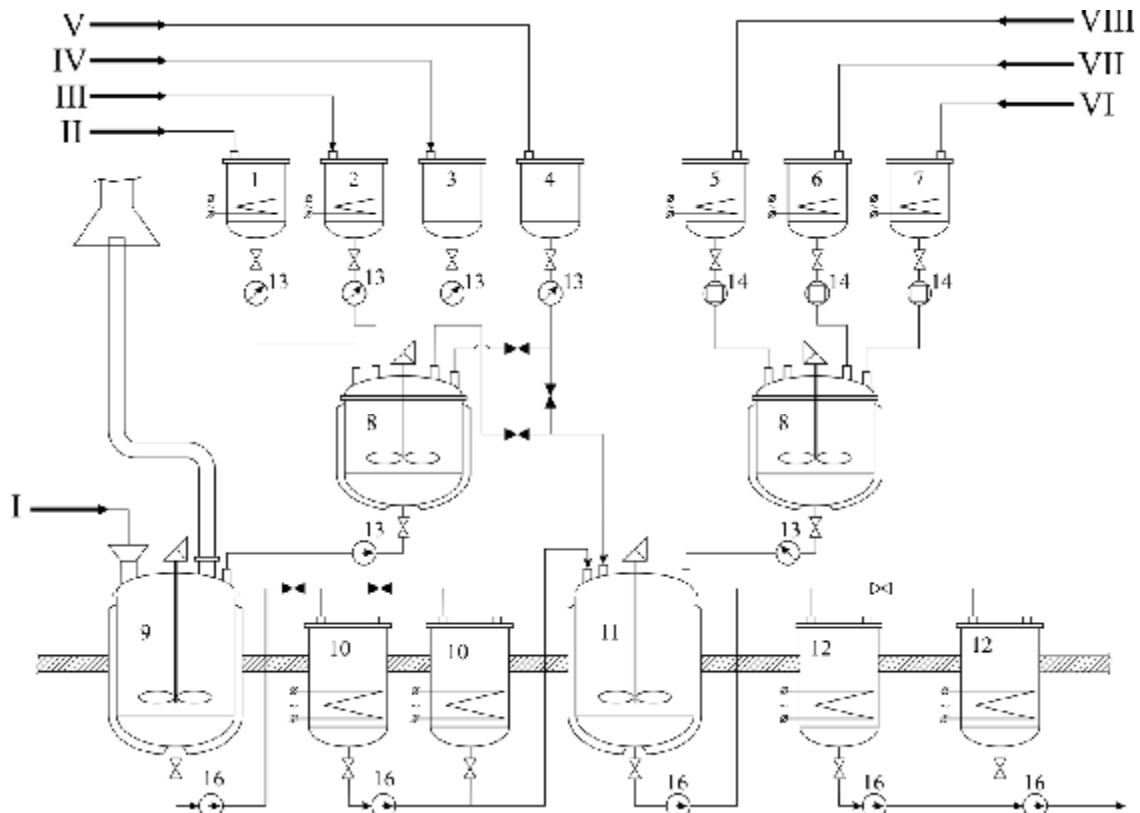


б) лужний гідроліз суміші ріполу та сульфیدованого розчину ріполу в меролі, в якому провідна роль належить сульфидованому меролу – мерсолу – nS (де n≈12-16% мас.):



Відомо, що натрієві солі сульфидованих і нессульфидованих по ацильних залишках ВЖК є поверхнево-активними речовинами (ПАР) з їх певною, хоча і обмеженою розчинністю у воді. Утворювана в перебігу омилення (лужного розщеплення) тригліцеридів олії та біооливи-S-присадки суміш моно- і дигліцеридів слугує ефективним емульгатором. Таким чином, поєднання в одному продукті – пластичній пасті властивостей ефективних ПАР та емульгаторів забезпечує здатність одержаної на цій стадії базової біопасті створювати помірно стабільні емульсії (як водні, так і оливні), які мають всі властивості якісних мастильно-холодильних засобів для обробки металів [5, 9, 10, 11, 12, 14]. При цьому одержують проміжну пластичну пасту коричневого кольору як суміш натрієвих мил ВЖК із двома типами ацильних залишків: без

сульфідних груп та із сульфідними групами, моно- і діацилгліцеринів та незначної кількості гліцерину. Тобто, одержана за таким методом паста складається із дисперсійного середовища, загущувачів, ПАР, антифрикційних компонентів. Технологічний процес виробництва пасты –концентрата відображається технологічною схемою рис. 3.



I–VIII – сировинні потоки: I – сірка; II – ріпол; III – рицол; IV – месол; V – мерірол-20; VI – олива I-20A; VII – гліцерол, або гліцерол-20; VIII – ТЕ-гліріпол (ТЕ-глікорірол-20); 1, 2, 3, 4 – сировинні резервуари; 5, 6, 7 – оливи як проміжні для компаундування; 8 – змішувачі сировинних чи проміжних матеріалів; 9 – реактор для сульфидування;

10 – накопичувачі сульфидованих олив; 11 – реактор для омилення олійно-оливних композицій з одержанням базової пасты та для компаундування; 12 – накопичувачі продуктів олив;

13 – масові дозувачі; 14 – об’ємні дозатори; 15 – витяжна система; 16 – насоси

Рис. 3 – Технологічна схема процесів: сульфидування проміжних продуктів метанолізу і гліцеролізу олій (в т.ч. і їх композицій); омилення олійно-оливних композицій на стадії виробництва МХЗ для обробки металів, а також для операції компаундування біоолив з мінеральними оливами та присадками

Далі здійснюють процес емульгування в тому ж реакторі за тих же умов ($t^{\circ} = 85\text{--}90^{\circ}\text{C}$, інтенсивному перемішуванні, протягом часу від 30 до 40 хв.), коли до одержаної проміжної пасты-1 додають: 1) оливу мінеральну, низької в’язкості типів I-12A, I-20A або регеновану такої ж в’язкості – 3,0-3,5 кг; 2) мерсол-12S як додаткову протизношувальну присадку – 2 кг; 3) вторинний гліцерин після метанолізу – від 1,0 до 1,5 кг. Матеріальний баланс технологічного процесу виробництва із ріпову біо-МХЗ у вигляді пасты представлений таблицею.

Одержують ≈ 25 кг проміжної пасты-2 як композиції із підвищеним вмістом антифрикційного компонента, а також емульгаторів і присадок. І нарешті готують ≈ 33 кг товарної базової пластичної пасты потрібного використання (як це показано на рис. 2) шляхом компаундування проміжної пасты-2 із гліцеролізованим ріполом – гліцеролом (6 кг) та водою твердістю від 3,0 до 3,5 м-екв/л (від 3,0 до 3,5 л) за умови інтенсивного перемішування протягом 30 хв при температурі від 70 до 75 $^{\circ}\text{C}$ (табл. 1).

Матеріальний баланс процесу виробництва базової пластичної пасты потрібного використання (тобто для приготування різних типів МХЗ) дає можливість проаналізувати склад, призначення і властивості продуктів і матеріалів одержаних в перебігу технологічної операції омилення (лужного гідролізу): 1) проміжні пасты 1 і 2 як такі, що містять суміш продуктів омилення композиції ріполу з іншими оливами та технічного гліцеролу, виконують роль дисперсійного середовища, а також загущувача і антифрикційного компонента; 2) базова паста-концентрат, яка також є дисперсійним середовищем, але містить крім того ще і гідрофільні компоненти та емульгатор – технічний гліцерол і вторинний гліцерин, здатна виконувати роль ефективного охолоджуючого компонента (тепловідведення).

Головним компонентом обох типів паст (дисперсійних середових МХЗ) є:

- а)гідратовані натрієві мила ВЖК як похідні від ріполу на стадії його омилення: $R_u - COONa$, $R_u'COONa$ тощо, де ацили R_u, R_u', \dots – головним чином ненасичені залишки ВЖК;
- б)гідратовані натрієві мила сульфидованих ВЖК, які містять внутрішньо- і міжмолекулярні групи

$-S-$, $-S-S-$ тощо, похідні від ріпсолу-мерсолу-12S за рахунок його омилення;

в) суміш естерних продуктів типу моно- і діацилгліцеринів, які містять ненасичені залишки R_u і R_u' – із фрагментами $-CH=CH-$.

Таблиця 1

Матеріальний баланс технологічного процесу виробництва базової пластичної пасти в кількості 33 кг для приготування безпосередньо у споживача відповідного мастильно-холодильного засобу (МХЗ) для обробки металів:

Сировина і напівпродукти	Маса, кг	Компоненти композиції пасти та товарна продукція	Маса, кг
I. Процес лужного гідролізу (омилення) олійної композиції: турбулентне перемішування, $t \approx 105-110$ °C, $t = 2$ год.			
1 Ріпол нерафінований, в т.ч. і низьких сортів	13,0	Проміжна паста 1 як суміш натрієвих мил ВЖК (в т.ч. і сульфідвмісних), моногліцеридів олії та незначної кількості гліцерину – загущувачів, ПАР, антифрикційних компонентів	19,0
2 Ріпсол-мерсол-12S	2,0		
3 Водний розчин NaOH, в межах від 25 до 28 % мас. (1,3 кг NaOH)	4,0		
II. Процес емульгування: турбулентне перемішування, $t \approx 85-90$ °C, $t = 30$ хв.			
4 Олива індустріальна, типів I-12A, I-20A або регенована такої ж в'язкості	3,0	Проміжна паста 2 як композиція пасти 1 із емульгатором, присадкою, антифрикційною дисперсійною фазою	25,0
5 Мерсол-12S (присадка)	2,0		
6 Вторинний гліцерин (після метанолізу)	1,0		
III. Компаундування: турбулентне перемішування, $t \approx 70$ °C, $t = 30$ хв.			
7 Гліцерол	6,0	Товарна базова пластична паста як модифікована композиційна паста потрібного використання в процесах обробки металів	33,0
8 Вода твердістю від 3,0 до 3,5 мекв/л	3,0		
Σ :	33,0		
Готують 100 кг емульсолу-концентрату або оливної емульсії-концентрату в межах від 66 до 70 кг			

Дисперсійною фазою в таких пастах є низьков'язкісні продукти: а) мінеральні оливи типу I-12A, I-20A або аналогічні регеновані; б) технічна рідина – мерол, як депресант і диспергатор; в) гліцерол технічний як змочувач і емульгатор. Функціональна роль окремих компонентів в складі базової пасти-концентрату [5, 6, 8]: а) натрієві мила ВЖК (сульфідованих і нессульфідованих) – загущувачі, поверхнево активні речовини (ПАР), частково антифрикційні добавки; б) моно- і діацилгліцерини ВЖК – біо оливні компоненти високої трибохімічної активності, антифрикційні і протизношувальні компоненти; в) сульфідні і дисульфідні групи в складі ацильних залишків гліцеридів, а також в складі ВЖК у формі їх натрієвих мил – протизношувально-протизадирні присадки; г) гліцерил технічний – емульгатор і диспергатор, прискорювач процесів теплообміну; д) оливи мінеральні – дисперсна і антифрикційна фаза.

Висновок

Розроблені методи і технологічні основи перероблення як окремих олій (ріпакової, соєвої-гм), так і композицій олій, зокрема їх метаноліз, гліцероліз, гліколіз, сульфидування і етанол амідування дозволили створити композиційні біоматеріали: біооливи, біооливи-присадки, біорозчинники, біо-ПАР. Змодельована технологічна схема виробництва з апаратурним її оформленням; розрахований матеріальний баланс. Одержані дослідні зразки достатні для лабораторних і промислових випробувань.

Література

1. Кириченко В.І. Хіміко-технологічні аспекти комплексної переробки технічних рослинних олій в нові екологічно безпечні продукти / В.В. Кириченко, О.М. Полумбрик, В.І. Кириченко // Вопросы химии и химической технологии. – Дніпропетровськ: УДХТУ, 2008. – № 1. – С. 141–144.
2. Кириченко В.І. Якісні біоматеріали з технічних олій: стан і перспективи переробки / В.В. Кириченко, О.М. Полумбрик, В.І. Кириченко // Хімічна промисловість України. – К., 2008. – № 3. – С. 9–18.
3. Кириченко В.І. Биосинтетические материалы из технических масел в контексте энерго- и ресурсосберегающих технологий их комплексной переработки. «Проблема комплексной переработки масел: состояние и перспективы решений» / В.И. Кириченко, Л.М. Кириченко // Научн.-практ. журнал «Масложировой комплекс». – Днепропетровск, 2009. – №1(24). – Ч. 1 – 49–54.
4. Кириченко В.І. Нові технології комплексної переробки олій на якісні біосинтетичні матеріали широкого асортименту та різногалузевих призначень / В.І. Кириченко, Л.М. Кириченко // Тезиси докладов II-й Междн. научн.-техн. конф. «Химия и технология жиров: перспективы развития масложировой отрасли» (Алушта, АР Крым, 21–29 сентября 2009 г.). – Днепропетровск: Эксперт-Агро, 2009. – С. 15–19.
5. Пат. 71073, Україна, 2004. С10М129/56, С10М133/08, 135/00. – Пластична паста подвійного

призначення для процесів механічної обробки металів / В.І. Кириченко, В.П. Свідерський ; заявл. 16.07.2003 ; опубл. 15.11.2004, Бюл. № 11, 2004.

6. Пат. 65014, Україна, 2006. С10М115/00, С10М101/04, С10129/08, С10М137/00. – Мазильна композиція «Глірапсол-нS-МАРН» / В.І. Кириченко, В.П. Свідерський ; заявл. 24.04.2003 ; опубл. 15.09.2006, Бюл. № 9, 2006.

7. Пат. №84484. Україна, МПХ С10М177/00, 105/00; С07С67/00; С11С3/00. – Спосіб одержання базових для галузі ММ біосинтетичних олів/ В.В. Кириченко, В.І. Кириченко ; заявл. 15.02.2007. опубл. 27.10.2008. Бюл. № 20 2008.

8. Пат. №91623. Україна, МПХ С10М177/00, 111/00,141/00; С07С67/00, 31900. – Спосіб одержання базових для галузі ММ біосинтетичних олів – присадок./В. В. Кириченко, В.І. Кириченко ; заявл. 24.12.2008. опубл. 25.06.2010. Бюл. №12, 2010.

9. Ребиндер П.А., Венстрем Е.К. Влияние среды и адсорбционных слоев на пластическое течение металлов / П.А. Ребиндер, Е.К. Венстрем. – М. : Наука, 1979. – С. 154–169.

10. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов / [Энтелис С.Г., Берлинер Э.М., Горлевский В.А. и др.]. – М. : Машиностроение, 1995. – 496 с.

11. Stephina Vaclav. Lubricants and special fluids / V.Stephina. V. Vesely. – Amsterdam. London. New York. Tokio. 1992.–700p.

12. Lubricants and lubrication. – 2nd Ed/ Edited by TR. Mang and W. Dresel. – WILEY – VCH Verlag GmbH. Weinheim. 2006. – 586 p.

13. Mortier R. M. Chemistry and technology of Lubrication / R. M. Mortier. S. T. Orzulik. – Eds. Blackie and Son Ltd.. Glasgow. 1997. – 610 p.

14. Rudnick L. R. Lubricant Additives: chemistry and application / L.R. Rudnick – Ed. Marsel Dekker. – New York. 2003. – 550 p.

15. Rudnick L. R. Syntethics, Mineral Oils and Bio-Based Fluids / L. R. Rudnick. – Ed Marsel Dekker. – New York. 2005. – 680 p.

Статтю представив: к.т.н. Кириченко В.І.
Надійшла 20.2.2012 р.

УДК 519.832.3+519.711.2

В.В. РОМАНЮК

Хмельницький національний університет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КВАЗИРАВНОВЕРЯТНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИЗ КОНТИНУУМА ОПТИМАЛЬНЫХ СТРАТЕГИЙ В СТРОГОЙ ЗАДАЧЕ УСТРАНЕНИЯ ОДНОПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ТРЁХМОДЕЛЬНОЙ {2ε, 3ε}-НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ПО ПРИНЦИПУ ГАРАНТИРОВАНО МИНИМАЛЬНЫХ АБСОЛЮТНЫХ ОТКЛОНЕНИЙ

Решается строгая задача устранения однопараметрической трёхмодельной неопределённости, где отклонения второго и третьего модельных значений относительно первого оказались в соотношении 2:3. Цель определения квазиравновероятного распределения из континуума оптимальных стратегий второго игрока в игровой антагонистической модели такого устранения может быть достигнута либо с помощью метода наименьших квадратов, либо на основе выбора наименьшего максимального отношения. Показывается приемлемость именно первого принципа, что может использоваться в устранении любых неопределённостей с тремя зафиксированными значениями.

There is solved the strict problem of removing single-parameter three-model uncertainty, where deviations of the second and third model values relative to the first appeared at a ratio of 2:3. The purpose of determining quasiuniform distribution from the continuum of the second player optimal strategies in the gaming antagonistic model of such removal can be achieved either with the least-squares method or on the basis of selecting the least maximal ratio. There is demonstrated acceptability of just the first principle, what may be used in removing any uncertainties with three fixed values.

Ключевые слова: неопределённость, модельная неопределённость, устранение неопределённостей, трёхмодельная неопределённость, принцип гарантировано минимальных абсолютных отклонений, строгая задача устранения неопределённостей, оптимальная стратегия второго игрока, континуум оптимальных стратегий, определение квазиравновероятного распределения.

Вступлення

Устранение неопределённостей в смысле сведения их характеристик к однозначному показателю принадлежит к классу актуальных проблем теории принятия решений, поскольку порождение неопределённостей является естественной частью любого процесса построения, анализа и применения математических моделей (в частности, в прогнозировании устойчивости и изнашивания). Модельные

неопределённости, возникающие вследствие применения более чем одной математической модели для описания объекта, можно классифицировать по количеству их выходных параметров. Вполне естественно, что однопараметрические модельные неопределённости являются наиболее простыми среди всех классов таких неопределённостей, однако и здесь возникают задачи, требующие тщательного рассмотрения.

Известные концепции устранения неопределённостей

Очевидно, что задачу устранения однопараметрических модельных неопределённостей можно уяснить как более абстрактную задачу устранения неопределённостей в значении некоего параметра, если только речь не идёт о выборе конкретной математической модели из предоставляемого набора моделей [1, 2], порождающего неопределённость. В таком случае можно говорить о строгой задаче устранения однопараметрической модельной неопределённости, где концепция среднего арифметического [3, 4] или математического ожидания по предполагаемому неравновероятному распределению [5] едва ли применима. Поэтому существует иная концепция, являющаяся наиболее непредубеждённой, где используется спектр оптимальной стратегии второго игрока (ОСВИ) в игровой антагонистической модели (ИАМ), составленной по принципу гарантировано минимальных абсолютных отклонений (ПГМАО) известных значений параметра от его условно истинного (скорее, предполагаемого) значения [6, 7]. Но следует отметить, что результат устранения неопределённостей с двумя наблюдаемыми значениями параметра одинаков для концепций среднего арифметического и ПГМАО, так как ОСВИ в соответствующей ИАМ будет состоять в равновероятном выборе каждой из его двух чистых стратегий.

Цель статьи и постановка задачи

Исключив случай с двухмодельной неопределённостью как тривиальный, где строгая задача устранения однопараметрической модельной неопределённости решается равновероятным применением каждой модели, будем рассматривать три математических модели в описании объекта с одним параметром. Пусть в определённый момент времени наблюдения за значениями (МВНЗ) этого параметра станут известными величины

$$\{v_i\}_{i=1}^3 = \{v_1, v_1 + 2\varepsilon, v_1 + 3\varepsilon\}, \quad \varepsilon > 0, \quad (1)$$

где число v_i в наборе данных (1) является величиной (возможно, безразмерной) параметра объекта, описываемого в МВНЗ этого параметра с помощью i -й математической модели, $i = \overline{1, 3}$. В строгой задаче устранения такой однопараметрической трёхмодельной $\{2\varepsilon, 3\varepsilon\}$ -неопределённости требуется выбрать оценку \hat{v} исследуемого параметра v как

$$\hat{v} \in \{v_1, v_1 + 2\varepsilon, v_1 + 3\varepsilon\}. \quad (2)$$

Очевидно, что среднее арифметическое

$$\bar{v} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 v_i = v_1 + \frac{5}{3} \varepsilon \quad (3)$$

здесь неприменимо вовсе. А, построив согласно ПГМАО

$$u_{kj} = |v_k - v_j| \quad \forall k = \overline{1, 3} \quad \text{и} \quad \forall j = \overline{1, 3} \quad (4)$$

соответствующую матричную 3×3 -игру

$$\left\langle \{m_k\}_{k=1}^3, \{s_j\}_{j=1}^3, [u_{kj}]_{3 \times 3} \right\rangle = \left\langle \{m_k\}_{k=1}^3, \{s_j\}_{j=1}^3, \varepsilon \cdot \begin{bmatrix} 0 & 2 & 3 \\ 2 & 0 & 1 \\ 3 & 1 & 0 \end{bmatrix} \right\rangle, \quad (5)$$

где чистая стратегия m_k первого игрока означает то, что именно k -я модель со значением её параметра v_k является основной, а чистая стратегия s_j второго игрока означает выбор им оценки v_j или, что то же самое, принятие j -й модели как основной, получим континуум ОСВИ

$$\bar{Q} = [\bar{q}_1 \quad \bar{q}_2 \quad \bar{q}_3] \subset \bar{Q} = \left\langle \bar{Q} = \left[\frac{1}{4}(1+\lambda) \quad \frac{3}{4}(1-\lambda) \quad \frac{1}{2}\lambda \right] \subset \mathbb{R}^3 : \lambda \in [0; 1] \right\rangle \subset Q \quad (6)$$

из фундаментального двумерного симплекса (равностороннего треугольника)

$$\mathcal{Q} = \{ \mathbf{Q} = [q_1 \ q_2 \ q_3] \in \mathbb{R}^3 : q_j \in [0; 1] \ \forall j = \overline{1, 3}, q_1 + q_2 + q_3 = 1 \}. \quad (7)$$

И цель статьи тогда заключается в определении квазиравновероятного распределения (КРВР) из континуума ОСВИ (6), которое должно быть максимально приближено к равновероятному распределению (РВР)

$$\left[\frac{1}{3} \ \frac{1}{3} \ \frac{1}{3} \right] \notin \mathcal{Q}, \quad (8)$$

где РВР точно не достижимо, иначе тогда ПГМАО совпал бы с концепцией среднего арифметического. Для определения КРВР

$$\bar{\mathbf{Q}}^* = [\bar{q}_1^* \ \bar{q}_2^* \ \bar{q}_3^*] \in \bar{\mathcal{Q}}^* \subset \bar{\mathcal{Q}} = \left\{ \bar{\mathbf{Q}} = \left[\frac{1}{4}(1+\lambda) \ \frac{3}{4}(1-\lambda) \ \frac{1}{2}\lambda \right] \in \mathbb{R}^3 : \lambda \in [0; 1] \right\} \subset \mathcal{Q} \text{ при } |\bar{\mathcal{Q}}^*| = 1 \quad (9)$$

можно использовать несколько подходов, среди которых — метод наименьших квадратов (МНК) и метод наименьшего максимального отношения (МНМО), поэтому совершение выбора (9) из фундаментального двумерного симплекса (7) необходимо обосновать аналитически. Обоснованный выбор (9) будет означать решение строгой задачи устранения однопараметрической трёхмодельной $\{2\epsilon, 3\epsilon\}$ -неопределённости по ПГМАО, в котором выбор оценки \bar{q}_j исследуемого параметра v по правилу (2) подразумевает обращение к j -й математической модели с вероятностью \bar{q}_j^* при $j = \overline{1, 3}$.

Решение строгой задачи (2) устранения однопараметрической трёхмодельной $\{2\epsilon, 3\epsilon\}$ -неопределённости (1) по ПГМАО (4)

Если использовать принцип минимизации квадратов отклонений (МНК), то для определения КРВР (9) необходимо решить задачу

$$\arg \min_{\bar{\mathcal{Q}} \subset \mathcal{Q}} \left(\sum_{j=1}^3 \left(\bar{q}_j - \frac{1}{3} \right)^2 \right) = \arg \min_{\left[\frac{1}{4}(1+\lambda) \ \frac{3}{4}(1-\lambda) \ \frac{1}{2}\lambda \right] \in \mathcal{Q}} \left(\sum_{j=1}^3 \left(\bar{q}_j - \frac{1}{3} \right)^2 \right), \quad (10)$$

смысл которой состоит в максимально возможном приближении каждой вероятности \bar{q}_j к значению $\frac{1}{3}$.

Однако наряду с задачей (10) стоит рассмотреть и задачу

$$\arg \min_{\bar{\mathcal{Q}} \subset \mathcal{Q}} \left(\sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 \left(\bar{q}_j - \bar{q}_k \right)^2 \right) = \arg \min_{\left[\frac{1}{4}(1+\lambda) \ \frac{3}{4}(1-\lambda) \ \frac{1}{2}\lambda \right] \in \mathcal{Q}} \left(\sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^3 \left(\bar{q}_j - \bar{q}_k \right)^2 \right), \quad (11)$$

смысл которой состоит в максимально возможном приближении вероятностей $\{\bar{q}_j\}_{j=1}^3$ к друг другу, что в данном случае эквивалентно задаче (10). Также, используя МНМО, получим задачу

$$\begin{aligned} & \arg \min_{\bar{\mathcal{Q}} \subset \mathcal{Q}} \left(\max \left\{ \max \left\{ \frac{\bar{q}_1}{\bar{q}_2}, \frac{\bar{q}_2}{\bar{q}_1} \right\}, \max \left\{ \frac{\bar{q}_1}{\bar{q}_3}, \frac{\bar{q}_3}{\bar{q}_1} \right\}, \max \left\{ \frac{\bar{q}_2}{\bar{q}_3}, \frac{\bar{q}_3}{\bar{q}_2} \right\} \right\} \right) = \\ & = \arg \min_{\left[\frac{1}{4}(1+\lambda) \ \frac{3}{4}(1-\lambda) \ \frac{1}{2}\lambda \right] \in \mathcal{Q}} \left(\max \left\{ \frac{\bar{q}_1}{\bar{q}_2}, \frac{\bar{q}_2}{\bar{q}_1}, \frac{\bar{q}_1}{\bar{q}_3}, \frac{\bar{q}_3}{\bar{q}_1}, \frac{\bar{q}_2}{\bar{q}_3}, \frac{\bar{q}_3}{\bar{q}_2} \right\} \right) = \\ & = \arg \min_{\lambda \in [0; 1]} \left(\max \left\{ \frac{1+\lambda}{3(1-\lambda)}, \frac{3(1-\lambda)}{1+\lambda}, \frac{1+\lambda}{2\lambda}, \frac{2\lambda}{1+\lambda}, \frac{3(1-\lambda)}{2\lambda}, \frac{2\lambda}{3(1-\lambda)} \right\} \right). \end{aligned} \quad (12)$$

Смысл задачи (12) состоит в максимально возможном относительном приближении вероятностей $\{\bar{q}_j\}_{j=1}^3$ к друг другу, что отличается от максимально возможного абсолютного приближения в задаче (10) или (11). Покажем, что существует некий критерий, согласно которого именно задача (10) определяет выбор (9). Для этого проверим справедливость утверждения, что решение задачи (10) или (11) является лучшим, чем решение задачи (12), в смысле минимизации абсолютного отклонения от РВР (8) при любом масштабировании.

Сначала решим каждую из задач (10) — (12). Итак,

$$\sum_{j=1}^3 \left(q_j - \frac{1}{3} \right)^2 = \left(\frac{1}{4}(1+\lambda) - \frac{1}{3} \right)^2 + \left(\frac{3}{4}(1-\lambda) - \frac{1}{3} \right)^2 + \left(\frac{1}{2}\lambda - \frac{1}{3} \right)^2 = f(\lambda), \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \frac{df}{d\lambda} &= \frac{d}{d\lambda} \sum_{j=1}^3 \left(q_j - \frac{1}{3} \right)^2 = \frac{d}{d\lambda} \left[\left(\frac{1}{4}(1+\lambda) - \frac{1}{3} \right)^2 + \left(\frac{3}{4}(1-\lambda) - \frac{1}{3} \right)^2 + \left(\frac{1}{2}\lambda - \frac{1}{3} \right)^2 \right] = \\ &= \frac{1}{2} \left(\frac{1}{4}\lambda - \frac{1}{12} \right) + \frac{3}{2} \left(\frac{3}{4}\lambda - \frac{5}{12} \right) + \left(\frac{1}{2}\lambda - \frac{1}{3} \right) = \\ &= \frac{1}{8}\lambda - \frac{1}{24} + \frac{9}{8}\lambda - \frac{5}{8} + \frac{1}{2}\lambda - \frac{1}{3} = \frac{7}{4}\lambda - 1, \end{aligned} \quad (14)$$

где первая производная (14) функции (13) имеет единственный нуль

$$\lambda = \lambda^* = \frac{4}{7}. \quad (15)$$

Так как

$$\frac{d^2 f}{d\lambda^2} = \frac{d}{d\lambda} \left(\frac{7}{4}\lambda - 1 \right) = \frac{7}{4} > 0,$$

то (15) является точкой минимума функции (13), откуда получаем

$$\mathbf{Q}^* = \left[\frac{11}{28} \quad \frac{9}{28} \quad \frac{2}{7} \right]. \quad (16)$$

Далее,

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^3 \sum_{p=1}^{j-1} (q_p - q_j)^2 &= (q_1 - q_2)^2 + (q_1 - q_3)^2 + (q_2 - q_3)^2 = \\ &= \left(\frac{1}{4}(1+\lambda) - \frac{3}{4}(1-\lambda) \right)^2 + \left(\frac{1}{4}(1+\lambda) - \frac{1}{2}\lambda \right)^2 + \left(\frac{3}{4}(1-\lambda) - \frac{1}{2}\lambda \right)^2 = \\ &= \left(\lambda - \frac{1}{2} \right)^2 + \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{4}\lambda \right)^2 + \left(\frac{3}{4} - \frac{5}{4}\lambda \right)^2 = h(\lambda), \end{aligned} \quad (17)$$

$$\begin{aligned} \frac{dh}{d\lambda} &= \frac{d}{d\lambda} \sum_{j=1}^3 \sum_{p=1}^{j-1} (q_p - q_j)^2 = \frac{d}{d\lambda} \left[\left(\lambda - \frac{1}{2} \right)^2 + \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{4}\lambda \right)^2 + \left(\frac{3}{4} - \frac{5}{4}\lambda \right)^2 \right] = \\ &= 2 \left(\lambda - \frac{1}{2} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{4}\lambda \right) - \frac{5}{2} \left(\frac{3}{4} - \frac{5}{4}\lambda \right) = \\ &= 2\lambda - 1 - \frac{1}{8} + \frac{1}{8}\lambda - \frac{15}{8} + \frac{25}{8}\lambda = \frac{21}{4}\lambda - 3. \end{aligned} \quad (18)$$

Первая производная (18) функции (17) имеет единственный нуль (15), который в силу того, что

$$\frac{d^2 h}{d\lambda^2} = \frac{d}{d\lambda} \left(\frac{21}{4}\lambda - 3 \right) = \frac{21}{4} > 0,$$

является точкой минимума функции (17), откуда опять получаем (16).

Для решения задачи (12) сперва решим задачу

$$\min_{\lambda \in [0; 1]} \left(\max \left\{ \frac{1+\lambda}{3(1-\lambda)}, \frac{3(1-\lambda)}{1+\lambda}, \frac{1+\lambda}{2\lambda}, \frac{2\lambda}{1+\lambda}, \frac{3(1-\lambda)}{2\lambda}, \frac{2\lambda}{3(1-\lambda)} \right\} \right). \quad (19)$$

Допустим, что под знаком максимума в (19) для некоторых значений λ из отрезка $[0; 1]$ выполнено

$$\frac{1-\lambda}{3(1-\lambda)} \geq \frac{3(1-\lambda)}{1+\lambda}. \quad (20)$$

Тогда

$$1 - \lambda \geq 3(1 - \lambda), \lambda \geq \frac{1}{2}$$

и

$$\frac{1 - \lambda}{3(1 - \lambda)} \geq \frac{3(1 - \lambda)}{1 + \lambda} \quad \forall \lambda \in \left[\frac{1}{2}; 1 \right]. \quad (21)$$

Далее,

$$1 + \lambda - 2\lambda = 1 - \lambda \geq 0, 1 + \lambda \geq 2\lambda,$$

откуда получаем

$$\frac{1 - \lambda}{2\lambda} \geq \frac{2\lambda}{1 + \lambda} \quad \forall \lambda \in [0; 1]. \quad (22)$$

Кроме того, для числителя и знаменателя последних двух элементов множества под знаком максимума в (19) имеем

$$3(1 - \lambda) - 2\lambda = 3 - 5\lambda \geq 0 \quad \forall \lambda \leq \frac{3}{5}, \quad (23)$$

то есть

$$\frac{3(1 - \lambda)}{2\lambda} \geq \frac{2\lambda}{3(1 - \lambda)} \quad \forall \lambda \leq \frac{3}{5}. \quad (24)$$

Теперь с учётом (21), (22) и (24) можем записать следующее:

$$\begin{aligned} & \max \left\{ \frac{1 + \lambda}{3(1 - \lambda)}, \frac{3(1 - \lambda)}{1 + \lambda}, \frac{1 + \lambda}{2\lambda}, \frac{2\lambda}{1 + \lambda}, \frac{3(1 - \lambda)}{2\lambda}, \frac{2\lambda}{3(1 - \lambda)} \right\} = \\ & = \max \left\{ \frac{1 + \lambda}{3(1 - \lambda)}, \frac{1 + \lambda}{2\lambda}, \frac{3(1 - \lambda)}{2\lambda} \right\} \quad \forall \lambda \in \left[\frac{1}{2}; \frac{3}{5} \right]. \end{aligned} \quad (25)$$

Применяя к (25) неравенство (23), получаем

$$\frac{1 + \lambda}{3(1 - \lambda)} \leq \frac{1 + \lambda}{2\lambda} \quad \forall \lambda \in \left[\frac{1}{2}; \frac{3}{5} \right]. \quad (26)$$

Также

$$1 - \lambda - 3(1 - \lambda) = -2 + 4\lambda \geq 0 \quad \forall \lambda \geq \frac{1}{2}$$

и

$$\frac{1 - \lambda}{2\lambda} \geq \frac{3(1 - \lambda)}{2\lambda} \quad \forall \lambda \in \left[\frac{1}{2}; \frac{3}{5} \right]. \quad (27)$$

С учётом (26) и (27) из соотношения (25) выделяется максимальный элемент:

$$\max \left\{ \frac{1 + \lambda}{3(1 - \lambda)}, \frac{1 + \lambda}{2\lambda}, \frac{3(1 - \lambda)}{2\lambda} \right\} = \max \left\{ \frac{1 + \lambda}{2\lambda}, \frac{3(1 - \lambda)}{2\lambda} \right\} = \frac{1 + \lambda}{2\lambda} \quad \forall \lambda \in \left[\frac{1}{2}; \frac{3}{5} \right]. \quad (28)$$

Рассматривая соотношения между элементами множества под знаком максимума в (19) при $\lambda \in \left[\frac{3}{5}; 1 \right]$ с помощью (21), (22) и

$$\frac{3(1-\lambda)}{2\lambda} \leq \frac{2\lambda}{3(1-\lambda)} \quad \forall \lambda \in \left[\frac{3}{5}; 1\right] \quad (29)$$

из (23), исключаем последовательно значения, не превосходящие другие:

$$\begin{aligned} & \max \left\{ \frac{1+\lambda}{3(1-\lambda)}, \frac{3(1-\lambda)}{1+\lambda}, \frac{1+\lambda}{2\lambda}, \frac{2\lambda}{1+\lambda}, \frac{3(1-\lambda)}{2\lambda}, \frac{2\lambda}{3(1-\lambda)} \right\} = \\ & = \max \left\{ \frac{1+\lambda}{3(1-\lambda)}, \frac{1+\lambda}{2\lambda}, \frac{2\lambda}{3(1-\lambda)} \right\} = \max \left\{ \frac{1+\lambda}{3(1-\lambda)}, \frac{2\lambda}{3(1-\lambda)} \right\} = \frac{1+\lambda}{3(1-\lambda)} \quad \forall \lambda \in \left[\frac{3}{5}; 1\right], \end{aligned} \quad (30)$$

где также использовано

$$\frac{1+\lambda}{3(1-\lambda)} \geq \frac{1+\lambda}{2\lambda} \quad \forall \lambda \in \left[\frac{3}{5}; 1\right] \quad (31)$$

и $1-\lambda \geq 2\lambda$. Наконец, рассматривая соотношения между элементами множества под знаком максимума в (19) при $\lambda \in \left[0; \frac{1}{2}\right]$ с помощью

$$\frac{1+\lambda}{3(1-\lambda)} \leq \frac{3(1-\lambda)}{1+\lambda} \quad \forall \lambda \in \left[0; \frac{1}{2}\right] \quad (32)$$

из (21), (22) и (24), получаем

$$\begin{aligned} & \max \left\{ \frac{1+\lambda}{3(1-\lambda)}, \frac{3(1-\lambda)}{1+\lambda}, \frac{1+\lambda}{2\lambda}, \frac{2\lambda}{1+\lambda}, \frac{3(1-\lambda)}{2\lambda}, \frac{2\lambda}{3(1-\lambda)} \right\} = \\ & = \max \left\{ \frac{3(1-\lambda)}{1+\lambda}, \frac{1+\lambda}{2\lambda}, \frac{3(1-\lambda)}{2\lambda} \right\} = \max \left\{ \frac{3(1-\lambda)}{1+\lambda}, \frac{3(1-\lambda)}{2\lambda} \right\} = \frac{3(1-\lambda)}{2\lambda} \quad \forall \lambda \in \left[0; \frac{1}{2}\right], \end{aligned} \quad (33)$$

где также использовано

$$\frac{1-\lambda}{2\lambda} \leq \frac{3(1-\lambda)}{2\lambda} \quad \forall \lambda \in \left[0; \frac{1}{2}\right] \quad (34)$$

и $1-\lambda \geq 2\lambda$. С учётом (28), (30) и (33) перепишем теперь задачу (19) таким образом:

$$\begin{aligned} & \min_{\lambda \in [0;1]} \left(\max \left\{ \frac{1+\lambda}{3(1-\lambda)}, \frac{3(1-\lambda)}{1+\lambda}, \frac{1+\lambda}{2\lambda}, \frac{2\lambda}{1+\lambda}, \frac{3(1-\lambda)}{2\lambda}, \frac{2\lambda}{3(1-\lambda)} \right\} \right) = \\ & = \min_{\lambda \in [0;1]} \left(\max \left\{ \frac{1+\lambda}{3(1-\lambda)}, \frac{3(1-\lambda)}{1+\lambda}, \frac{1+\lambda}{2\lambda}, \frac{3(1-\lambda)}{2\lambda}, \frac{2\lambda}{3(1-\lambda)} \right\} \right) = \\ & = \min \left\{ \min_{\lambda \in [0; \frac{1}{2}]} \frac{3(1-\lambda)}{2\lambda}, \min_{\lambda \in [\frac{1}{2}; \frac{3}{5}]} \frac{1+\lambda}{2\lambda}, \min_{\lambda \in [\frac{3}{5}; 1]} \frac{1+\lambda}{3(1-\lambda)} \right\} = \\ & = \min \left\{ \min_{\lambda \in [0; \frac{1}{2}]} \psi_1(\lambda), \min_{\lambda \in [\frac{1}{2}; \frac{3}{5}]} \psi_2(\lambda), \min_{\lambda \in [\frac{3}{5}; 1]} \psi_3(\lambda) \right\}. \end{aligned} \quad (35)$$

Поскольку

$$\frac{d\psi_1}{d\lambda} = \frac{d}{d\lambda} \left(\frac{3(1-\lambda)}{2\lambda} \right) = -\frac{3}{2\lambda^2} < 0 \quad \forall \lambda \in [0; 1], \quad (36)$$

$$\frac{d\psi_2}{d\lambda} = \frac{d}{d\lambda} \left(\frac{1+\lambda}{2\lambda} \right) = -\frac{1}{2\lambda^2} < 0 \quad \forall \lambda \in [0; 1], \quad (37)$$

$$\frac{d\Psi_3}{d\lambda} = \frac{d}{d\lambda} \left(\frac{1+\lambda}{3(1-\lambda)} \right) = \frac{2}{3(1-\lambda)^2} > 0 \quad \forall \lambda \in [0; 1], \quad (38)$$

то

$$\begin{aligned} & \min_{\lambda \in [0; 1]} \left(\max \left\{ \frac{1+\lambda}{3(1-\lambda)}, \frac{3(1-\lambda)}{1+\lambda}, \frac{1+\lambda}{2\lambda}, \frac{2\lambda}{1+\lambda}, \frac{3(1-\lambda)}{2\lambda}, \frac{2\lambda}{3(1-\lambda)} \right\} \right) = \\ & = \min \left\{ \min_{\lambda \in [0; \frac{1}{2}]} \Psi_1(\lambda), \min_{\lambda \in [\frac{1}{2}; \frac{3}{5}]} \Psi_2(\lambda), \min_{\lambda \in [\frac{3}{5}; 1]} \Psi_3(\lambda) \right\} = \\ & = \min \left\{ \Psi_1\left(\frac{1}{2}\right), \Psi_2\left(\frac{3}{5}\right), \Psi_3\left(\frac{3}{5}\right) \right\} = \min \left\{ \frac{3}{2}, \frac{4}{3}, \frac{4}{3} \right\} = \frac{4}{3}, \end{aligned} \quad (39)$$

откуда

$$\arg \min_{\lambda \in [0; 1]} \left(\max \left\{ \frac{1+\lambda}{3(1-\lambda)}, \frac{3(1-\lambda)}{1+\lambda}, \frac{1+\lambda}{2\lambda}, \frac{2\lambda}{1+\lambda}, \frac{3(1-\lambda)}{2\lambda}, \frac{2\lambda}{3(1-\lambda)} \right\} \right) = \left\{ \frac{3}{5} \right\}. \quad (40)$$

Подставляя $\lambda = \lambda^* = \frac{3}{5}$ из (40) в континуум ОСВИ (6), получаем собственно решение

$$\mathcal{Q}^* = \left[\frac{2}{5} \quad \frac{3}{10} \quad \frac{3}{10} \right] \quad (41)$$

задачи (12).

Сравнивая решения (16) и (41) в смысле абсолютного отклонения от РВР (8) при масштабировании со степенью $r \geq 1$, соответственно получаем

$$\sum_{j=1}^3 \left| q_j^* - \frac{1}{3} \right|^r = \left| \frac{11}{28} - \frac{1}{3} \right|^r + \left| \frac{9}{28} - \frac{1}{3} \right|^r + \left| \frac{2}{7} - \frac{1}{3} \right|^r = \frac{5^r}{84^r} + \frac{1}{84^r} + \frac{1}{21^r} = \frac{5^r}{84^r} + \frac{1}{84^r} + \frac{4^r}{84^r} = \frac{5^r + 4^r + 1}{84^r} \quad (42)$$

для решения (16) и

$$\sum_{j=1}^3 \left| q_j^* - \frac{1}{3} \right|^r = \left| \frac{2}{5} - \frac{1}{3} \right|^r + \left| \frac{3}{10} - \frac{1}{3} \right|^r + \left| \frac{3}{10} - \frac{1}{3} \right|^r = \frac{1}{15^r} + \frac{1}{30^r} + \frac{1}{30^r} = \frac{2^r + 2}{30^r} \quad (43)$$

для решения (41), где удобно рассмотреть отношение значений (42) и (43)

$$\frac{5^r + 4^r + 1}{84^r} \cdot \frac{30^r}{2^r + 2} = \frac{5^r (5^r + 4^r + 1)}{14^r (2^r + 2)}, \quad (44)$$

график которого изображён на рис. 1. Как видим,

$$\frac{5^r (5^r + 4^r + 1)}{14^r (2^r + 2)} < 1 \quad \text{при } r \geq 1, \quad (45)$$

поэтому абсолютное отклонение решения (16) от РВР (8) при каком угодно масштабировании со степенью $r \geq 1$ всегда меньше абсолютного отклонения решения (41) от РВР (8).

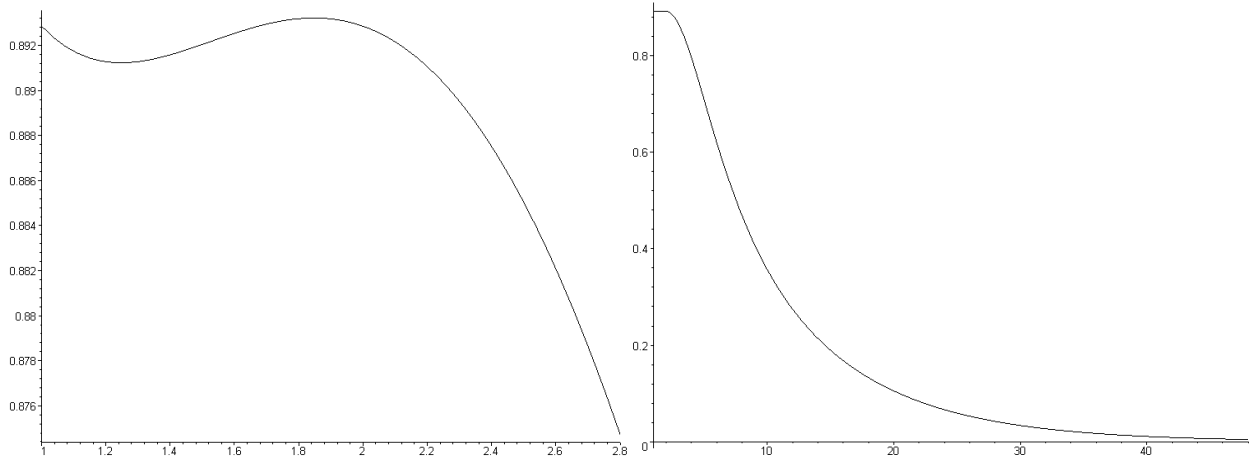


Рис. 1. Зависимость отношения (44) от $r \geq 1$ (визуализацию выполнено в Maple 7.00, Waterloo Maple Inc.)

Отметим, что, сравнивая решения (16) и (41) в смысле минимальной вариации “внутри самих себя” при масштабировании со степенью $r \geq 1$, однозначности нет, поскольку

$$\sum_{j=1}^3 \sum_{p=1}^{j-1} |q_p^* - q_j^*|^r = \left| \frac{11}{28} - \frac{9}{28} \right|^r + \left| \frac{11}{28} - \frac{2}{7} \right|^r + \left| \frac{9}{28} - \frac{2}{7} \right|^r = \frac{3^r + 2^r + 1}{28^r} \quad (46)$$

для решения (16) и

$$\sum_{j=1}^3 \sum_{p=1}^{j-1} |q_p^* - q_j^*|^r = \left| \frac{2}{5} - \frac{3}{10} \right|^r + \left| \frac{2}{5} - \frac{3}{10} \right|^r + \left| \frac{3}{10} - \frac{3}{10} \right|^r = \frac{2}{10^r} \quad (47)$$

для решения (41), а из графика отношения (46) и (47)

$$\frac{3^r + 2^r + 1}{28^r} \cdot \frac{10^r}{2} = \frac{5^r (3^r + 2^r + 1)}{2 \cdot 14^r} \quad (48)$$

видно, что при $r=1$ и достаточно близких к единице значениях $r > 1$ решение (41) более “невариативно”, хотя далее преимущество захватывает решение (16), тянущееся почти до $r=10$, где снова более “невариативным” оказывается решение (41).

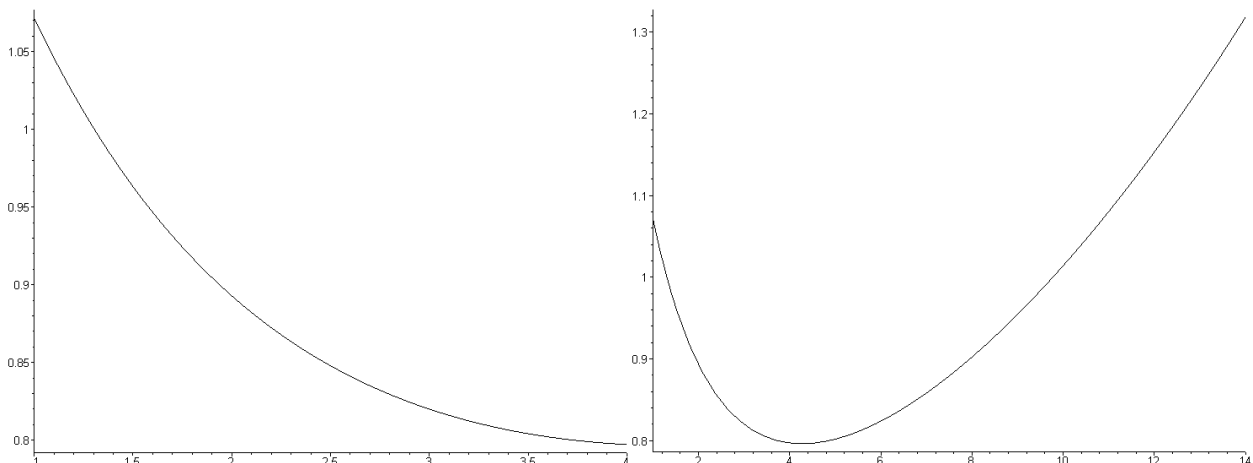


Рис. 2. Зависимость отношения (48) от $r \geq 1$ (визуализацию выполнено в Maple 7.00, Waterloo Maple Inc.)

Вывод и актуальность перспективы продолжения устранения неопределённостей

В связи с неоднозначностью в определении метода для получения КРВР между МНК и ММО полученные решения (16) или (41) строгой задачи (2) устранения однопараметрической трёхмодельной $\{2\epsilon, 3\epsilon\}$ -неопределённости (1) по ПГМАО (4) следует применять с обоснованным критерием масштабирования $r \geq 1$. Естественно, случай $r=2$ усматривается наиболее приемлемым, где МНК даёт

однозначно лучшее решение (16). Да и превосходство решения (16) при $r=1$ в смысле абсолютного отклонения от РВП (8) является более ощутимым, чем превосходство решения (41) в смысле минимальной вариации “внутри самого себя”, что непосредственно прослеживается из рис. 1 и рис. 2. Безусловно, предлагаемый способ выделения “самого ровного” элемента из континуума ОСВИ (6), определяющий тем самым КРВП (9), можно применять и для устранения параметрических неопределённостей (при прогнозировании или расчёте коэффициентов интенсивности изнашивания, граничных нагрузок, периода приработки [8]), однако в данной работе рассмотрен всего лишь частный случай, где отклонения второго и третьего оценок-значений от (минимального) первого оказались в соотношении 2:3. Конечно же, в перспективе необходимо заняться обобщением таких отклонений.

Литература

1. Nilsen T. Models and model uncertainty in the context of risk analysis / T. Nilsen, T. Aven // Reliability Engineering & System Safety. — 2003. — Volume 79, Issue 3. — P. 309 — 317.
2. Jacques J. Sensitivity analysis in presence of model uncertainty and correlated inputs / J. Jacques, C. Lavergne, N. Devictor // Reliability Engineering & System Safety. — 2006. — Volume 91, Issues 10 — 11. — P. 1126 — 1134.
3. Черноуцкий И. Г. Методы принятия решений / Черноуцкий И. Г. — СПб. : БХВ-Петербург, 2005. — 416 с. : ил.
4. Inseok Park. A Bayesian approach for quantification of model uncertainty / Inseok Park, Hemanth K. Amarchinta, Ramana V. Grandhi // Reliability Engineering & System Safety. — 2010. — Volume 95, Issue 7. — P. 777 — 785.
5. Трухаев Р. И. Модели принятия решений в условиях неопределённости / Трухаев Р. И. — М. : Наука, 1981. — 258 с.
6. Романюк В. В. Мінімаксний підхід у реалізації стохастичного параметра з невідомим імовірнісним розподілом на інтервалі ненульової міри / В. В. Романюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. — 2010. — № 3. — С. 65 — 71.
7. Romanuke V. V. Adjusting the neuron transfer function with symmetric kernel matrix game / V. V. Romanuke // V International Conference on Optoelectronic Information Technologies “Photonics — ODS 2010”, September 28 — 30, 2010, Vinnytsya: abstracts. — Vinnytsya : VNTU, 2010. — P. 61.
8. Тененбаум М. М. Спротивление абразивному изнашиванию / Тененбаум М. М. — М. : Машиностроение, 1976. — 271 с.

Рецензент: д.т.н. Рудницький В.Б.
Надійшла 8.2.2012 р.

УДК 687:083

В.О. ПРИВАЛА, Л.В. БУХАНЦОВА

Хмельницький національний університет

СИСТЕМАТИЗАЦІЯ СПОСОБІВ ЗДІЙСНЕННЯ ТРАНСФОРМАЦІЇ СУЧАСНОГО ОДЯГУ

В статті розглянуто існуючі способи трансформації сучасного одягу в різноманітні швейні вироби, використання яких дозволяє значно розширити асортимент продукції швейної промисловості. Систематизація розглянутих авторами статті способів дозволяє вдосконалити процес проектування одягу.

In article are considered ways to transformations modern cloth in different sewing products, which use allows vastly to increase the assortment to product to sewing industry. The Systematization considered author of the article of the ways allows to improve the process of the designing the cloth.

Ключові слова: Ключові слова: трансформація одягу, елементи одягу, зміна розмірів, конструктивне рішення.

Вступ

Швейна промисловість є однією з найважливіших галузей легкої промисловості, яка покликана задовольняти потреби населення у швейних виробах. Зі своїм розвитком суспільство постійно ставить нові задачі швейній промисловості, якими є забезпечення споживачів комфортним та якісним одягом, а також товарами широкого вжитку. У зв'язку з цим швейні підприємства постійно здійснюють різноманітні заходи, спрямовані на підвищення інтересу до своєї продукції. Це здійснюється за рахунок вивчення потреб кожної групи споживачів та реалізації їх у готових виробах. В умовах ринкових відносин кардинально змінюються вимоги до швейного виробництва, адже споживачів не можна розглядати як однорідну масу людей з однаковими бажаннями, смаками, поглядами та потребами. Проблемою швейної промисловості є й те, що на багатьох підприємствах використовують застаріле обладнання, тому багато інвестицій власних коштів використовується для модернізації виробництва та впровадження новітніх технологій. Перед підприємствами також стоять задачі освоєння нових видів конкурентоспроможної продукції, яка користувалася б попитом як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринку. Для цього необхідно постійно оновлювати асортимент швейних виробів, шукати нові організаційно-технічні рішення, які пов'язані зі скороченням витрат, термінів розробки та освоєння нових видів виробів, наближаючи до мінімуму витрати на переналагодження, переоснащення та перебудову технологічних потоків, що їх виготовляють.

Постановка проблеми

В умовах конкуренції залежність між якістю продукції та витратами на організацію процесу виробництва набуває особливої актуальності. Одним з шляхів рішення цієї проблеми є розробка багатофункціональних виробів, що можуть виконувати функцію декількох виробів, тобто мають здатність до трансформації. Під трансформацією одягу мається на увазі здатність швейного виробу перетворюватися у виріб іншого виду, а також суттєво змінювати свої властивості, форму та силует за рахунок рухомої конструкції. Створення одягу, здатного до видозмінення, завжди було пов'язане із забезпеченням багатьох важливих функцій життєдіяльності людини. Такі вироби створюють для динамічного способу життя та життєвих ситуацій, які характеризуються частою зміною подій.

Викладення основного матеріалу

Трансформація моделей одягу досягається шляхом використання роз'ємно-з'єднаних між собою деталей, що здатні від'єднуватися-приєднуватися, розсуватися-зсуватися, згортатися-розгортатися за рахунок таких скріплюючих елементів як гудзики, кнопки, тасьма-"блискавка", текстильна тасьма, зав'язки, шнури тощо. Це дозволяє видозмінювати модель одягу, надавати їй нових властивостей, змінювати її призначення та функції.

Одяг-трансформер – це одна річ в декількох оригінальних варіантах, що є особливо важливим для жителів мегаполісів, так як економить час, дозволяючи змінювати стиль протягом всього дня та виглядати доречно у будь-якому оточенні за будь-яких обставин. Такий одяг є просто незамінним для любителів подорожувати, так як не вимагає багато місця в багажі. Також він сподобається тим, хто не любить або не може витратити багато коштів на придбання одягу, адже купуючи одну річ ми насправді купуємо декілька речей, які можуть існувати як разом в одному комплекті, так і без окремих своїх складових [1–4].

Одяг, що може трансформуватися, має ряд переваг перед звичайним одягом:

- по-перше, є можливим поєднання багатофункціонального одягу всередині кожного комплекту (комбінезон – штани – шорти – сумка, плащ – жакет – сумка, жакет – жилет, куртка – сумка тощо);
- по-друге, використання будь-якого виробу із комплекту як самостійного виробу;
- по-третє, формування нового складу комплекту із багатофункціональних виробів, що трансформуються і входять до складу різних комплектів;
- по-четверте, формування складу комплекту із виробів, що трансформуються.

Отже, для виготовлення якісної та конкурентоспроможної продукції, яка б користувалася попитом у всіх споживачів, швейним підприємствам слід звернути велику увагу на розробку такого одягу, який був би не лише зручним у експлуатації та мав гарний зовнішній вигляд, а й володів широкими функціональними можливостями. Саме тому задачею даної науково-дослідної роботи є розробка варіантів комплектів одягу, що легко трансформуються, не втрачаючи при цьому своїх естетичних та функціональних властивостей, а також тих конструктивно-технологічних рішень, за допомогою яких може бути здійснена дана трансформація.

Трансформація одягу – це здатність швейного виробу суттєво змінювати форму, силует, функціональне призначення та властивості за допомогою рухомої конструкції, тобто це здатність одягу до видозмінення. Метою проектування багатофункціонального одягу є забезпечення багатьох важливих функцій життєдіяльності людини, так як він створений для динамічного способу життя та життєвих ситуацій, які характеризуються частою зміною подій. Трансформація швейних виробів може здійснюватися за допомогою різних конструктивно-технологічних рішень та допоміжних елементів, таких як роз'ємно-з'єднані між собою деталі, куліски, пати тощо, а також таких скріплюючих елементів як гудзики, кнопки, тасьма-“блискавка”, текстильна тасьма та ін. За допомогою з'єднаних деталей можна не лише змінювати форму виробу, а й його зовнішній вигляд та призначення. З'єднаними можуть бути рукави, накладні кишені, коміри, капюшони, дрібні оздоблювальні деталі, а також частини виробу. Може змінюватися і стильовий напрямок костюму. Наприклад, строгий жакет можна з легкістю трансформувати у модний спортивний виріб за рахунок з'єднаних накладних кишень, клапанів, погонів, патів та інших деталей, що кріпляться за допомогою вже зазначених вище кнопок, гудзиків або текстильної тасьми. За рахунок деталей, які можуть розсуватися та суміщуватися одна з одною можна змінювати силует виробу (напівприлеглий в розширений, прямий в завужений тощо). При цьому може змінюватися силует не лише стану плечового виробу, а й рукавів і штанів. За рахунок різноманітних вставок, які стають помітними після розсування деталей, а також двосторонніх деталей, виконаних із різних видів тканини, можна змінювати й кольорове рішення виробу. Навіть не маючи деталей із вищеперерахованими функціями виріб все одно може трансформуватися. За допомогою куліски може змінюватися форма, об'єм та довжина виробу і його деталей (за рахунок стягування та розтягування низу виробу, низу рукавів, горловини, бічних швів та швів рельєфів тощо). Трансформація виробів може здійснюватися також за рахунок оздоблення. Оздоблення дозволяє змінювати зовнішній вигляд та призначення одягу, тому різні його види можуть бути використані як початкові компоненти для трансформації одягу.

Процес проектування оздоблення узгоджується із процесом проектування багатофункціонального одягу і включає наступні етапи:

- визначення призначення виробу;
- визначення місця розташування оздоблювальних елементів;
- визначення виду оздоблювальних елементів та оздоблення;
- розробка технологічного процесу виготовлення оздоблення.

Залежно від виду одягу, його асортименту, призначення та напрямку моди підбираються певні види оздоблення. Наприклад, для оздоблювальних деталей вихідного жіночого костюму можуть бути використані всі види оздоблень: декоративна тканина, натуральні та штучні хутро та шкіра, різноманітними вишивки та аплікації, стрічки, мереживо, тасьми та багато інших видів декоративного оздоблення. Як правило, розташування оздоблювальних елементів (комірів, манжетів тощо) визначається художником-модельєром, що створює модель виробу. Аналіз журналів мод показує, що обробка, в основному, розташовується на виробі симетрично або асиметрично з урахуванням її маси і збереження форми виробу. Для того, щоб оздоблювальні деталі не змінювали форми, їх розташовують на опорних ділянках (плечовий пояс, горловина, лінія талії, лінія стегон) або на ділянках, закріплених технологічною обробкою (край борту, край кишені, край коміра, низ виробу).

В залежності від місця розташування оздоблювальних елементів, їх площі та маси визначаються вимоги до технологічного процесу їх виготовлення. Визначення виду оздоблювальних елементів проводять, аналізуючи ескіз моделі та початкові матеріали. В результаті виявляються такі особливості оздоблення, як форма (плоска чи об'ємна), кількість елементів, з яких складається деталь, їх повторення. Також визначається основний вид оздоблення, його малюнок і структура, поєднання кольорів та фактур, а також композиційне навантаження оздоблювальної деталі на виріб.

Трансформація одягу або зміна функцій одягу може здійснюватися за такою схемою:

- 1 – зміна функції на аналогічну функцію (наприклад: сукня – сукня, жакет – жакет);
- 2 – зміна функції на функцію зі зміщеними характеристиками (наприклад: сукня – спідниця, штани – шорти);
- 3 – зміна функції на функцію з різними характеристиками (наприклад: сукня – блуза);
зміна функції на функцію з протилежними (інверсними) характеристиками (наприклад, сукня – комплект).
- 4 – поєднання вищеперерахованих функцій.

Таким чином трансформуючи виріб можна змінити не лише його зовнішній вигляд, а й функції (призначення). На основі проведення аналізу методів і засобів трансформації швейних виробів, а також ретроспективного аналізу історичного костюму, було виділено вісім базових прототипів способів трансформації одягу:

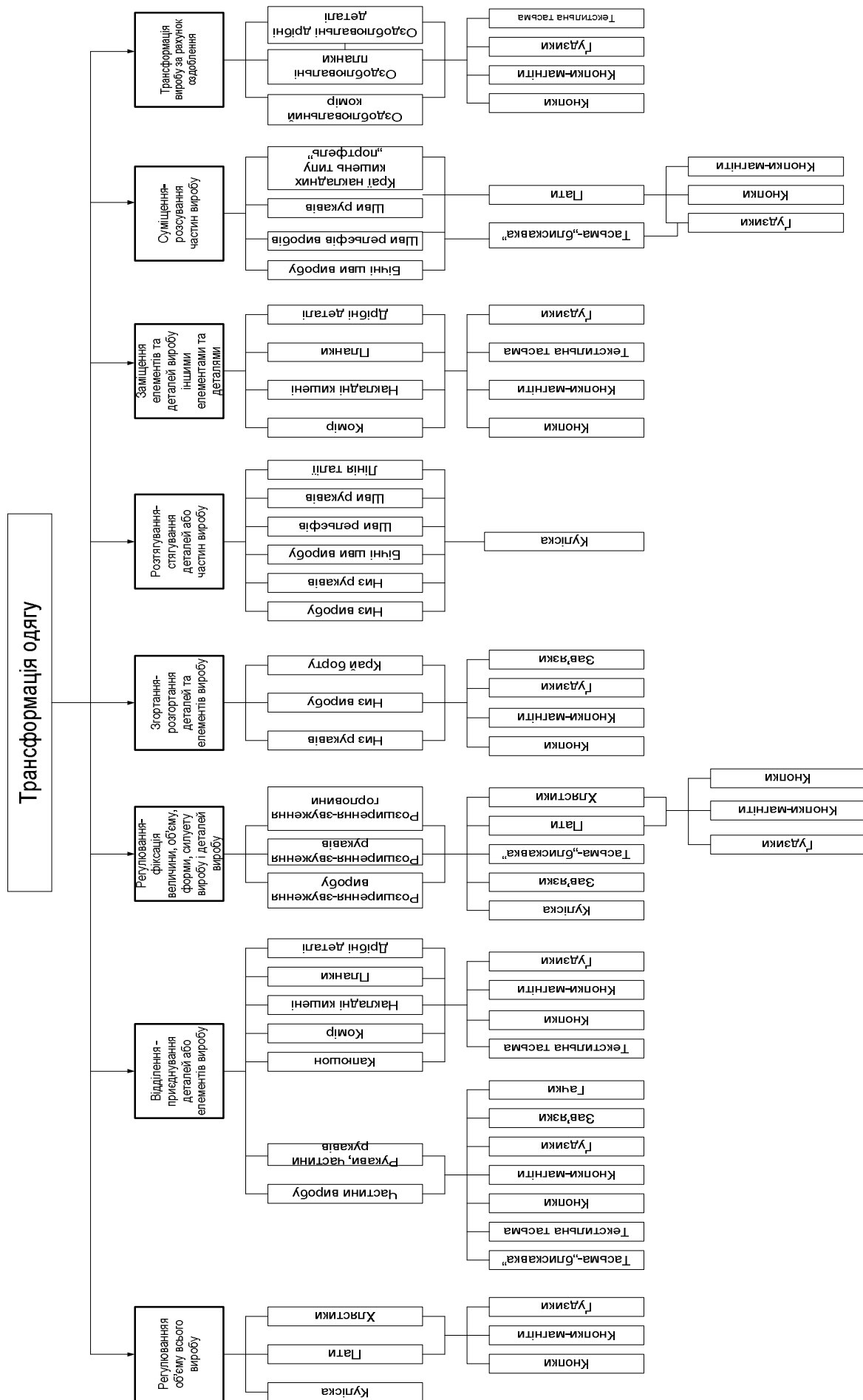


Рис. 1. Блок-схема існуючих прийомів та засобів трансформації сучасного одягу

- 1 – поява-зникнення об'єму всього виробу;
- 2 – відділення-приєднання деталей або елементів одягу;
- 3 – регулювання-фіксація величини, об'єму, форми, силуету виробу і деталей виробу;
- 4 – згортання-розгортання деталей та елементів виробу;
- 5 – розтягування-стягування деталей або частин виробу;
- 6 – заміщення елементів та деталей виробу іншими елементами та деталями;
- 7 – суміщення-розсування частин виробу;
- 8 – трансформація виробу за рахунок оздоблення.

На основі цих базових прототипів була здійснена систематизація прийомів та засобів трансформації костюму, яка являється важливою частиною вихідної інформації для проектування сучасних багатофункціональних виробів, що здатні трансформуватися (рис.1).

Висновки

Отже, систематизовані знання щодо методів та засобів здійснення трансформації одягу дозволять зробити процес проектування сучасного багатофункціонального одягу більш ефективним і досконалим. В свою чергу, це дозволяє значно розширити асортимент продукції швейної галузі легкої промисловості, а також задовольнити естетичні і експлуатаційні вимоги сучасного споживача.

Література

1. Муниципальное образовательное учреждение «Мари-Турекская СОШ»: Одежда-трансформер (реферат) [Електронний ресурс] – Режим доступу : www.docme.ru/doc/39514/odezhda-transformer
2. Клуб любителей шитья «Сезон»: Платье трансформер. – Режим доступу : http://www.season.ru/sovet/sozd_vikr/transform.html
3. Одежда-трансформер [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.vdom1.ru/post147341923>

Рецензент: д.т.н. Либа В.П.
Надійшла 15.2.2012 р.

УДК 687.15:658.52.011.56

О.П. БОХОНЬКО, О.В. ЯРОЩУК, Є.С. БОХОНЬКО
Хмельницький національний університет

РОЗРОБКА ТЕПЛОЗАХИСНОГО СПЕЦІАЛЬНОГО ОДЯГУ ЗА ДОПОМОГОЮ СУЧАСНИХ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ

В роботі розглянуті питання розрахунку теплозахисних показників спеціального одягу. Викладена загальна схема послідовності розрахунку термічного опору з метою вибору раціональної товщини пакету матеріалів для одягу. Запропоновано розрахунок теплозахисних показників в автоматизованому режимі.

The questions of calculation of heat cover indexes of the special clothing have been considered in the article. The general chart of sequence of calculation of thermal resistance with the aim of choice of rational thickness of package of materials for clothing has been expounded. The calculation of heat cover indexes in the automated mode has been offered in the article.

Ключові слова: теплозахисні властивості, термічний опір, пакет матеріалів, повітропроникність, тепловий потік, радіаційно-конвективні тепловтрати.

Постановка проблеми

Сучасний одяг повинен відповідати цілому ряду вимог. В роботі [1] наданий аналіз номенклатури показників якості швейних виробів різного асортименту. Аналіз показав, що останнім часом при проектуванні швейних виробів верхнього асортименту не достатньо уваги надається розрахунку їх теплозахисних властивостей.

Однак, в кліматичних умовах нашої держави, як показала остання зима, теплозахисний одяг являється предметом першої необхідності. Створення такого одягу можливе при комплексному вирішенні завдань на основі використання знань з текстильного матеріалознавства, фізіології людини, теплофізики, інформаційних технологій та інших областей знань.

Враховуючи актуальність проблеми створення раціонального спеціального теплозахисного одягу нами запропоновано автоматизований розрахунок його термічного опору. Розробка спеціального одягу ускладнюється різноманітністю факторів, з котрими людина стикається в процесі своєї трудової діяльності. Це – різні метеорологічні умови, різна інтенсивність фізичної діяльності і тривалість перебування людини на холоді.

Виклад основного матеріалу

Загальна схема розрахунку сумарного теплового опору спеціального одягу подібна до побутового

одягу. Однак особливості теплообміну людини, що виконує фізичну роботу, вносять поправки в абсолютні значення величин, що використовуються для визначення необхідних теплоізоляційних властивостей одягу.

При проектуванні спеціального одягу, який відповідає конкретним умовам експлуатації, необхідно мати наступну інформацію:

- температуру повітря, при якій передбачена експлуатація одягу;
- найбільш ймовірну швидкість вітру;
- енергозатрати людини;
- неперервний час перебування на холоді.

Рівень енергозатрат працюючого визначається середньозваженою температурою шкіри, котра використовується для розрахунків теплового опору одягу. Середньозважена температура шкіри людини відповідає її різним тепловідчуттям. При виконанні фізичної роботи різної важкості вона може бути визначена із рівняння:

$$t_{с.ш.} = \frac{T_o - 0,1559 * \frac{Q_{E.T.}}{S} + 43,169}{1,413 - 0,00438 * \frac{Q_{E.T.}}{S}}; ^\circ C \quad (1)$$

де S – площа поверхні тіла людини, м²;

$Q_{E.T.}$ – енергозатрати людини, Вт/м²;

T_o – тепловідчуття людини, бали від 1 до 7.

Розрахунок теплового потоку стосовно до проектування спеціального одягу вимагає відомостей про енергозатрати, які витрачає людина на виконання механічної роботи, а також основного обміну. Енергозатрати людини та термічний коефіцієнт корисної дії в стані спокою та виконанні різних рухів наведено в табл.1

Таблиця 1

**Енергозатрати людини та термічний коефіцієнт корисної дії
при різних видах фізичної діяльності людини**

Вид фізичної діяльності	Енергозатрати $Q_{E.T.}$, Вт/м ²	Термічний коефіцієнт корисної дії
Спокій		
- лежачи	40,6	0
- сидячи	58,1	0
- стоячи	69,7	0
Ходьба по рівній місцевості зі швидкістю		
3,0	115,5	0
4,0	139,5	0
5,5	185,0	0
6,5	121,5	0
8,0	337,5	0
Ходьба по похилій місцевості при куті нахилу, град, зі швидкістю км/год.		
5 1,5	139,0	0,07
5 3,0	172,0	0,10
5 5,0	234,0	0,11
5 6,5	355,5	0,10
15 1,5	168,0	0,15
15 3,0	265,5	0,19
25 1,6	209,0	0,20
25 3,0	390,5	0,21

Тепло, яке отримує людина в зимові місяці за рахунок сонячної радіації, при розрахунках теплового опору одягу можна не враховувати завдяки його малій кількості. Крім того, в зв'язку з тим що допускається деяке охолодження організму, раціональне тепло можна вважати додатковим резервом, котрий може продовжити час безперервного перебування людини в заданих метеорологічних умовах.

Враховуючи різноманітний характер фізичної діяльності людини, затрати енергії на механічну роботу при наближених розрахунках приймають рівним 10 % від загальних енергозатрат $Q_{E.T.}$.

Дані [2] свідчить про те, що людина одягнута в зимовий комплект одягу (комбінезон, куртка, штани), і виконує фізичну роботу середньої важкості ($Q_{E.T.} = 209$ Вт) втрачає випаровуванням приблизно 20 % загальних тепловтрат, при цьому вона оцінює свої тепловідчуття як «комфорт». На загальну кількість

тепла випаровуванням вологи значний вплив має вид одягу.

Загальна схема розрахунку термічного опору спеціального одягу, що запропонована в роботі [3] має таку послідовність:

1. Розрахунок енергії, яка затрачена людиною на виконання механічної роботи:

$$Q_M = (Q_{E.T.} - Q_o) \cdot h \quad (2)$$

де $Q_{E.T.}$ – загальні енергозатрати, Вт;

Q_o – основний обмін, Вт;

h – термічний коефіцієнт корисної дії.

2. Розрахунок втрати тепла на випаровування вологи з поверхні шкіри та верхніх дихальних шляхів, Вт:

$$Q_{вип.} = [(Q_{e.t.} + D/t) - Q_M] \cdot 0,2 = [(Q_{e.t.} + D/t) - (Q_{e.t.} - Q_o) \cdot h] \cdot 0,2 \quad (3)$$

де D – допустимий дефіцит тепла в організмі людини, Дж;

τ – час неперервного перебування людини в заданих метеорологічних умовах, год.

3. Втрати тепла на нагрівання повітря, що вдихається людиною. Дані необхідні для розрахунків представлені в табл. 2

Таблиця 2

Втрати тепла на нагрівання повітря, що вдихається

Енерговитрати людини, Вт	Температура зовнішнього середовища, С					
	0	-3	-10	-15	-20	-25
115	6,10	7,05	8,14	9,1	10,2	11,22
175	8,15	9,48	10,85	12,2	13,6	14,9
235	10,84	12,67	14,44	16,3	18,0	19,9
290	12,20	14,30	16,28	18,4	20,3	22,4
350	14,65	17,09	19,65	22,1	24,2	26,97
400	17,05	19,88	22,80	25,6	28,6	31,4
450	18,35	21,51	24,50	27,7	30,8	33,7

Енерговитрати людини, Вт	Температура зовнішнього середовища, С						
	-30	-35	-40	-45	-50	-55	-60
115	12,2	13,3	14,5	15,2	16,3	17,3	18,4
175	16,3	18,0	19,0	20,6	21,7	23,0	24,4
235	21,6	23,5	25,2	27,1	28,8	30,7	32,6
290	24,4	26,5	28,5	30,6	32,6	34,7	36,6
350	29,3	31,9	34,4	36,5	39,2	41,6	44,2
400	34,2	37,0	39,8	42,7	45,3	48,3	51,2
450	36,9	40,0	43,0	45,8	49,1	52,3	55,2

4. Встановлення радіаційно-конвективних тепловтрат Q рад. конв., Вт:

$$Q_{рад.конв.} = (Q_{e.t.} + D/t - Q_{вип.} - Q_{дих.} = 0,72 \cdot Q_{e.t.} + 0,8 \cdot D/t - Q_{дих.} + 6,35 \quad (4)$$

5. Розрахунок теплового потоку на одиницю поверхні g , Вт/м²:

$$g = Q_{рад.конв.} / S \quad (5)$$

6. Визначання середньозваженої температури шкіри для тепловідчуття «комфорт», °С

$$t_{с.ш.} = 36,07 - 0,035 \cdot Q_{e.t.} / S \quad (6)$$

7. Визначення сумарного термічного опору одягу на основі розрахованого теплового потоку g з урахуванням температури шкіри і оточуючого середовища, м²·°С/Вт.

$$R_{сум.} = \frac{t_{с.ш.} - t_{п.}}{g} \quad (7)$$

8. Тепловий опір одягу, що розрахований при умові двохгодинного перебування людини на холоді при різній температурі повітря і різному рівні енергозатрат $R_{сум.}$, м²·°С/Вт., представлені в табл. 3

9. В розраховані значення теплового опору одягу по вище вказаній формулі вносять поправку, що враховує швидкість вітру V і повітропроникність B матеріалів для верху одягу

$$C = (0,07B + 2)V + 5, \% \quad (8)$$

10. Виконують кінцевий розрахунок термічного опору одягу з урахуванням поправки на дію вітру і повітропроникності матеріалів:

$$R_T = \frac{R_{сум.} \cdot 100}{100 - C} \quad (9)$$

Сумарний тепловий опір одягу, призначений для двохгодинного перебування людини в середовищі з різною температурою повітря, R сум., C/Вт

Енергозатрати людини, Вт	Температура повітря, С										
	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45	-50
115	00,58	00,68	00,79	00,90	11,02	11,13	11,24	11,35	11,49	11,51	11,74
175	00,45	00,52	00,60	00,68	00,70	00,87	00,96	10,01	11,09	10,19	11,28
235	00,33	00,39	00,45	0,51	00,55	00,63	00,70	00,50	00,83	00,80	10,97
290	00,23	00,28	00,33	00,38	00,48	00,48	00,53	00,48	00,63	00,69	00,74
350	00,19	00,23	00,27	00,31	00,35	00,39	00,45	00,42	00,52	00,56	00,61
400	00,16	00,19	00,23	00,26	00,29	00,33	00,37	00,39	00,44	00,48	00,52
450	00,13	00,16	00,19	00,22	00,25	00,28	00,31	00,35	00,38	00,43	00,45

11. По термічному опорі одягу визначають середньозважену товщину пакету матеріалів. Значення товщини пакету матеріалів одягу від сумарного термічного опорі наведена в табл. 4.

Таблиця 4

Середньозважена товщина δ пакету матеріалів одягу (куртка, штани, комбінезон) мм, і відповідний їй сумарний термічний опір одягу R сум., $m^2 \cdot ^\circ C / Вт$

R сум	δ	R сум	δ	R сум	δ
0,12	0,0	0,38	6,5	0,62	15,8
0,14	0,5	0,40	7,0	0,64	15,5
0,16	1,0	0,42	7,5	0,66	16,0
0,18	1,5	0,44	8,0	0,68	17,5
0,20	2,0	0,46	9,0	0,70	18,5
0,22	2,5	0,48	9,5	0,72	19,0
0,24	3,0	0,50	10,0	0,74	20,5
0,26	3,5	0,52	11,0	0,75	21,5
0,28	4,0	0,54	11,5	0,78	23,5
0,30	5,0	0,56	12,0	0,80	25,5

12. При визначенні товщини пакета на різних ділянках тіла використовують дані про раціональний розподіл утеплювача, які наведені в роботі [4]

Таким чином, для створення теплозахисного одягу необхідно виконати декілька взаємозв'язаних етапів, а саме:

- розрахунок сумарного теплового опорі одягу у відповідності з заданими метеорологічними умовами (температурою повітря і швидкістю її руху), важкістю фізичної роботи, часом безперервного перебування на холоді і визначення товщини пакету матеріалів одягу (середньозваженої товщини і товщини на окремих ділянках), необхідної для створення виробів із заданим термічним опором;

- вибір самих матеріалів;
- виготовлення одягу необхідної конструкції і заданої товщини;

- експериментальна оцінка теплоізоляційних властивостей одягу для виявлення відповідності теплоізоляційних властивостей виготовленого одягу розрахунковій величині термічного опорі;

- оцінка теплоізоляційних властивостей одягу в умовах виробничої діяльності;

З метою скорочення часу проектування теплозахисного одягу пропонується проводити розрахунки в автоматизованому режимі. Це дає можливість не тільки скоротити терміни виконання розрахунків, але і швидко і точно розрахувати термічний опір, вибрати товщину пакету одягу на окремих ділянках тіла. Крім того, автоматизована система дозволяє

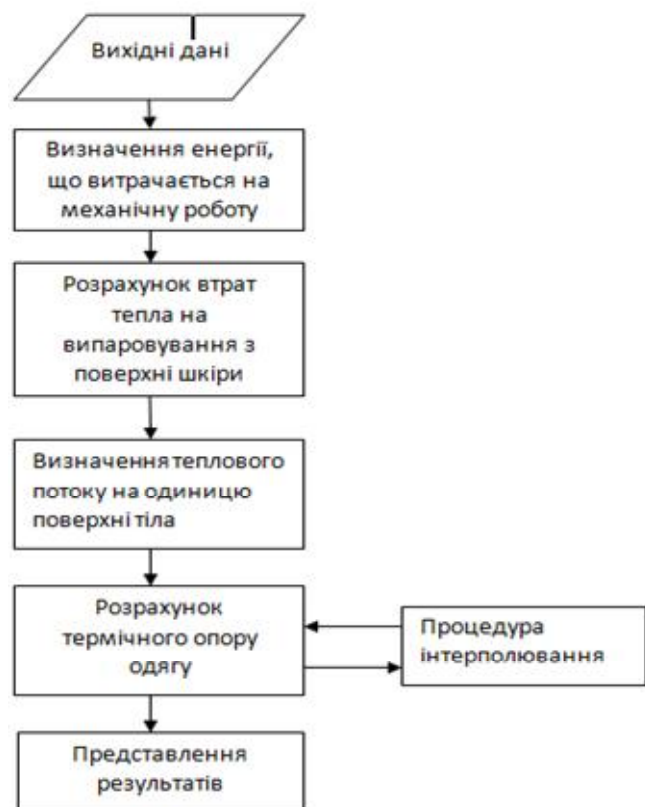


Рис. 1. Блок-схема автоматизованого розрахунку термічного опорі спеціального одягу

проектувати одяг із заданими теплозахисними властивостями.

Блок-схема автоматизованого розрахунку термічного опору спеціального одягу представлена на рис. 1.

На основі блок-схеми розроблена програма розрахунку термічного опору пакету одягу. В програмі використана мова програмування високого рівня Microsoft C# з технологією Windows Forms. Вона жорстко пов'язана з конструктивними особливостями Windows, що не змінилися протягом останніх десяти років. Вибір цієї мови програмування обґрунтований тим, що для кінцевого продукту більш важлива базова функціональність, а не візуальний користувацький інтерфейс, який можна отримати при використанні Windows Presentation Foundation. При написанні програми використані базові компоненти керування та бібліотека класів NET Framework.

Інтерфейс вибору вихідних даних та рекомендовані параметри пакету одягу – на рис. 2.

Початкові дані для заданого варіанту		Товщина пакету одягу на окремих ділянках тіла	
Основний обмін, Вт	68	Туллуб	1,26
Радіаційно-конвективні тепловтрати, Вт	34	Плече та передпліччя	1,14
Енергозатрати людини, Вт	200	Стегна	1,13
Температура повітря, °C	-5	Гонілка	0,9
Повітропроникність матеріалу, дм ³ /с/м ² ·с	30		
Швидкість вітру, м/с	3,5		
Площа поверхні тіла, м ²	1,8		
Час перебування людини на холоді, год	1,5		
Втрати тепла на дихання, Вт	23		

Рис. 2. Інтерфейс вибору вихідних даних та параметри пакету одягу

При розробці програми використана мова програмування високого рівня Microsoft C# з технологією Windows Forms. Вона жорстко пов'язана з конструктивними особливостями Windows, що не змінилися протягом останніх десяти років. Вибір цієї мови програмування обґрунтований тим, що для кінцевого продукту більш важлива базова функціональність, а не візуальний користувацький інтерфейс, який можна отримати при використанні Windows Presentation Foundation. При написанні програми використані базові компоненти керування та бібліотека класів NET Framework.

Висновки

Створення теплозахисного одягу з заданими теплозахисними показниками є складним і громіздким процесом, при розрахунку показників використовується цілий ряд формул і табличних даних.

Запропонована блок-схема алгоритму та мова програмування високого рівня Microsoft C# з технологією Windows Forms дозволяє скоротити важкий і громіздкий процес і підвищити точність, об'єктивність та оперативність розрахунків.

Застосування автоматизованого підходу дає можливість проектування одягу з прогнозованими теплозахисними показниками. Розроблена програма дозволяє проектувати одяг підвищеної комфортності.

Література

1. Ярошук О.В. Структурний підхід до оптимізації показників якості текстильних матеріалів та виробів з них / О.В. Ярошук, О.П. Бохонько, О.Ю. Лепікаш // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2011. – № 1 – с. 209–213.
2. Афансьєва Р.Ф. «Геометрические основы проектирования одежды от защиты от холода» / Афансьєва Р.Ф. – М., 1976. – 135 с.
3. Делль Р.А. Гигиена одежды. Легпромбытиздат / Делль Р.А. Афанасьєва Р.Ф., Чубарова З.С. – 1991, 160 с.
4. Бохонько О.П. Методичний вказівки для виконання лабораторних робіт з курсу «Гігієна одягу» / Бохонько О.П. – Хмельницький, ХТИ. – 1990. – 48 с.

Рецензент: д.т.н. Либа В.П.
Надійшла 19.2.2012 р.

ФОРМУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ЛАНЦЮГІВ ПЕРЕТВОРЕННЯ ЖІНОЧОГО ПЛЕЧОВОГО ОДЯГУ

На основі побудованого раніше типологічного ряду сформовано раціональні ланцюги перетворення жіночого плечового одягу, що складають основу для розробки бази даних трансформуючих елементів.

This article is devoted to developing of the chains of transformations of the woman's garments, which based on the typological range of the woman's garments. The chains form the basis of data of the transformation elements.

Ключові слова: типологічний ряд, трансформація, кластер, матриця досяжності, ланцюг перетворення.

Постановка проблеми

Аналіз сучасних САПР, які розв'язують задачі блоку «Конструктор», свідчать, що зазвичай вони складаються з модулів баз даних [1]. База даних містить інформацію, яка накопичується і змінюється у часі, оскільки базується на емпіричному досвіді фахівців. Це дозволяє використовувати інформацію споживачам без відповідних фахових знань для формування її у закінчені блоки на окремих етапах проектування виробів.

База даних трансформуючих елементів повинна існувати окремим модулем. При цьому її структура має забезпечувати можливість використання широкого спектру евристичних прийомів на основі формалізованого опису трансформації виробу. Проте така задача є важко формалізованою, оскільки належить до робіт творчого характеру.

Згідно з [3, 5] трансформацію швейного виробу можна представити у вигляді ланцюга перетворення: вихідний виріб-трансформер (ВТ) – процес трансформації – трансформований ВТ. Тоді вихідним можна назвати ВТ, який ще не підлягав процесу МТ, а трансформований той, що утворюється в результаті трансформації вихідного. Ланцюг перетворення може містити декілька перетворень. В цьому випадку кожний трансформований виріб може бути вихідним для наступного.

Таким чином, постає завдання представлення формалізованого опису процесу трансформації на основі раціональних ланцюгів перетворення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Окремі ланцюги перетворення представлені у працях багатьох дослідників процесу трансформації: дослідження спрямовані на продовження строку служби дитячого одягу [2, 3], розширення функціональних можливостей спеціального одягу [4], авторські колекції одягу [5] тощо. Проте у працях, що присвячені трансформації, не виконано ні формалізації, ні систематизації інформації.

На основі досліджень асортименту жіночого плечового одягу у праці [6] розроблений типологічний ряд, в межах якого рекомендовано виділяти ланцюги перетворення, обмежені кількістю видозмінних трансформацій.

Як встановлено у [7] раціональні ланцюги перетворення можуть бути сформовані шляхом побудови матриць суміжності та досяжності для орієнтованого графа, що репрезентує типологічний ряд. Для формування матриць суміжності запропоновано використовувати методи кластерного аналізу та побудови дендрограм. Проте рішення задачі кластеризації принципово неоднозначне, оскільки не існує однозначно найкращого критерію якості кластеризації [9].

Постановка мети та задач досліджень

Мета дослідження – сформувати раціональні ланцюги перетворень з одного виду виробу в інший, що забезпечують трансформацію за мінімально необхідну кількість проміжних модифікацій.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- обґрунтувати механізм формування найкоротших шляхів перетворення із одного виробу в інший;
- сформувати номенклатуру ланцюгів перетворень для всіх імовірних пар виробів, що входять до типологічного ряду жіночого плечового одягу.

Виклад основного матеріалу

В математичній теорії графів та інформатиці граф – це сукупність не пустої множини вершин та множини пар вершин (зв'язків між вершинами) [9]. Об'єкти представляються як вершини, або вузли графа, а зв'язки – як дуги, або ребра. Для різних областей використання графи можуть відрізнятися направленістю, обмеженнями на кількість зв'язків та додатковими даними про вершини або ребра.

Практично будь-яка множина може бути представлена графом, в тому числі й множина основних видів жіночого верхнього плечового одягу.

Ланцюгом (або шляхом) у графі називають кінцеву послідовність вершин, в якій кожна вершина (окрім останньої) з'єднана з наступною в послідовності вершин ребром. Простим ланцюгом є той, в якому кожна вершина відмінна від іншої [9]. Довжиною шляху називають число ребер, що його складають.

Згідно з визначенням, раціональний – це той, що спрямований до кращого, розумнішого застосування чого-небудь, доцільний. Тоді раціональним ланцюгом перетворення є кінцева послідовність

відмінних один від одного видів виробів, в якій вид виробу – є вершиною, а процес трансформації – ребром.

Для знаходження ланцюгів перетворень серед множини видів жіночого верхнього плечового одягу, яка представлена графом, слід дослідити, чи існує шлях якої завгодно довжини із однієї вершини графу в будь-яку іншу. Згідно з [9] це питання можна вирішити за допомогою матриці суміжності, проте, такий метод не є раціональним. Доцільніше вирішувати таке завдання за допомогою матриці досяжності, в якій зберігається інформація про існування шляхів між вершинами орграфа.

Матрицею досяжності графа G називають матрицю M , у якій елемент M_{ij} дорівнює 1 тоді і тільки тоді, коли існує (орієнтований) шлях із вершини i у вершину j [9]. Побудова матриці досяжності безпосередньо за кресленням графа є досить складною справою, особливо, якщо кількість вершин графа велика. Процес побудови матриць досяжності значно спрощується, якщо проектувальник представляє інформацію не про парні відносини між видами виробів, а інформацію про існування спрямованого шляху між парами виробів. Така структура зв'язків вершин графу відображена у матриці суміжності. Тому найдоцільнішим є метод побудови матриці досяжності графа за матрицею суміжності цього графа.

За результатами кластерного аналізу видів жіночих плечових виробів отримано сім дендрограм, що дозволяють оцінити ступінь подібності різних видів одягу між собою [7]. На їх основі для кожної дендрограми побудована матриця суміжності.

Матриця суміжності графа G зі скінченною кількістю вершин n (пронумерованих числами від 1 до n) – це квадратна матриця A розміру n , в якій значення елементу a_{ij} рівне числу ребер з i -ї вершини графа в j -у вершину [9]. Тоді квадратна матриця, розмір якої дорівнює кількості видів виробів у номенклатурі [6], в якій значення елементу a_{ij} дорівнює одиниці, означає, що i -й вид виробу належить до одного кластеру з j -м видом виробу. Належність видів виробів до одного кластеру визначена на рівні 5 (за шкалою масштабованої відстані на дендрограмі), що забезпечує 80 % подібності різних видів одягу, а отже можливість перетворення за мінімальну кількість операцій з максимальним коефіцієнтом функціонального використання.

Як відомо, матриця суміжності – симетрична відносно головної діагоналі [9]. У даному випадку симетричність означає наявність прямих і обернених зв'язків між елементами. Проте результати кластерного аналізу не надають такої інформації. Тому матриці заповнювались лише у верхній частині відносно головної діагоналі.

Результуюча матриця суміжності отримана за допомогою операції диз'юнкції [10] вихідних матриць і представлена у табл. 1. Кожен вид виробу у представленій матриці закодовано цифровими позначеннями, що відповідають порядковому номеру виду виробу у спеціально складеному переліку (табл. 2) [5].

Таблиця 1

Фрагмент результуючої матриці суміжності

	в	...	4	5	6	7	8	9	..	35
в	1									
...		1								
4			1	1			1			1
5				1			1			
6					1			1		1
7						1		1		1
8							1			
9								1		
..									1	
35										1

Таблиця 2

Фрагмент номенклатури асортименту жіночого плечового одягу

№	Вид виробу	№	Вид виробу
1	Анорак
2	Дафлкот	27	Кардиган
3	Макінтош	28	Куртка
4	«Міське» пальто	29	Мандарин
5	Ольстер	30	Норфолк
6	Пальто	31	Смокінг
7	Пальто реглан	32	Труакар
8	Пальто халат	33	Болеро
9	Пильник	34	Фрак
...	35	Френч

Слід відмітити, що «1» у комірці результуючої матриці свідчить лише про наявність однакових композиційно-конструктивних рішень між розглядуваними видами виробів, проте не відображає напряму трансформації. Тому при перетворенні матриці суміжності у граф (для побудови структурно-логічної схеми типологічного ряду за послідовністю [6]) кожний зв'язок розглядається з позицій спрощення форми та конструктивно-технологічного рішення: із довшого виробу утворюється коротший, із виробу з більшою кількістю деталей – виріб з меншою і т.д.

У процесі перетворення матриці суміжності у граф враховують специфіку виготовлення швейних виробів. Окремі значення «1» із матриці суміжності не відображені у графі, оскільки не можуть бути практично реалізовані (хоча евклідова відстань лежить в допустимих межах). Наприклад, як нездійсненні відкинуті перетворення, пов'язані з перетворенням крою рукава (вшивний на реглан) або зміною асортиментної групи матеріалів.

Крім того, у граф введені поєднання, евклідові відстані між якими перевищують поріг 5-ти значної позначки на шкалі масштабованої відстані, як такі, що є загальноприйнятими у практиці конструювання та моделювання жіночого одягу.

Побудова структурно-логічної моделі типологічного ряду виконується за принципом перетворення графа у ярусно-паралельну форму за послідовністю, що представлена у [6]. При цьому симетрична результуюча матриця суміжності перетворюється у несиметричну матрицю взаємозв'язків (табл. 3).

На основі структурно-логічної моделі типологічного ряду (рис. 1) побудовано нову матрицю

суміжності, що дає інформацію про всі шляхи довжиною 1 (тобто ребра) у графі. При цьому всі напрями зміни всередині типологічного ряду приймаються взаємооберненими.

Таблиця 3

Фрагмент матриці взаємозв'язків різновидів жіночого плечового одягу

	в	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	...	34	35
в							1				1	1		...		
1			1										1	...		
2														...		
...
35														...		
1ш	0	2	2	3	4	1	1	1	1	5	2	1	2	...	4	1
2ш		2	2	3	4	1	0	1	1	5	1	0	2	...	4	1
3ш		1	2	2	3	0		0	0	4	0		1	...	4	1
4ш		0	1	1	0					2			1	...	4	0
5ш			0	0						1			0	...	3	
6ш										0				...	2	
7ш														...	0	
8ш														...		
9ш														...		
10ш														...		
11ш														...		

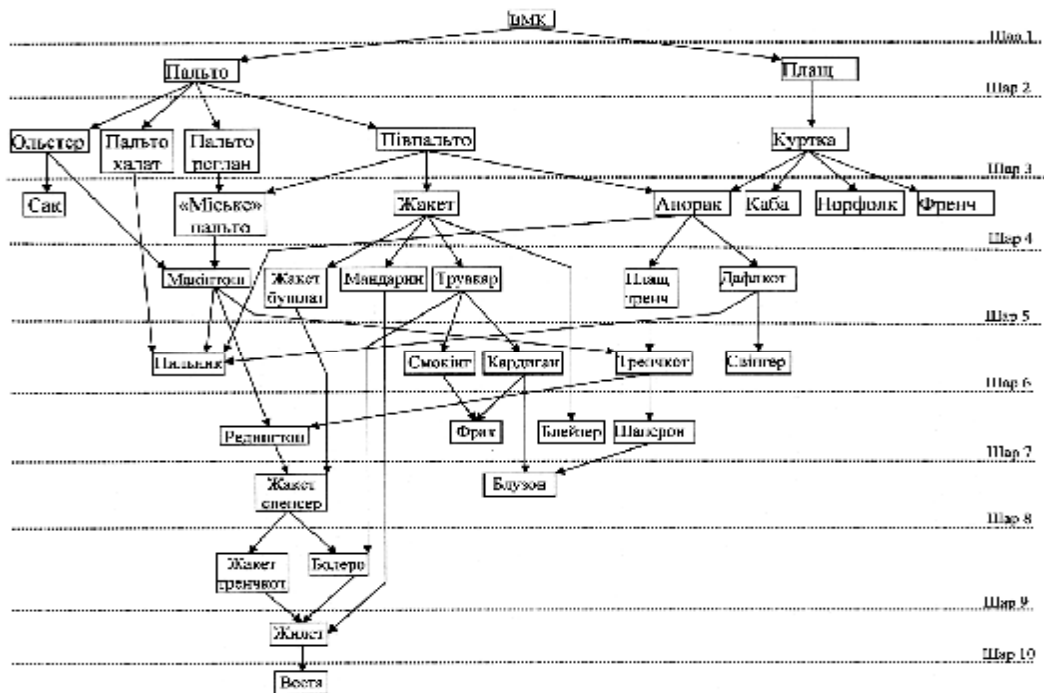


Рис. 1. Орієнтований граф типологічного ряду жіночого плечового одягу

Таким чином, отримано перетворену матрицю суміжності, що на відміну від попередньої, заповнена повністю: і верхня, і нижня частина відносно головної діагоналі містять «1» та «0». На її основі побудована матриця досяжності, що представлена у табл. 4.

Аналіз матриці досяжності свідчить про наявні маршрути між усіма вершинами орграфа. Отже, практично будь-який вид виробу жіночого одягу можна перетворити в інший за скінченну кількість кроків, яка не перевищує загальної довжини графа. Виключення становить перетворення із вихідної модельної конструкції в інші види виробів – воно є лише прямим, обернене перетворення не доцільне і на практиці не здійснюється.

Як відомо [11], алгоритм Флойда дозволяє знайти найкоротший шлях із однієї вершини орграфа в іншу. Це означає знаходження такого ланцюга перетворення, який за найменшу кількість проміжних перетворень дозволяє виконати трансформацію із одного виробу в інший, відповідно до проектної ситуації (зміна напрямку моди, побажання споживача, гнучка переорієнтація виробництва на інші види виробів і т. д.).

Найкоротші шляхи перетворень знайдені для кожної пари виробів за допомогою спеціальної програми [12]. Результатом виконання алгоритму Флойда є конкретний ланцюг перетворення та його довжина (табл. 5).

Матриця досяжності

	в	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	..	35
в	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	..	1
1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	..	1
2	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	..	1
3	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	..	1
4	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	..	1
5	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	..	1
6	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	..	1
7	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	..	1
8	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	..	1
9	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	..	1
10	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	..	1
..
35	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	..	1

Таблиця 5

Фрагмент номенклатури ланцюгів перетворення

Вихідний виріб		Трансформований виріб		Ланцюг перетворення					Довжина шляху	Кількість виробів у ланцюгу	
Код	Назва	Код	Назва	Код	Назва						
					ВТ1	ВТ2	ВТ3	ВТ4	ВТ5		
1	Анорак	2	Дафлкот	1-2	Анорак	Дафлкот				1	2
		3	Макінтош	1-9-3	Анорак	Пальто халат	Макінтош			2	3
		4	Міське пальто	1-10-4	Анорак	Півпальто	Міське пальто			2	3
	
		14	Сак	1-9-3-5-14	Анорак	Пальто халат	Макінтош	Ольстер	Сак	4	5
		15	Свінгер	1-2-15	Анорак	Дафлкот	Свінгер			2	3
..		
2	Дафлкот	3	Макінтош	2-9-3	Дафлкот	Пальто халат	Макінтош			2	3
		4	Міське пальто	2-1-10-4	Дафлкот	Анорак	Півпальто	Міське пальто		3	4
		
		18	Блейзер	2-1-10-21-18	Дафлкот	Анорак	Півпальто	Жакет	Блейзер	4	5

Висновки

Отримані ланцюги перетворень можуть бути використані для формування бази даних трансформуючих елементів. Вони є простими послідовностями, які дозволяють задавати вектор дій у конкретній проектній ситуації, забезпечуючи видозмінну трансформацію жіночого плечового одягу. Крім того, надають усі необхідні вихідні дані для розробки принципів склеювання та комбінаторного синтезу складних сильно зв'язаних раціональних послідовностей перетворень з поверненнями та петлями.

Література

- Курбатова Е.В. Организационная структура САПР швейных изделий / Е.В. Курбатова // Швейная промышленность. – 2004. – № 4 – С. 33–34.
- Безкоровайная Г.П. Проектирование детской одежды : [учеб. пособие для студ. высших учеб. заведений / Г.П. Безкоровайная, С.В. Куренова ; под общей ред. Безкоровайной Г.П. – М. : Мастерство, 2000. – 96 с.
- Шамухитдинов Л.Ш. Классификация и кодирование конструктивных решений трансформируемых элементов одежды / Л.Ш. Шамухитдинов, Е.Б. Коблякова, Т.В. Смирнова // Швейная промышленность. – 1991. – № 6. – С. 36–37.
- www.sibpatent.ru
- www.ateliehobby.ru
- Захаркевич О.В. Розробка типологічного ряду жіночого плечового одягу / О.В. Захаркевич // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 5 – С. 15–18.
- Захаркевич О.В. Обґрунтування вихідних умов формування ланцюгів перетворення жіночих плечових виробів / О.В. Захаркевич // Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ». Луцьк. – 2011. – № 34 – С. 89–94.
- Журавлев Ю.И. «Распознавание». Математические методы. Программная система. Практические применения / Журавлев Ю.И., Рязанов В.В., Сенько О.В. – М. : Фазис, 2006. – 176 с.
- Харари Ф. Теория графов / Харари Ф. – М. : УРСС, 2003. – 300 с.
- Клини С.К. Математическая логика / Клини С.К. – М. : Мир, 1973. – 480 с.
- Алгоритмы: построение и анализ / [Кормен Томас, Лейзерсон Чарльз, Ривест Рональд, Штайн Клиффорд] ; 2-е издание. – [пер. с англ.]. – М. : Издательский дом "Вильямс", 2010. – 1296 с.
- www.kursovik.com/progtopic.html

Рецензент: д.т.н. Славінська А.Л.

Надійшла 3.2.2012 р.

НАПРЯМКИ ГАРМОНІЗАЦІЇ ЕКОЛОГІЧНИХ ВИМОГ ДО ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ ТА ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДО СТАНДАРТІВ КРАЇН ЄС

В роботі розглянуто вимоги безпеки на швейні вироби. Проведено аналіз вимог нормативних документів на текстильні матеріали та швейні вироби, що діють в Україні та країнах ЄС.

The requirements of safety sewing wares have been considered. The analysis of requirements of normative documents on textile materials and sewing wares that operate in Ukraine and countries of EU have been conducted in the article.

Ключові слова : текстильні матеріали, екологічна безпека, якість, біологічні фактори, хімічні сполуки, забруднювачі, гігієнічні показники, екологічна сертифікація.

Останнім часом все більше людей приділяють увагу якості та безпеці товарів легкої промисловості, а саме швейним і трикотажним виробам та можливості прогнозування свого самопочуття в процесі їх використання.

Швейні вироби з текстильних та трикотажних матеріалів з точки зору небезпечності їх впливу на здоров'я людини, особливо дітей, потрібно розглядати як об'єкт можливої негативної дії комплексу хімічних речовин згідно з хімічним складом текстильних матеріалів, а самі технологічні процеси виробництва текстильних матеріалів розглядати як об'єкти, що безпосередньо впливають на забруднення навколишнього середовища.

Постановки проблеми

В Україні проблема якості та екологічної безпеки текстильних матеріалів та виробів з них набувають надзвичайної актуальності. Текстильна підгалузь легкої промисловості відноситься до переліку найбільш екологічно небезпечних. Екологічні проблеми текстильної промисловості виникають на етапах: очищення повітря і уловлювання шкідливих речовин при виробництві текстильної продукції, очищення стічних вод текстильних підприємств, екологічна сертифікація текстильної продукції.

При виробництві текстильних матеріалів вирішуються завдання, що пов'язані з оцінкою ступеня забруднення та засобами очищення повітря на текстильних виробництвах, розробляються методи очищення технологічних стічних вод текстильних підприємств, які містять барвники та важкі метали.

Особливу увагу слід приділяти сертифікації продукції. На сучасному етапі екологічна сертифікація текстильної продукції обумовлена підвищенням уваги до якості та безпеки текстильних матеріалів. Під екологічною безпекою текстильних матеріалів та виробів з них розуміють відсутність речовин, що негативно впливають на організм людини, мінімальний негативний вплив виробництва на навколишнє середовище та на шкідливу утилізацію або переробку відходів. У світовій практиці проблема гарантування безпеки продукції вирішується шляхом оцінювання її відповідності чи декларуванням про відповідність. Проведення сертифікації на екологічну безпеку текстильних матеріалів забезпечено правом споживача на якісну безпечну продукцію.

Вітчизняна практика стандартизації текстильної продукції регулюється відповідними законами України «Про стандартизацію» і «Про захист прав споживача» та базується на обов'язкових рекомендаціях, що містять державні стандарти та державні санітарні норми.

В сучасних умовах важливим є гармонізація нормативних документів з міжнародними стандартами. Кабінетом Міністрів України в 1997 р. було прийнято постанову № 244 "Про заходи щодо поетапного впровадження в Україні вимог Директив Європейського Союзу, санітарних, екологічних, ветеринарних, фітосанітарних норм та міжнародних і європейських стандартів".

Враховуючи вище викладене проблема аналізу існуючих вимог державних нормативних документів і визначення напрямків їх гармонізації з європейським стандартами є актуальною та потребує подальшого розвитку.

Виклад основного матеріалу

Існуючі санітарні правила регламентують сировинний склад, гігроскопічність, повітропроникність, питомий поверхневий електричний опір. Однак ці показники характеризують фізичні властивості текстильних матеріалів, які регулюють під одяговий мікроклімат, але не визначають безпеку продукції.

На жаль на відміну від європейських стандартів в цю систему принципів гігієнічної оцінки товарів легкої промисловості не входить контроль таких гігієнічних значущих показників як барвники, пестициди важкі метали та інші.

Ці показники розглядаються в європейських стандартах ЕКО ТЕКС – 100, які передбачають визначення в тканинах залишкових концентрацій важких металів, легких органічних сполук, залишкової частини пестицидів, похідних кислот продуктів деструкції барвників та інших речовин, що мають токсичні або канцерогенні властивості.

Значну увагу приділяють визначенню важких металів та пестицидів в текстильних матеріалах, оскільки ці сполуки займають одне з перших місць в пріоритетності забруднення екосистеми. Вони досить

стійкі і довгий час зберігаються не тільки в ґрунті, а й в природній сировині, тобто в натуральних волокнах – бавовна, льон, вовна. Крім того, досить часто текстильні матеріали та вироби натурального походження обробляють фунгіцидами та інсектицидами від руйнуючої дії мікроорганізмів, молі, гризунів при зберіганні текстильних матеріалів і одягу на складах, тим самим збільшуючи їх екологічну небезпеку.

Для оздоблення та надання текстильним матеріалам особливих властивостей застосовують барвники та сполуки, що містять важкі метали, що також забруднює навколишнє середовище і підвищує небезпеку текстильних матеріалів.

Основними забруднювачами екосистеми вважаються вісмут, кадмій, кобальт, марганець, мідь, цинк, нікель, олово, ртуть, свинець, сурма, хром. З них свинець, ртуть і кадмій віднесені до глобальних забруднювачів навколишнього середовища першого класу небезпечності. Зазначені композиції і речовини є складними багатокомпонентними системами, які можуть залишатися на поверхні чи в структурі текстильного матеріалу.

Вимоги сучасних європейських стандартів базуються на дослідженнях, які виявили міграцію важких металів з тканин із хімічними та натуральними волокнами. Гострота питання полягає в накопиченні металів в організмі людини в зв'язку з вираженими кумулятивними властивостями і тривалим періодом їх виведення. Це обґрунтовує необхідність застосування норм гранично допустимих концентрацій шкідливих та небезпечних сполук.

В процесі експлуатації одягу при дії різноманітних факторів та механічних дій в під одяговий простір можуть виділятися незаполімеризовані мономері, продукти деструкції або на рівні малих інтенсивностей "вимиватися" потовою рідиною чи іншими продуктами життєдіяльності людини. Це може негативно впливати на організм людини, викликати різні біологічні ефекти – алергенні, шкірно-подразнюючі, з різною тривалістю дії та часом виявлення.

Таким чином, текстильні матеріали та вироби з них можуть бути джерелом негативної дії цілого комплексу хімічних речовин різних за класом небезпечності та впливом на організм людини. Питання небезпечності одягу та текстильних матеріалів стає особливо важливим, оскільки дія на організм людини здійснюється протягом усього життя.

Таким чином, основними напрямками для захисту здоров'я людини від можливої дії хімічних факторів текстильних матеріалів і одягу є розробка сучасних гігієнічних критеріїв і регламентів та застосування якісного аналізу та експертизи.

В сучасних умовах важливою є гармонізація нормативних документів з міжнародними стандартами. Тому Кабінетом Міністрів України в 1997 р. було прийнято постанову № 244 "Про заходи щодо поетапного впровадження в Україні вимог Директив Європейського Союзу, санітарних, екологічних, ветеринарних, фітосанітарних норм та міжнародних і європейських стандартів".

На сьогодні в Україні діють нормативні документи – стандарти та санітарні норми і правила, що містять загальні вимоги до хімічного складу та фізико-хімічних показників текстильних матеріалів, а також вимоги до процесу проектування та виготовлення швейних виробів.

В Україні при виготовленні та експертизі товарів легкої промисловості застосовують цілий ряд нормативних документів. Так, при виготовленні швейних виробів інформаційне забезпечення складають: 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 до виготовлення швейних, трикотажних та хутряних виробів різного асортименту, призначення та вікових груп. Ці стандарти містять вимоги до текстильних матеріалів, процесу розкрою, виготовлення, маркування та контролю якості швейних виробів. Вимоги до текстильних матеріалів обумовлюють їх волокнистий склад, показники безпеки, показники, що впливають на під одяговий мікроклімат та санітарно-гігієнічні показники.

В таблиці 1 надано перелік нормативних документів, що містять вимоги до швейних виробів та текстильних матеріалів при проектуванні та виготовленні виробів.

Аналіз вимог нормативних документів показав, що особлива увага до волокнистого складу текстильних матеріалів приділяється тільки для дитячого одягу, а обов'язковій сертифікації підлягає тільки перший шар одягу дитячого асортименту та білизняні текстильні матеріали.

Сучасні нормативні документи загальних технічних умов на вироби легкої промисловості містять показники, що регламентують гігроскопічність, повітропроникність, питомий поверхневий електричний опір. Окремий розділ містить вимоги, що визначають екологічну чистоту текстильного матеріалу – вміст вільного формальдегіду та інших хімічних сполук. Аналіз нормативних документів показав, що вимоги та регламентовані показники мають значне розходження за показниками гігроскопічності, значенням питомого електричного опору, повітропроникності. Показники екологічної безпеки містяться лише в одному нормативному документі - ДСТУ 4239: 2003, показники по вмісту вільного формальдегіду містяться в ДСТУ ГОСТ 25294: 2005, ДСТУ ГОСТ 25295: 2005, ДСТУ ГОСТ 25296: 2005.

Таким чином, існуючі нормативні документи містять вимоги до показників волокнистого складу, гігроскопічності, повітропроникності, електризує мості, тобто ті показники, що формують підодяговий мікроклімат і оцінюють фізіолого-гігієнічні показники одягу.

Показники екологічної безпеки повинні відповідати вимогам, що жорстко регламентуються і викладені в нормативних документах. Найбільш важливими серед них є «Санітарні норми та Правила», які

містять регламентовані значення і є обов'язковими до виконання. В них оцінюється волокнистий склад, гігієнічні показники та показники стійкості фарбування текстильних матеріалів, та їх інші фізичні властивості. Однак існуючі документи не виконують контроль за вмістом показників барвників, важких металів, антисептиків, пестицидів та ін.

Таблиця 1

Вимоги нормативних документів до дитячого одягу

№ п/п	Номер та назва нормативного документу	Вміст хімічних волокон	Вимоги до виробів та матеріалів	
			Показник, що реглам. підодяговий мікроклім.	Показник, що регламентує екол. безпеки
1.	ГОСТ 904-87 Вироби трикотажні білизняні для жінок та дівчаток. Загальні технічні умови.	Регламентується	Ні	Ні
2.	ГОСТ 28039-89 Вироби трикотажні верхні для чоловіків та хлопчиків. Загальні технічні умови.	З дозволу Мінздраву.	Ні	Ні
3.	ГОСТ 12694-90 Вироби трикотажні білизняні для дітей новонароджених, ясельного та дошкільного віку. Загальні технічні умови.	Регламентується	Ні	Ні
4.	ГОСТ 19540-90 Вироби трикотажні купальні. Загальні технічні умови.	Регламентується	Ні	Ні
5.	ГОСТ 30327-95 Сорочки верхні. Загальні технічні умови.	Регламентується	Ні	Ні
6.	ГОСТ 30383-95 Вироби трикотажні дитячі білизняні. Норми фізико-механічних показників.	Не регламентується	Так	Так
7.	ДСТУ 4239: 2003 Матеріали та вироби текстильні і шкіряні побутового призначення. Основні гігієнічні вимоги.	Не регламентується	Ні	Ні
8.	ДСТУ ГОСТ 25294: 2005 Одяг верхній платтяно-блузкового асортименту. Загальні технічні умови.	Регламентується	Так	Частково
9.	ДСТУ ГОСТ 25295: 2005 Одяг верхній пальтово-костюмного асортименту. Загальні технічні умови	Регламентується	Так	частково
10.	ДСТУ ГОСТ 25296: 2005 Вироби швейні білизняні. Загальні технічні умови	Регламентується	Так	частково
11.	СанПіН № 42-125-4390-87 Вміст хімічних волокон в матеріали для дитячого одягу та взуття у відповідності з їх гігієнічними показниками.	Регламентується	Так	Ні

Аналіз нормативних документів показав, що на сьогодні в Україні не має сучасних нормативів і регламентів відносно міграції з текстильних матеріалів хімічних речовин. Діючі Сан ПіН № 42-125-4390-87 "Вложение химических волокон в материалы для детской одежды и обуви в соответствии с гигиеническими показателями" і доповнення до них містять норми вкладення хімічних волокон в матеріали для дитячого одягу і взуття та посилання на ГДКс для атмосферного повітря. На жаль, відсутні рекомендації стосовно гігієнічної оцінки міграції хімічних забруднювачів в такі модельні середовища, як дистильована вода, потова рідина, слина. Відсутність таких нормативів і регламентів ускладнює роботу при проведенні експертизи та попереджувального і поточного санітарного нагляду. Недостатня увага до екологічної безпеки

текстильних матеріалів та швейних виробів збільшує ризик споживачів при експлуатації одягу.

Необхідно відмітити, що ступінь екологічного ризику для людини залежить від багатьох факторів, найважливішими з яких є шар одягу, термін експлуатації, площа контакту виробу з тілом людини. При цьому слід враховувати вікову групу споживачів. Екологічний ризик збільшується для дітей молодшої вікової групи, особливо немовлят. Площа контакту виробу і тіла для них складає найбільший відсоток, що також може збільшувати негативний вплив текстильних матеріалів на організм дитини. Тому при визначенні ризиків та екологічної небезпеки доцільно класифікувати швейні вироби за ступенем ризику та інтенсивністю впливів одягу на організм людини. З цією метою пропонується ввести безрозмірний показник, який би враховував ступінь ризику людини при експлуатації одягу. При розрахунку цього показника враховують всі вище названі фактори.

Залежно від отриманих значень безрозмірного показника одяг поділяється на класи. Кожному класу відповідає нормативне значення фізико-гігієнічних показників текстильного матеріалу, який використовується при виготовленні швейних виробів конкретного асортименту. Класифікація одягу за класами, які враховують показники ризику, наведена в таблиці 2.

Таблиці 2

Класифікація одягу з урахуванням показників ризику.

Вік споживача	Перший шар одягу				Другий шар одягу		Третій шар одягу	
	Регулярне використання		Епізодичне використання		регул	епізод	регул	епізод
	Площа контакту < 15%	Площа контакту ≥15%	Площа контакту <15%	Площа контакту ≥15%	Площа контакту ≥15%		Контакт зі шкірою відсутній	
Новонароджені	I Клас	I Клас	I Клас	I Клас	I Клас	II Клас	II Клас	III Клас
До 3 років	I Клас	I Клас	I Клас	II Клас	I Клас	II Клас	II Клас	III Клас
Від 4 до 7	I Клас	I Клас	II Клас	III Клас	II Клас	III Клас	III Клас	III Клас
Від 8 до 12	I Клас	II Клас	III Клас	III Клас	III Клас	III Клас	III Клас	IV Клас
Від 13 до 15	I Клас	II Клас	III Клас	IV Клас	III Клас	IV Клас	IV Клас	IV Клас
Старші 16 років та дорослі	II Клас	III Клас	III Клас	IV Клас	IV Клас	IV Клас	IV Клас	IV Клас

В європейських країнах вимоги до одягу та текстильних матеріалів оцінюють на екологічну безпеку згідно нормативів, які регламентовані Директивами і стандартами. В цих країнах діє Міжнародна Асоціація дослідження і випробувань в галузі екології текстилю (ЕКО-ТЕКС), яка займається не тільки дослідженнями, але і розробкою науково обґрунтованих вимог безпечності текстильних матеріалів та виробів з них. Продукція, що пройшла випробування в спеціалізованих випробувальних лабораторіях і одержала позитивну оцінку, має право на маркування спеціальним знаком ЕКО-ТЕКС, що означає безпеку для споживачів при експлуатації одягу.

Стандарти, які діють в європейських країнах, контролюють величину мігруючого комплексу хімічних речовин, які мають різноманітні біологічні впливи на організм людини. На відміну від України, підхід до оцінювання безпеки текстильних матеріалів в країнах ЄС базується на проведенні одориметричних досліджень і визначенні хімічних забруднювачів та інших сполук.

На сучасному етапі для споживачів та виробників української продукції важливо розробити такі нормативні документи, що будуть містити норми і критерії для визначення безпеки текстильних матеріалів і виробів з них. Тому слід прискорити розробку проекту нових сучасних санітарних норм і правил, які повинні контролювати хімічні складові, ГДКс, що впливають на організм людини, а також враховувати групи ризику, які характеризують вплив одягу на організм людини.

Висновок: проведено аналіз нормативних документів, які містять вимоги до текстильних матеріалів та виробів. Визначено вплив негативних біологічних та хімічних факторів на організм людини. Розглянуто напрямки гармонізації нормативних документів з європейськими. Запропоновано класифікацію одягу за групами ризику.

Література

1. Сан Пін №42-125-4390-87 «Вложение химических волокон в материалы для детской одежды и обуви в соответствии с гигиеническими показателями».
2. Ярщук О.В. Структурний підхід до оптимізації показників якості текстильних матеріалів та виробів з них / О.В. Ярщук, О.П. Бохонько, О.Ю. Лепікаш // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2011. – № 1. – С. 209–213.
3. Ярщук О.В. Аналіз нормативних документів для виготовлення та експертизи швейних виробів дитячого асортименту / О.В. Ярщук, О.П. Бохонько, О.Ю. Лепікаш // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2011. – № 1.
4. ДСТУ 4239: 2003 "Матеріали та вироби текстильні і шкіряні побутового призначення. Основні гігієнічні вимоги".

Рецензент: д.т.н. Либа В.П.

Надійшла 8.2.2012 р.

ТОВАРОЗНАВЧА ЕКСПЕРТИЗА РОЗМІРНИХ ПОКАЗНИКІВ ТА МАРКУВАННЯ СПОРТИВНОГО ОДЯГУ ПРОВІДНИХ ФІРМ-ВИРОБНИКІВ

Авторами проаналізовано існуючі сітки розмірів спортивного одягу провідних виробників: Adidas, Puma, Reebok та Nike, а також порівняно їх між собою. Досліджено відповідність розмірних показників та маркування спортивного одягу обов'язковим вимогам стандартів.

The authors analyzed the existing grid sizes leading sportswear manufacturers: Adidas, Puma, Reebok and Nike, and compared them with each other. Investigated compliance with the dimensional parameters and labeling sportswear mandatory requirements of standards.

Ключові слова: розміри одягу, спортивний одяг, експертиза якості.

Вступ

Експертиза якості виробів на споживчому ринку України є сьогодні однією з найсерйозніших та гострих проблем. Одяг є предметом першої необхідності для людини, засобом захисту від несприятливого впливу оточуючого середовища та небезпечних факторів.

Аналіз ринку швейних виробів показав, що не дивлячись на популярність спортивного одягу, йому приділяється недостатньо уваги. В країні переважає продукція іноземних фірм-виробників, найпопулярнішими з яких є: Nike, Adidas, Wilson, Reebok, Puma, Lotto, Craft. Ці промислові гіганти при виготовленні своєї продукції використовують найновіші технології, останні досягнення в області науки та техніки, найбільш високоякісні матеріали. Продукція цих фірм представлена в Україні виключно в спеціалізованих фірмових магазинах і відділах, які є лише у великих містах та обласних центрах.

Постановка завдання

На сьогоднішній день на ринку спортивного одягу переважають товари імпортного виробництва. Проблемою таких товарів є те, що кожна провідна фірма-виробник має свою систему розмірів, які відрізняються між собою, але немає уніфікованої систематизації даних. Тому актуальною задачею є аналіз існуючих сіток розмірів виробів та створення уніфікованої системи розмірів спортивного одягу.

Метою статті є товарознавче експертне дослідження відповідності розмірних показників та маркування спортивного чоловічого та жіночого одягу обов'язковим вимогам стандартів. Досягнення поставленої мети вирішуються за допомогою наступних задач: збір інформації про маркування спортивного одягу; аналіз міжнародних сіток розмірів одягу; удосконалення процесу проектування спортивного одягу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В практичній діяльності експертів, які проводять експертизу якості спортивного одягу, часто виникають питання щодо співвідношення розмірних показників вітчизняного та зарубіжного одягу. Невірне визначення розмірних показників ускладнює ідентифікацію виробів, призводить до фальсифікації такого важливого для споживачів показника якості, як відповідність розмірів одягу фактичним розмірам фігури людини.

Сьогодні в міжнародній практиці [2] прийнято чотири найбільш поширених розмірних системи одягу:

1. Метрична система. Прийнята в країнах СНД, використовується українськими та російськими виробниками. Розмір визначається, як півобхват грудей P . Інтервал між розмірами складає 2 см.

2. Англійська система. Вимірювання розмірів проводять в дюймах: 1 дюйм = 2,54 см. Щоб визначити розмір одягу, необхідно CgP в сантиметрах поділити на 2,54 і отримаємо об'єм в дюймах. Далі визначити розмір згідно таблиці.

3. Американська система подібна до англійської, розміри позначаються в дюймах. Різниця між ними стосується лише чоловічого одягу. В американській системі чоловічий одяг на один розмір більший ніж в англійській системі.

4. Німецькі розміри одягу залежать від зросту. Щоб отримати німецький розмір необхідно відняти 6 см від українсько-російського розміру.

Розмірні показники швейних виробів вказуються на товарних ярликах у певному порядку: зріст – обхват грудей (розмір) – обхват стегон (талії). Співвідношення розмірів різних систем одягу подано в таблицях 1 та 2.

Розміри повсякденного одягу не співпадають з розмірами спортивного одягу, так як кожна з провідних всесвітньовідомих фірм-виробників спортивного одягу має свою встановлену систему визначення розмірів одягу. Це пов'язано з особливостями проектування спортивного одягу та властивостями матеріалів, які використовуються. Тому доцільно розглянути розмірні показники виробників спортивного одягу.

Співвідношення міжнародних розмірних сіток жіночого одягу

Міжнародні	XS		S	M		L	XL		XXL
Росія, Україна	40	42	44	46	48	50	52	54	56
Німецькі	34	36	38	40	42	44	46	48	50
Англійські	6	8	10	12	14	16	18	20	22
США	6	8	10	12	14	16	18	20	22

Таблиця 2

Співвідношення міжнародних розмірних сіток жіночого одягу

Міжнародні	XS	S	M	L	XL	XXL
Росія та Україна	42-44	46-48	50-52	54-56	58-60	62-64
Німецькі	36-38	40-42	44-46	48-50	52-54	56-58
Англійські	8	10	12	14-16	18-20	22
США	10	12	14	16-18	20-22	24

Результати досліджень

Стандартні методи визначення розмірних показників одягу та правила його маркування регламентовані в нормативно-технічній документації, що є чинною в Україні. Оскільки одяг маркують з використанням багатьох стандартів, то такий підхід привів до цілого ряду проблем:

1. Прийнятий в даній країні або виробника спосіб маркування створює складнощі у виборі.
2. Розміри змінювалися через "роздування розмірів", ситуації, коли з часом одяг, який випускається одного і того ж розміру стає більшим. Це робиться для того, щоб уникнути конфліктів із споживачами, які з часом втрачають форму, але не бажають собі в цьому зізнаватися.
3. Під час замовлення одягу за каталогами необхідно застосовувати особливі точні способи для вибору найкращого розміру.
4. Для багатьох видів одягу недостатньо просто одного якогось числа, щоб визначити коло осіб, для яких він буде виготовлений: необхідно, щоб одяг підходив по двом або більше параметрів тіла.
5. Скалярні розміри засновані на антропометричних дослідженнях 1950-х, тепер неадекватні, оскільки з тих пір істотно змінилося харчування і стиль життя людей, що призвело до перерозподілу розмірів тіла.

За результатами аналізу співвідношення розмірних показників було виявлено невідповідність розмірів одягу та його маркування. На промислових ринках міста та в спеціалізованих магазинах з продажу фірмового спортивного одягу було виявлено велику кількість низькосортних виробів-підробок виготовлених в Китаї та інших країнах. Внаслідок цього необхідно створити сучасну систему розмірів одягу, яка б задовольняла всі вимоги споживачів та виробників.

В роботі проаналізовано фірмові бренди спортивних виробів Adidas, Puma, Reebok та Nike. Результати аналізу та порівняння розмірних сіток чоловічого та жіночого спортивного одягу різних фірм-виробників представлено в таблиці 3 та 4.

Таблиця 3

Порівняння розмірних сіток жіночого спортивного одягу різних фірм-виробників

Назва країни	Жіночий спортивний одяг													
	Розміри одягу													
	Adidas													
Міжнародні	2XS	XS	S	M	L	XL	XXL	XXXL						
В Росії та Україні	38	40	42	44	46	48	48	50	52	54	56	58	60	62
Європейські	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	56
Американські	6	8	10	12	14	16	18	20	-	-	-	-	-	-
	Puma та Reebok													
Міжнародний	2XS	XS	S	M	L	XL	XXL	XXXL						
В Росії та Україні	38-40	40-42	42	44	46-48	50-54	56-58	60-62						
Європа	32-34	34-36	36-38	40-42	42-44	46-48	50	52						
В США	4-6	6-8	8-10	12-14	16	18-20	22	24						
	Nike													
Міжнародні	2XS	XS	S	M	L	XL	XXL	XXXL						
В Росії та Україні	40	42	42-44	44-46	46-48	50	52	54						
Європа	34	36	38	40	42	44	46	48						
США	6	8	10	12	14	16	18	20						

Порівняння розмірних сіток чоловічого спортивного одягу різних фірм-виробників

Назва країни	Чоловічий спортивний одяг															
	Розміри одягу															
	Adidas															
Міжнародні	2XS		XS		S		M		L		XL		XXL		XXXL	
В Росії та Україні	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66
Європейські	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60	62	64	66
Американські	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	-	-	-
	Puma та Reebok															
Міжнародний	2XS		XS		S		M		L		XL		XXL		XXXL	
В Росії та Україні	40		42		44		46-48		50-52		54-56		58-60		62-64	
Європа	40		42		44		46-48		50-52		54		58		60	
В США	10		12		14		16		18		20		22		24	
	Nike															
Міжнародні	2XS		XS		S		M		L		XL		2XL		3XL	
В Росії та Україні	40-42		42-44		44-46		46-48		48-50		52-54		54-56		56-58	
Європа	34		36		38		40		42		44		46		48	
США	6		8		10		12		14		16		8		20	

Для аналізу розмірів спортивного чоловічого та жіночого одягу було обрано російсько-українські, європейські, американські та міжнародні розміри, які порівнювалися між собою. При їх аналізі стало видно, що різниця між двома сусідніми європейськими та російсько-українськими розмірами становить 2 см, а між американськими – 5,08 см. При дослідженні розмірів вибрано базовий, а саме розмір М. Проаналізувавши сітки провідних фірм-виробників спортивного одягу видно, що деякі розміри не співпадають між собою у числовому значенні, саме один міжнародний розмір може відповідати двом російсько-українським, європейським або американським розмірам, що викликає дискомфорт при підборі та покупці спортивних виробів. Тому актуальним завданням є створення уніфікованої розмірної системи. На рисунку 1, 2 наведено співвідношення між розмірними системами жіночого та чоловічого спортивного одягу різних країн.

Проаналізувавши розмірні сітки спортивного одягу різних всесвітньо відомих фірм-виробників була виявлена їх невідповідність співвідношення розмірів спортивного одягу між собою. Тому основною задачею було створення єдиної розмірної сітки спортивного одягу для чоловіків та для жінок. Для вирішення цієї проблеми автори статті запропонували найбільш оптимальні та раціональні співвідношення розмірів імпортного і вітчизняного спортивного одягу (таблиця 5 та 6).

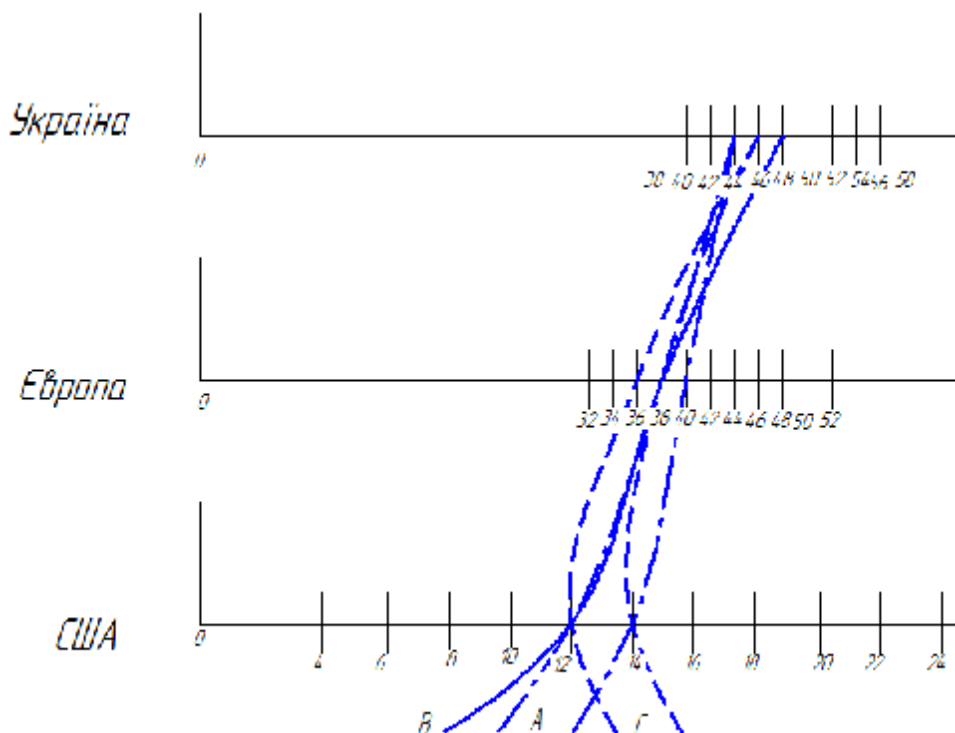


Рис. 1. Співвідношення між розмірними системами жіночого спортивного одягу різних країн: А – шкала фірм Puma та Reebok; В – шкала бренду Nike; С – шкала Adidas

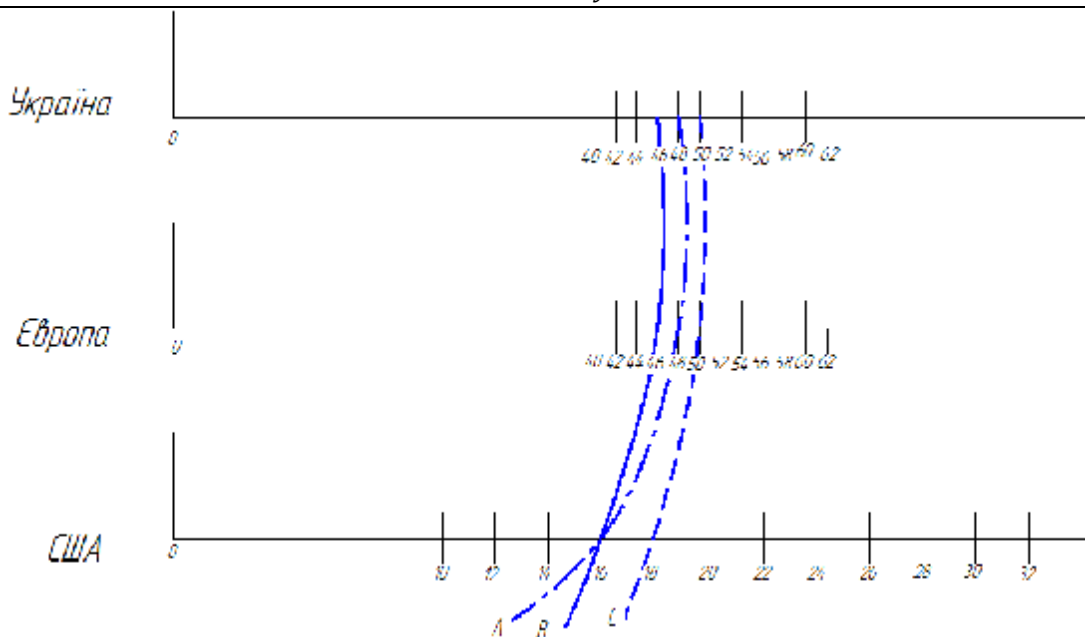


Рис. 2. Співвідношення між розмірними системами чоловічого спортивного одягу різних країн:
А – шкала фірм Puma та Reebok; В – шкала бренду Nike; С – шкала Adidas

Таблиця 5

Міжнародна розмірна сітка для жіночого спортивного одягу

Міжнародні	2XS	XS	S	M	L	XL	2XL	3XL
Росія, Україна	40	42	44	46	48	50	52	54

Таблиця 6

Міжнародна розмірна сітка для чоловічого спортивного одягу

Міжнародні	2XS	XS	S	M	L	XL	2XL	3XL
Росія та Україна	42	44	46	48	50	52	54	56

Створення уніфікованої розмірної сітки чоловічого та жіночого спортивного одягу допоможе споживачам при підборі виробів необхідного їм розміру.

Висновки

На ринку спортивного одягу було виявлено чимало підробок сумнівної якості. Реалізація підроблених та фальсифікованих товарів призводить до зниження рівня здоров'я, матеріальних збитків, зниження рівня культури споживання. На наш погляд на сьогоднішній день одним з найпростіших та найбільш дієвих способів запобігання розповсюдженню фальсифікованих товарів є інформування споживачів через засоби масової інформації та спеціальну літературу.

Література

1. ОСТ 17 – 326 – 81. Изделия швейные, трикотажные, меховые. Типовые фигуры женщин. Размерные признаки для проектирования одежды.
2. ОСТ 17 – 325 – 81. Изделия швейные, трикотажные, меховые. Типовые фигуры мужчин. Размерные признаки для проектирования одежды.
3. Дунаевская Г.Н. Размерная типология населения с основами анатомии и морфологии / Дунаевская Г.Н., Коблякова Е.Б., Ивалаева Г.С. – М., Легкая индустрия. – 1980.

Рецензент: к.т.н. Вірник М.М.
Надійшла 8.2.2012 р.

ВПЛИВ ВОЛОКНИСТОГО СКЛАДУ НА ФОРМОСТІЙКІСТЬ ТКАНИН В ОДЯЗІ

Сучасний одяг вимагає не лише естетичного зовнішнього вигляду, але і комфортного відчуття людини в ній. Лляні тканини, з цієї точки зору, незамінні для літнього асортименту одягу. Вони добре вбирають вологу, створюють відчуття прохолоди у спеку, швидко висихають, хоча мають ряд недоліків – підвищену жорсткість, зсідання та здатність до зминання.

Modern clothes require not only aesthetic original appearance but also comfort feeling of man in iter. Flax fabric, from this point of view, is irreplaceable for the summer assortment of clothes. They absorb moisture well, create feeling of coolness in a heat, dry out quickly, although have number of defects – increased inflexibility, shrinkage and ability to crumple.

Ключові слова: сучасний одяг, лляні тканини.

Вступ

У доступних літературних виданнях є лише уривчасті відомості про властивості лляних тканин, які можуть впливати на зовнішній вигляд одягу, адже на етапах проектування нових моделей важливим є прогнозування змін властивостей матеріалу в конкретних умовах виробництва і експлуатації одягу [1]. Розвиток світової текстильної галузі України говорить про стабільний попит на вироби різного асортименту з тканин, які вмщують натуральні та змісові волокна.

Аналіз літературних джерел свідчить, що достатнього не зминання льоновомісних тканин платтяно-костюмною групи найчастіше досягають шляхом додавання синтетичних волокон до лляних. При цьому покращуються експлуатаційні характеристики льоновомісних тканин, проте знижуються гігієнічні показники.

Постановка завдання

Якість виробу, зовнішній вигляд, зручність догляду за виробом під час його експлуатації залежать від здатності матеріалів протягом тривалого часу зберігати надану формостійкість, що, в свою чергу, впливає на розширення асортименту конкурентоспроможних швейних виробів.

Метою цієї статті є аналіз та дослідження залежності формостійкості одягу від структури льняного волокна, з якого проектують сучасні матеріали для одягу.

Ступінь зминання матеріалу у виробі споживач оцінює візуально за зміною рівності поверхні при безпосередній експлуатації одягу. Під час експлуатації найбільшого зминання зазнають поясні вироби. Лляні тканини, завдяки своїм високим гігроскопічним властивостям, переважно використовуються для виготовлення літнього асортименту одягу.

Проте існуючі поєднання целюлозних волокон з хімічними значно змінюють властивості текстильних полотен. Тканин із 100-відсотковим вмістом льону мають невисокі показники формостійкості: підвищену здатність до зминання та зсідання. Додавання до лляних тканин поліефірних волокон (ПЕ) дозволяє понизити ці негативні характеристики. Льнополіефірні тканини мають високу пружну пластичність, і меншу гігієнічність.

Отже, під час вибору моделей одягу з льоновомісних тканин слід враховувати призначення конкретного виробу (табл. 1).

Таблиця 1

Градация льоновомісних тканин за зминанням

Група тканин	Зминання, % (100 - Ka)*	Ступінь зминання	Волокнистий склад
1	< 40	здатні мало зминатися	напівлляні з 50% ПЕ і більше
2	40–60	здатні до зминання	напівлляні з < 50% ПЕ, льнобавовняні
3	> 60	здатні сильно зминатися	100% лляні

* Ka – коефіцієнт незминання, %, розрахований за стандартною методикою [1].

При виготовленні одягу для дорослих можливе використання льоновомісних тканин з будь-яким вкладенням поліефірним волокон.

Для поясних виробів, з урахуванням цих досліджень, доцільно використовувати тканини, що містять 50-70% поліефірних волокон. Такі тканини дозволяють зберігати необхідну стабільність форми упродовж усього терміну експлуатації до моменту морального зносу виробу, а також забезпечують комфортне носіння одягу. При використанні льнополіефірних тканин з великим вмістом поліефірних волокон також можна створити комфортний мікроклімат для тіла людини за допомогою конструктивних особливостей моделі.

Тканини з 100-відсотковим вмістом льону та невеликою поверхневою щільністю рекомендується використовувати при виготовленні одягу для дітей, особливо для дітей молодшої вікової групи. Тканини, що містять не більше 30% поліефірних волокон, можна використовувати для дитячого одягу інших вікових груп. Ця вимога обумовлена саме необхідністю створення підодягового мікроклімату, що забезпечує

комфортний стан дитини і благотворно впливає на її здоров'я. Також для дітей можливе використання м'якшого льонобавовняного одягу.

Таким чином, багато в чому вибір асортиментної групи проектованого одягу зумовлюється волокнистим складом використовуваних тканин. Характеристики будови, що включають структурні показники і вид переплетення, більшою мірою впливають на естетичне сприйняття моделі. Так, найбільшу здатність до змінання мають тканини з 100-відсотковим вмістом льону полотняного переплетення. Тканини дрібновізерункових і складних переплетень, що мають різну довжину і розташування перекриттів, мають дрібнозернисту або рельєфну поверхню і здатні приховати небажане змінання лляних тканин в одязі під час експлуатації.

Для виробів платтяно-костюмного асортименту також рекомендується використовувати пістрявоткані тканини і тканини з друкарським рисунком, що імітують рельєфну поверхню тканин складних переплетень.

Дослідження анізотропії змінання і анізотропії усадки після мокрих обробок для льономісних тканин показали значну їх формостійкість при розкрої в напрямках 45° і 60° . Таким чином, саме ці напрями розкрою, особливо для гладких тканин, здатні забезпечити достатню стабільність швейних виробів при використанні [2].

Складчасті форми на лляних тканинах зустрічаються вкрай рідко. Незважаючи на те, що на цих тканинах виходять чіткі, жорсткі складки, в експлуатації вони здатні швидко змінювати форму під дією обурюючих зусиль і вологи, крім того, бажана форма виробу з льономісних тканин може бути зіпсована появою додаткових і небажаних заломів і складок в процесі експлуатації через здатність матеріалів з льону сильно змінатися – усе це значно знижує інтерес споживачів до лляних тканин.

Для виробів із складками, бажано, проектувати складки з шириною ребер не менше 20 мм, це дозволить збільшити товщину пакету цього виду одягу, а отже, понизити її здатність до змінання. Крім того, небажаного змінання виробів із складками можна уникнути шляхом використання тканин із суміші волокон.

Дослідження змін жорсткості тканин із 100-відсотковим вмістом льону при багатократному пранні показали, що після третьої обробки, яка стабілізує усадку полотен, жорсткість тканин починає поступово знижуватися.

Змінання, як вже було сказано вище, разом з зсіданням, є основною негативною властивістю лляних матеріалів, внаслідок чого, тканини платтяно-костюмної групи цього волокнистого складу не дуже цікавлять споживача. Частина величини зсідання лляних тканин, може бути практично ліквідована при замочуванні (або пранні) таких тканин до етапу розкрою, що помітно впливає на зміну розмірів і форми швейних виробів, а змінання після описаних процедур залишається.

Відомо, що волокнистий склад тканини визначає більшість її властивостей [3]. Але й інші характеристики можуть зробити помітний вплив на стійкість тканин до змінання. Такими є: вид переплетення, поверхнева щільність тканин, їх художньо-колеристичне оформлення. Чимале значення, як показали результати проведених досліджень, має напрям розкрою тканини [4].

Зважаючи на все вище перелічене, та на основі отриманих при дослідженні льономісних тканин даних розроблені рекомендації щодо проектування тканин із заданими властивостями, в яких систематизовані основні результати роботи (табл. 2).

Таблиця 2

Оцінка властивостей льономісних тканин, що проектуються

Найменування показника	Група тканин		
	здатні мало змінатися	здатні до змінання	здатні сильно змінатися
Волокнистий склад	напівлляні з 50% ПЕ і більше	напівлляні з <50% ПЕ, льонобавовняні	лляні
Поверхнева щільність тканини, г/м ²	260–266	190–220	180–200
Вміст вологи за умов, %	65±5%	4–6	7–9
	98±5%	12–15	20–29
Кут відновлення після змінання, град.	> 108	72–106	<70
Змінання, %	<40	40–60	>60
Напруженість переплетення, частка	0,4–0,5 (крупно-візерункові)	0,7 (дрібно-візерункові)	1,0 (полотняне)
Коефіцієнт рухливості ниток в переплетенні	21,2–30,8 (крупновізерункове)	59,3 (дрібновізерункове)	78,0 (полотняне)
Товщина, мм	0,56–0,60	0,50	0,42
Художньо-колеристичне оформлення тканин	пістрявоткані	гладкофарбовані з друкарським малюнком	гладкофарбовані
Напрямок розкрою тканини, град.	45° (діагональне)	30° і 60°	00° і 90° (основа і уток)

Наприклад, для проектування льономісних тканин з малими значеннями змінання (<40%) рекомендується значне вкладення синтетичних волокон (50% і більше).

Здатні до змінання льономісні тканини можуть бути переведені в розряд малозмінальних за рахунок оптимального вибору виду переплетення (наприклад, жакардового), художньо-колористичного оформлення тканини (наприклад, пістрявотканого).

Зниженню змінання сприяють збільшення товщини, поверхневої щільності тканини. Дані анізотропії змінання льономісних тканин також дозволяють проектувати тканини із спрямованістю рисунка в пріоритетному напрямі розкрою, що може бути цінним для подальшого використання тканини.

Ляні і льономісні тканини мають високу сорбційну і дифузійну здатність. З поверхні ляної тканини вода випаровується майже так само, як з відкритої водної поверхні, тоді як з поверхні бавовняних, віскозних і особливо тканин з синтетичних волокон випаровування води незначне. Використання тканин, які добре всмоктують вологу, попереджає цілий ряд захворювань, особливо у малолітніх дітей, а також у жителів міст, в яких імунітет організму понижений. Перепади температур і вологий клімат, а також стреси, до яких схильна сучасна людина, сприяють розвитку інфекційних захворювань. Екологічна нестабільність викликає також ряд алергічних захворювань. Застосування льону в лікарській практиці в минулому столітті користувалося великою популярністю, тому важливо і у наш час використовувати цілющі властивості льону в одязі.

Результати дослідження

Як показали проведені дослідження та аналіз літературних джерел, підвищення вологості ляної тканини значно змінює її властивості, головним чином покращуючи їх.

Усі вище перелічені причини дозволили розробити ряд рекомендацій по використанню тканин цього асортименту. Наприклад, при проектуванні ляного одягу з меншим змінанням, складки для виробів в умовах "вологої" експлуатації краще не проектувати. Ляні матеріали є високоусадковими, тому попереднє замочування (чи інший вид мокрої обробки) таких тканин в умовах "вологої" експлуатації обов'язкове.

Значне збільшення маси льономісних тканин при зволоженні є позитивним чинником при проектуванні одягу костюмного асортименту, оскільки сприяє підвищенню її формостійкості. Таким чином, підвищення вологості льономісних тканин змінює їх властивості: льняні волокна, стають менш гладкими і слизькими, внаслідок чого збільшується фрикційна взаємодія між волокнами, це призводить до зниження обсіпання і розсування ниток у швах. Усе це дозволяє рекомендувати ляні матеріали і матеріали з меншим вмістом синтетичних волокон для проектування поясного і плечового одягу.

Висновок

При проектуванні льономісних тканин з малими значеннями змінання (<40%), рекомендується значне вкладення синтетичних волокон (50% і більше).

Література

1. Калмыкова Е.А. Материаловедение швейного производства : [учеб. пособие] / Е.А. Калмыкова, О.В. Лобацкая. – Мн. : Изд-во «Вышэйшая школа», 2001. – 412 с.
2. Савостицкий Н.А. Материаловедение швейного производства : [учеб. пособие для сред. проф. образования] / Н.А. Савостицкий, Э.К. Амирова. – [2-е изд.]. – М. : Издательский центр «Академия»; Мастерство, 2002. – 240 с.
3. Подготовительно-раскройное производство швейных предприятий : [учебн. пособие] / В.Т. Голубкова, Р.Н. Филимоноква, М.А. Шайдоров и др. ; под. общ. ред. В.Т. Голубковой, Р.Н. Филимоноквой. – Мн. : Выш. шк., 2002. – 206 с.
4. Крючкова Г.А. Технология и материалы швейного производства : [учебник для нач. проф. образования] / Крючкова Галина Алексеевна. – М. : Издательский центр «Академия», 2003. – 384 с.
5. Патлашенко О.А. Материалознаство швейного виробництва : [навчальний посібник] / Патлашенко О.А. – К. : Арістей, 2003. – 288 с.
6. Бузов Б.А. Практикум по материаловедению швейного производства : [учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений] / Бузов Б.А., Альменкова Н.Д., Петропавловский Д.Г. – М. : Академия. – 2003. – 416 с.
7. Материалы текстильные. Полотна. Методы определения жесткости при изгибе : ГОСТ 10550–93. – М. : Міждержавна Рада з стандартизації, метрології та сертифікації, 1993. – 10 с.

Рецензент: д.т.н. Чурсіна Л.А.
Надійшла 3.2.2012 р.

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ФОРМИ ПОВЕРХНІ ПРЕДМЕТУ ПРАЦІ ШВЕЙНОГО ВИРОБУ НА ОСНОВІ ПАРАМЕТРІВ КОНТУРІВ З'ЄДНУВАНИХ ДЕТАЛЕЙ

Розроблена методика визначення форми поверхні предмету праці на основі параметрів контурів з'єднаних деталей. Досліджені залежності кута розходження між нитками основи контурів з'єднаних деталей від кута нахилу з'єднуваного контуру однієї деталі до ниток основи та від ступеню кривизни з'єднуваного контуру. Розроблено спосіб визначення об'ємності поверхні предмету праці, за яким з'єднані контури деталей розподілені на групи за об'ємністю утворюваної ними форми. Введені числові значення коефіцієнтів розходження і об'ємності, за якими можливо описати і оцінити форму поверхні предмету праці.

The method of determination of form of surface of the article of labour on the basis of parameters of contours of the connected details is developed. Dependences of corner of divergence between the filaments of basis of contours of the connected details are investigational on the angle of slope connected the contour of one detail to the filaments of basis and from the degree of curvature connected a contour. The method of determination of fullness of surface of the article of labour, after which the connected contours of details are up-diffused on groups after fullness of the form formed by them, is developed. The numerical values of coefficients of divergence and fullness, after which it is possible to describe and estimate the form of surface of the article of labour, are entered

Ключові слова: методика, форма поверхні, предмет праці.

Постановка проблеми у загальному вигляді

Форми предметів праці, які отримують в процесі виготовлення одягу складні за об'ємністю, зовнішнім окресленням. Особливу складність представляє опис форми поверхні предмету праці, оскільки він потребує громіздких математичних розрахунків.

Аналіз останніх досліджень чи публікацій

Під формою готового швейного виробу розуміють [1] об'ємно-просторову поверхню, що утворюється на тілі людини (у процесі експлуатації) або на манекені. У роботі [2] розглянуті методи формотворення деталей одягу з виконанням посадки з урахуванням формівних властивостей матеріалів та умов їх деформування при обробленні для завдань побудови розгортки конструкції виробу і технології виготовлення. Розроблені способи визначення параметрів деталей конструкції [3], які пропонується використати для формалізації завдань проектування технологічних процесів і автоматизованого визначення трудомісткості операцій. Однак простого і оперативного способу визначення форми поверхні предмету праці швейного виробу досі не розроблено.

Постановка завдання

Оперативний спосіб визначення форми поверхні предмету праці швейного виробу дозволить описати новостворені форми, долучити отримані дані до інших властивостей і за їх сукупністю дати повну характеристику предмету праці конкретного стану. До того ж числові значення об'ємності поверхні ділянок виробу, які змінюються в процесі оброблення, уможливають відокремлення одного стану предмету праці від іншого.

Виклад основного матеріалу дослідження

Швейний виріб виготовляють з гнучкого, змішано-неоднорідного за сировинним складом і структурою текстильного полотна, що викликає непередбачувану його поведінку в технологічному процесі оброблення. Виникає потреба у забезпеченні стійкості зрізів і поверхонь деталей з текстильних полотен щодо формозбереження.

Форма – це зовнішній вираз, окреслення; якість поверхні – відмінні істотні ознаки, властивості зовнішньої сторони предмету; властивості – якість і ознаки, які складають відмінну особливість.

Процес формоутворення з плоских деталей здійснюють методами механічного, фізико-механічного та фізико-хімічного впливу на матеріал (деформацією грубої і тонкої структури) способами з'єднання і формування предметів праці [2]. Для цього використовують швейні з'єднання і волого-теплове оброблення. Ціллю створення об'ємно-просторової форми одягу є надання сталої форми ділянкам одягу за рахунок пружних і еластичних характеристик матеріалу та швів складної конфігурації.

З'єднання і формування предметів праці здійснюють за допомогою технологічних операцій в процесі пошиття і оздоблення виробу. Найбільшу кількість технологічних операцій, пов'язаних з формоутворенням поверхонь предметів праці, виконують способом з'єднання зрізів деталей.

Для опису форми поверхні предмету праці пропонується використати простий за виконанням і розрахунками спосіб, базований на даних про параметри з'єднаних контурів деталей.

Опис методики визначення форми поверхні предмету праці наведено нижче.

Об'єкт дослідження – деталі конструкції піджака чоловічого повсякденного призначення напівприлеглої силуету, для чоловіків середньої вікової групи, типової фігури з розмірними ознаками 176–100–88.

Засоби дослідження. Програмне середовище AutoCAD і табличний процесор Microsoft Excel.

Порядок виконання основної частини методики. Виконання підготовчих робіт.

Для досліджень форм предметів праці виробу обрані контури, з'єднання яких створює типові швейні з'єднання і нові поверхні. Типовими є з'єднання контурів рельєфу, бічних контурів бочка і спинки, середнього контуру спинки, ліктьових і передніх контурів рукавів, які утворюють поверхні предметів праці.

Для дослідження об'ємності поверхні використані параметри контурів деталей конструкції: кут розташування контуру до ниток основи; кривизна контуру; кут розходження між нитками основи в точках суміщення з'єднуваних деталей. Точками суміщення називаємо такі, з яких починають з'єднання і в яких виконують перехоплення предметів праці під час з'єднання.

Значення кутів розташування зрізів до ниток основи в деталях та ступінь кривизни їх контурів використано з попередніх досліджень [3].

Кут розходження між нитками основи з'єднуваних зрізів деталей в точках з'єднання в процесі пошиття вимірюють за наступним порядком. Вимірювання виконують у програмному середовищі AutoCAD з кожною парою з'єднаних контурів у виділених позначках точках. Позначками точок з'єднання виступають контрольні знаки (надсічки), точки перетину зрізу з лініями базисної сітки конструкції, або точки, відносно яких досліджені контури деталей конструкції [3].

З'єднані деталі суміщають за точками і контурами. За допомогою інструменту «Зеркало» на панелі «Редактирование», дзеркально відображають одну з деталей. Переміщують одну з деталей у виділену точку суміщення, так щоб ідентичні точки співпали. За допомогою команди «Копировать» в точки суміщення контурів деталей копіюють та переносять лінії, які відповідають напрямку ниток основи в них. Для більшої точності слід зробити активною команду «Объектная привязка» на «Строке состояния». За допомогою команди «Угловой» меню «Размеры» вимірюють кут між нитками основи в точках суміщення з'єднаних деталей. Кут між нитками основи в точках суміщення з'єднаних деталей називаємо кутом розходження ниток основи.

На рис. 1. показано послідовне вимірювання кута розходження між нитками основи у чотирьох точках суміщення контурів горішньої та нижньої частин рукава за порядком їх з'єднання. Перша пара точок – вершина контурів деталей рукава (рис. 1,а), друга пара – на рівні підпахвової лінії (рис. 1,б), третя – на рівні лінії ліктя (рис. 1,в); четверта – точка підгину низу рукава (рис. 1,г).

Регресійний аналіз залежностей між параметрами предметів праці

Для отриманих значень кута розходження між нитками основи з'єднаних контурів деталей в точках суміщення виконують регресійний аналіз залежностей: кута розходження між нитками основи з'єднаних контурів двох деталей від кута нахилу з'єднуваного контуру однієї деталі до ниток основи та від ступеню кривизни одного із з'єднаних контурів.

Для цього у табличному процесорі Microsoft Excel будують графіки залежностей у вигляді точкової діаграми. Побудову діаграми виконують набором команд «График→Точечная» у меню «Диаграмма». За допомогою пакету «Аналіз даних» розраховують коефіцієнт кореляції r та аналізують дані за наявністю лінійної залежності між значеннями x та y . Якщо між даними відсутня лінійна залежність, допускають можливе існування іншої залежності, яку можливо встановити, будуючи оптимальну лінію тренду.

Для кожної отриманої залежності у вигляді графіка будують оптимальну лінію тренду за командою «Добавить линию тренда» в меню «Диаграмма». Лінія тренду з достатнім рівнем адекватності відображає експериментальні дані за умовою якщо значення коефіцієнта змішаної кореляції R_1 наближається до 1.

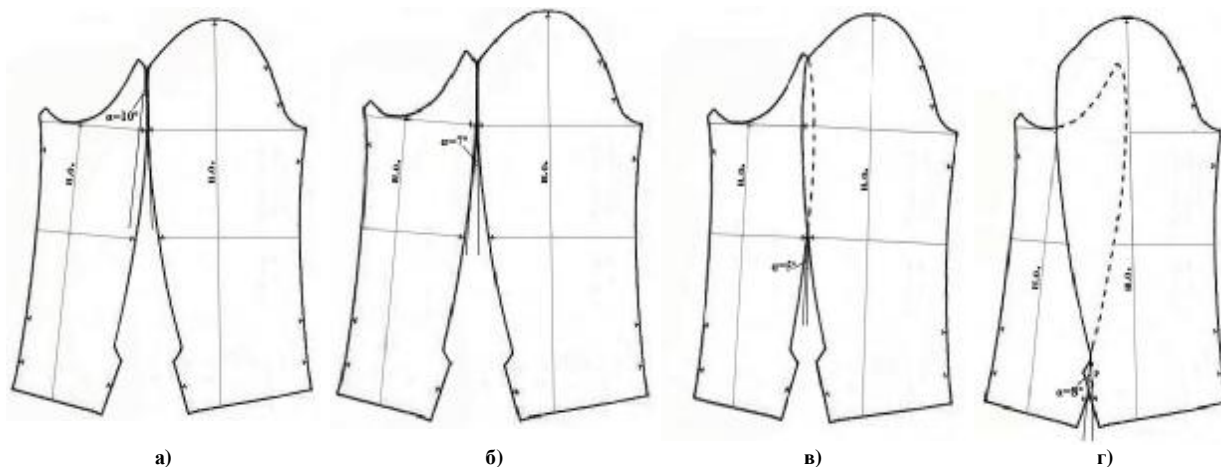


Рис. 1. Схема і послідовність вимірювання кута розходження між нитками основи з'єднаних контурів деталей в точках суміщення за ділянками

Розподіл форм поверхонь предметів праці на групи.

Отримані залежності між параметрами з'єднаних контурів деталей порівнюють для розподілу форм поверхонь на групи. Для цього способом накладання оптимальних ліній тренду кожної залежності будують узагальнені графіки поетапно. Спочатку проводять пошук спільних для всіх графіків точок x і на

основі рівняння регресії розраховують значення y в кожній обраній точці x . Далі розраховують середні значення y за всіма лініями тренду в кожній точці x та проводять лінію середніх значень.

З метою виділення груп з'єднаних контурів по кожному узагальненому графіку проводять дисперсійний аналіз. Оскільки дисперсія, за визначенням, є показником відхилення випадкових величин від деякого середнього значення, запропоновано розподілити групи з'єднаних контурів за подібністю значення відношення D/D_a (де D – дисперсія по кожному рівнянню для даного випадку, D_a – співпадає із середнім значенням дисперсій в обраних точках x).

Для знаходження дисперсії D розраховують $D = y - y_c$ окремо в кожній точці x для значень y , які належать одному рівнянню графіка. Для знаходження D_a розраховують $D = y - y_c$ окремо в кожній точці x для значень y , що належать кожному з рівнянь. Потім за допомогою команд «Функция→Статистические→ДИСП» у меню «Вставка» розраховують дисперсію від отриманих значень D . Таким чином, для кожної з груп експерименту, кількість отриманих дисперсій буде дорівнювати кількості точок x , обраних для побудови графіка. Знаходять середнє значення всіх отриманих дисперсій – дисперсію D_a . Розраховують відношення D/D_a та формують групи контурів за подібністю числових значень даного відношення.

Розподіл форм поверхонь предметів праці на групи за ступенем об'ємності.

Для визначення належності поверхонь предметів праці за ступенем об'ємності до певних груп запропоновано ввести коефіцієнти відношень між параметрами з'єднаних контурів.

Параметри контурів, які використовують для розрахунку коефіцієнтів, вказують на ступінь викривлення поверхні. Найбільшу ступінь викривлення поверхні створюють деталі з максимальними значеннями кута нахилу контурів до систем ниток та ступеня їх кривизни. Чим більші значення кута нахилу контуру по відношенню до систем ниток й наближається до 45° і ступеня кривизни контуру, – тим більший ступінь об'ємності поверхні він утворює в результаті з'єднання з іншим контуром.

Параметром, який характеризує неоднорідність контурів з'єднаних деталей є кут розходження між їхніми нитками основи (в конкретній точці з'єднання). Чим більше числове значення кута розходження між нитками основи з'єднаних контурів і чим більший кут нахилу (хоча б одного) контуру до ниток основи і ступінь кривизни контуру в певній точці, тим більшу за об'ємністю поверхню вони утворюють.

Один з коефіцієнтів, який названо коефіцієнт розходження (K_p) – знаходять як відношення критичного числового значення ступеню кривизни одного із з'єднаних контурів до критичного числового значення кута розходження між нитками основи двох з'єднаних контурів:

$$K_p = \frac{f}{a},$$

де f – критичне значення ступеня кривизни з'єднуваного контуру,

a – критичне значення кута розходження між нитками основи з'єднаних контурів. В якості критичного числового значення використане **максимальне значення параметру** одного із з'єднаних контурів.

Другий коефіцієнт, який названо коефіцієнтом об'ємності утвореної поверхні K_o , розрахований як добуток критичного числового значення кута нахилу одного зі з'єднаних контурів до ниток основи на критичне числове значення кута розходження між нитками основи двох контурів:

$$K_o = a \cdot b,$$

де b – критичне значення кута нахилу з'єднуваного контуру до ниток основи.

Описаний спосіб визначення об'ємності поверхні ПП дозволяє розподілити з'єднані контури деталей конструкції на групи за об'ємністю утвореної ними форми поверхні, а за числовими значеннями коефіцієнтів розходження і об'ємності, як властивостей поверхні ПП – описати і оцінити стан ПП.

На основі розробленої методики досліджені форми поверхонь предметів праці.

Для визначення форми поверхні предметів праці використані значення параметрів криволінійних контурів деталей конструкції виробу [3] і кутів розходження між нитками основи з'єднаних контурів.

Досліджені дві залежності: кута розходження між нитками основи контурів з'єднаних деталей від кута нахилу з'єднуваного контуру однієї деталі до ниток основи та від ступеню кривизни одного із з'єднаних контурів деталі (за критичним значенням параметру).

Побудовані графіки залежностей у табличному процесорі Microsoft Excel з використанням точкової діаграми. Розрахунок коефіцієнту кореляції r вказав на присутність у 90% результатів кореляційного зв'язку. Для кожної залежності побудовано оптимальну лінію тренду і отримане значення рівняння регресії, які з достатнім рівнем адекватності відображають експериментальні дані, про що свідчать значення коефіцієнта змішаної кореляції ($R^2=0,71\dots 1$). Половина залежностей апроксимовані прямою лінією тренду, інші – поліноміальною. Для наочного відображення отриманих залежностей між параметрами досліджуваних контурів і проведення порівняльної оцінки, способом накладання оптимальних ліній тренду залежностей між параметрами досліджуваних контурів побудовано узагальнені графіки, окремо для двох видів залежностей (рис. 2 та рис. 3).



Рис. 2. Узагальнений графік оптимальних ліній тренду залежностей кута розходження між нитками основи контурів з'єднаних деталей від кута їх нахилу до ниток основи

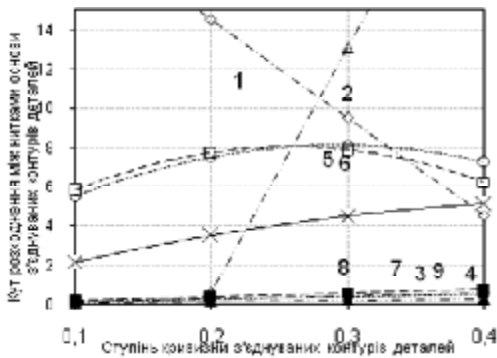


Рис. 3. Узагальнений графік оптимальних ліній тренду залежностей кута розходження між нитками основи з'єднаних контурів від ступеня їх кривизни кожній точці x і побудовані середні лінії від всіх ліній тренду для узагальнених графіків двох залежностей.

Для побудови двох видів узагальнених графіків, окремо для кожного з них, проведено пошук спільних для всіх ліній тренду точок x . Спільними точками являються надсічки та інші мітки, за якими досліджені параметри контурів деталей конструкції: кут нахилу контуру до ниток основи та ступінь кривизни контуру. Спільними точками x для залежності кута розходження між нитками основи контурів з'єднаних деталей від кута нахилу одного з контурів до ниток основи є точки значень кутів 2, 4, 6 і 8; для залежності кута розходження між нитками основи контурів з'єднаних деталей від ступеню кривизни контуру – точки значень кривизни 0,1; 0,2; 0,3; 0,4. За кожним отриманим рівнянням регресії розраховані значення u в кожній обраній точці x та середні значення u в

З метою виділення груп з'єднаних контурів за кожним узагальненим графіком залежностей проведено дисперсійний аналіз. Розраховані значення дисперсій D за дев'ятьма графіками кожної залежності та D_a як середнє значення дисперсій у 4-х точках x для кожної вертикалі u . Значення відношення D/D_a дозволило розподілити з'єднані контури за подібністю числових значень на дві групи. Подібність отриманих величин відношення D/D_a співпала за двома узагальненими графіками для одних і тих самих груп контурів, що підтверджує об'єктивність їх виділення у дві групи.

Таблиця 1

Визначення груп поверхонь предметів праці за результатами дисперсійного аналізу

Група поверхонь	Назви контурів, які створюють поверхню певної об'ємності під час з'єднання	Відношення дисперсій D/D_a за залежностями кута розходження між нитками основи з'єднаних контурів деталей	
		від кута їх нахилу до н. о	від ступеню їх кривизни
I група об'ємні	Ліктьовий нижньої частини рукава	9,84	218,78
	Ліктьовий горішньої частини рукава	4,37	35,01
	Контур відрізного бочка пілочки	2,12	7066,76
	Контур пришивання бочка до пілочки	3,64	8051,74
II група наближені до об'ємних	Передній нижньої частини рукава	2566,90	1744127,28
	Передній горішньої частини рукава	2566,90	1744127,28
	Бічний бочка	306,19	274726,28
	Бічний спинки	306,19	328426,51
	Середній спинки	124,45	142464,90

Результати розрахунків відношення дисперсій D/D_a , за якими виділені дві групи контурів, наведені у табл. 1. За результатами дисперсійного аналізу двох залежностей серед досліджених контурів до першої групи віднесені контур пришивання бочка до пілочки, ліктьові контури горішньої та нижньої частин рукава, – з'єднання яких створює об'ємні поверхні предметів праці; до другої групи – бічні контури стану, передні частин рукава, середній спинки, – з'єднання яких створює наближені до об'ємних поверхні предметів праці.

Розрізнені дві групи поверхонь, які об'єднують контури деталей однойменних швейних з'єднань і утворюють поверхні тієї ж назви, скажімо, бічні контури бочка і спинки утворюють бічну поверхню виробу. Розраховані значення коефіцієнтів K_p та K_o для криволінійних контурів типової моделі піджака чоловічого

(табл. 2), за якими доведена можливість розрізнення новоутворених форм поверхонь предметів праці на основі оцінки математичної залежності між параметрами контурів, що їх створюють. Коефіцієнт K_p із зростанням його значення, вказує на зменшення кута розходження між нитками основи з'єднаних контурів деталей в точках з'єднання. Коефіцієнт K_o вказує на зростання об'ємності поверхні зі зростанням значень параметрів контурів. Чим більше значення K_o , тим більша об'ємність поверхні предмету праці. Тому для оцінки станів предметів праці за властивістю їх форми доцільно застосувати значення коефіцієнта об'ємності поверхні.

Таблиця 2

Коефіцієнти кута розходження між нитками основи криволінійних контурів з'єднаних деталей піджака чоловічого та об'ємності створеної ними поверхні

Назва деталі	Назва контуру деталі	Коефіцієнт розходження K_p	Коефіцієнт об'ємності поверхні K_o
Пілочка	Пройма пілочки	0,06	357,00
	Відрізного бочка пілочки	0,03	48,00
	Бортовий пілочки	3,12	14,85
Спинка	Горловини спинки	2,32	10,40
	Середній спинки	1,07	2,00
	Бічний спинки	0,88	2,00
	Пройми спинки	0,08	95,00
Бочок	Пройми бочка	0,09	360,00
	Бічний бочка	0,83	2,00
	Пришивання бочка до пілочки	0,04	62,40
Підборт	Пришивання підборта до пілочки	3,12	14,85
Горішня частина рукава	Передній горішньої частини рукава	0,93	3,00
	Ліктьовий горішньої частини рукава	0,05	120,00
	Окату горішньої частини рукава	0,10	249,60
Нижня частина рукава	Передній нижньої частини рукава	0,93	3,00
	Ліктьовий нижньої частини рукава	0,06	90,00
	Окату нижньої частини рукава	0,10	159,50
Горішній комір	Відльоту коміра	3,50	3,85
	Стояка коміра	1,59	9,60
Стояк коміра	Нижній стояка, що вшивається в горловину	1,99	2,00
	Верхній стояка, що з'єднується з відльотом коміра	1,95	6,65

Встановлено, що чим більше викривлені з'єднані контури (високий ступінь кривизни), тим більший кут розходження між нитками основи з'єднаних контурів деталей в точках з'єднання і тим більша ступінь об'ємності створеної ними поверхні предмету праці.

Висновки

1. Розроблена методика визначення форми поверхні предмету праці на основі параметрів контурів з'єднаних деталей, за якою можна дослідити і описати новостворені форми, долучити отримані дані до інших властивостей і за їх сукупністю дати повну характеристику предмету праці швейного виробу.
2. Встановлено, що чим більше числове значення кута розходження між нитками основи з'єднаних контурів і чим більший кут нахилу (хоча б одного) контуру до ниток основи і ступінь кривизни контуру в певній точці, тим більшу за об'ємністю поверхню вони утворюють.
3. Визначені параметри форми предметів праці піджака чоловічого, за числовими значеннями яких можливо описати створену форму.
4. Методика визначення форми поверхні предмету праці деталізована за стандартизованим порядком опису і може бути використана для дослідження об'єктів інших технологічних процесів.

Література

1. Конструирование одежды с элементами САПР : учеб. для вузов / [Е.Б. Коблякова, Г.С. Ивлева, В.Е. Романов и др.]; под ред. Е.Б. Кобляковой. – [4-е изд., перераб. и доп.]. – М. : Легпромбытиздат, 1988. – 464 с.
2. Технологічні особливості формотворення в дизайні одягу / О.В. Кардаш, В.П. Гордієнко, О.І. Водзінська, Л.П. Старинчук // Вісник КНУТД. – 2008. – № 3. – С. 106–109.
3. Макарова О.В. Дослідження параметрів деталей конструкції одягу та їх систематизація / О.В. Макарова, В.С. Горобчишина // Вісник ХНУ. – 2009. – № 1. – С. 187–192.

Рецензент: д.т.н. Либа В.П.
Надійшла 12.2.2012 р.

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ВІТЧИЗНЯНОГО РИНКУ ІНТЕР'ЄРНОГО ТЕКСТИЛЮ

Обґрунтовано методологічні підходи до формування та розвитку вітчизняного ринку інтер'єрного текстилю і його окремих сегментів. Основну увагу присвячено розгляду концептуальних підходів до формування та розвитку означеного ринку, аналізу та оцінки його кон'юнктури, а також посилення ролі держави в управлінні та регулюванні ринком інтер'єрного текстилю.

Methodological approaches to generating and developing the domestic market for interior textile and its separate segments have been substantiated. The main attention has been paid to the examination of conceptual approaches to generating and developing the mentioned market, analyses and assessments of the conjuncture thereof and the increasing role of the State in managing and regulating the market for interior textile.

Ключові слова: інтер'єрний текстиль, формування і управління ринком, підвищення результативності ринку інтер'єрного текстилю.

Актуальність проблеми та її зв'язок з важливими науково-практичними завданнями. У зв'язку з ростом житлового та адміністративного будівництва в нашій країні, як і в багатьох економічно-розвинутих країнах світу, суттєво зросла потреба в текстильних матеріалах і виробих інтер'єрного призначення – у текстильних покривах для підлоги і стін, текстильних матеріалах для оббивки меблів, текстильних матеріалах і виробих для оздоблення вікон і дверей, у білизняних текстильних матеріалах і виробих постільного і столового призначення, а також у ковдрах, подушках, матрацах та інших виробих домашнього вжитку. Це, в свою чергу, сприяло створенню в окремих країнах спеціалізованих товарних ринків інтер'єрного текстилю. Такий ринок в останні роки формується і в нашій країні [1–4].

Аналіз останніх наукових досліджень даної проблеми і визначення питань, що потребують вирішення. Як свідчить вітчизняна і зарубіжна практика, на ринку інтер'єрного текстилю чітко сформувались три окремі сегменти:

- ринок килимів і килимових виробів для покриття підлоги і стін, а також текстильних матеріалів для покриття і оббивки меблів;
- ринок матеріалів і виробів для оздоблення вікон і дверей;
- ринок текстильних матеріалів і виробів для постільної і столової білизни, включаючи ковдри, подушки матраци.

Структура групового, видового та внутрішньовидового асортименту текстильних матеріалів і виробів на означених сегментах ринків суттєво відрізняється не тільки за способом виробництва (тканого, трикотажного, нетканого, килимового, текстильно-галантерейного), волокнистим складом, особливостями будови та оздоблення, а також термінами експлуатації, відношенням до моди, рівнем екологічної безпеки, номенклатурою показників якості та конкурентоспроможності [5–7].

Мета роботи. Вивчення особливостей формування та розвитку вітчизняного ринку інтер'єрного текстилю та його окремих сегментів, а також пошук шляхів підвищення результативності їх роботи.

Викладення основного матеріалу дослідження з науковим авторським обґрунтуванням отриманих результатів. Успішне функціонування і подальший розвиток вітчизняного ринку інтер'єрного текстилю і його окремих сегментів вимагає передусім відповідного їх інформаційного забезпечення. Це стосується невідкладного вирішення таких питань:

- вивчення та узагальнення реального попиту на конкретні види виробів інтер'єрного призначення, а також визначення типології їх споживачів;
- вивчення сировинних, технологічних, асортиментних, фінансових й експортних можливостей підприємств вітчизняної текстильної та легкої промисловості, здатних забезпечити потреби вітчизняного ринку в товарах інтер'єрного призначення;
- вивчення конкурентних переваг і недоліків імпортованих товарів інтер'єрного призначення, які поступають на вітчизняний ринок (особливо після вступу України до СОТ);
- вивчення та узагальнення зарубіжного досвіду виробництва та реалізації товарів інтер'єрного призначення.

Разом з тим, отримання та використання названих видів інформації для потреб вітчизняного ринку інтер'єрного текстилю пов'язане з певними труднощами, оскільки така інформація поки відсутня в офіційній державній та галузевій статистичній звітності, а фрагментарні дані про неї містяться тільки в Інтернеті та окремих періодичних та монографічних виданнях. Не вирішують проблеми інформаційного забезпечення ринку інтер'єрного текстилю і ті види інформації, які збираються відповідними маркетинговими службами підприємств, які виготовляють вироби інтер'єрного призначення та відповідними науковими установами окремих міністерств і відомств.

Негативний вплив на розвиток вітчизняного ринку інтер'єрного текстилю має і відсутність достовірної інформації про рівень якості та екологічної безпеки, надійності в експлуатації та гігієнічності зарубіжних товарів інтер'єрного призначення, які заповнили наш ринок після вступу України

до СОТ.

Все це свідчить про необхідність розроблення теоретико-методологічних основ формування та аналізу результативності роботи вітчизняного ринку інтер'єрного текстилю та його окремих сегментів. Під час аналізу ситуації на вітчизняному ринку інтер'єрного текстилю першочергово увагу необхідно надавати розгляду таких блоків питань:

- розгляд концептуальних підходів до формування та розвитку вітчизняного ринку інтер'єрного текстилю;
- аналіз факторів формування та оцінки кон'юнктури ринку інтер'єрного текстилю;
- аналіз структури асортименту, властивостей, рівня якості та конкурентоспроможності товарів інтер'єрного текстилю на вітчизняному ринку;
- розкриття ролі держави в управлінні та регулюванні розвитком вітчизняного ринку інтер'єрного текстилю та його окремих сегментів.

Зупинимось більш детально на сучасному товарознавчому і маркетинговому трактуванні поставлених блоків питань, акцентуючи основну увагу на пошук шляхів їх ефективного вирішення.

1. Концептуальні підходи до формування та розвитку вітчизняного ринку інтер'єрного текстилю стосуються перш за все обґрунтованого вибору сукупності найбільш важливих елементів державного регулювання названого ринку. Вони по суті є алгоритмом вирішення завдань цього ринку і можуть розглядатись як своєрідна модель його формування та розвитку. Ця модель базується на органічному поєднанні науки, технології, економіки та підприємництва під час вирішення конкретних завдань на ринку інтер'єрного текстилю.

Як свідчить вітчизняна та зарубіжна практика розвитку спеціалізованих товарних ринків (до яких і відноситься ринок інтер'єрного текстилю), для вирішення широкого спектру завдань з державного регулювання розвитком цих ринків найбільш перспективною виявилась концепція комплексного розвитку цих ринків. Це особливо важливо для формування багатогалузевого вітчизняного ринку інтер'єрного текстилю, у формуванні асортиментної структури якого приймають участь підприємства різних галузей текстильної і легкої промисловості.

Розглядаючи концептуальні підходи до формування та розвитку вітчизняного ринку інтер'єрного текстилю, основну увагу, на нашу думку необхідно надати вирішенню таких завдань [8–10]:

- формування не масового, а індивідуального попиту на основні види текстильних матеріалів і виробів інтер'єрного призначення, яке сьогодні домінує на товарних ринках економічно розвинутих країн світу;
- всебічного вивчення ролі конкуренції на ринку інтер'єрного текстилю з метою виявлення оптимальних за рівнем якості, гігієнічності, екологічної безпечності та конкурентоспроможності варіантів матеріалів і виробів різного інтер'єрного призначення;
- більш детального вивчення залежності між тривалістю окремих етапів життєвого циклу текстильних товарів інтер'єрного призначення і результативністю їх реалізації на сучасному ринку;
- вивчення можливостей вітчизняної текстильної та легкої промисловості, збільшення обсягів виробництва та розширення асортименту екологічнобезпечних текстильних матеріалів і виробів інтер'єрного призначення, що буде сприяти підвищенню їх конкурентоспроможності на вітчизняному та зарубіжних ринках;
- створення ефективного механізму реалізації конкурентних переваг основних видів текстильних матеріалів і виробів на ринку інтер'єрного текстилю;
- виявлення та вивчення асортиментних, сировинних і фінансових можливостей реальних і потенційних конкурентів, які випускають аналогічні види текстильних матеріалів і виробів інтер'єрного призначення.

2. Для оцінки специфіки формування і розвитку вітчизняного ринку інтер'єрного текстилю суттєве значення має оцінка його кон'юнктури, тобто його стану на даний період. При цьому ставиться завдання з'ясувати наступні питання [6]:

- виявити на якій стадії знаходиться даний ринок і його окремі сегменти (їх кон'юнктура поліпшується чи погіршується);
- визначити циклічність сприятливих і несприятливих змін кон'юнктури даного ринку і його окремих сегментів;
- розкрити та вивчити роль окремих чинників у зміні кон'юнктури ринку текстильних матеріалів і виробів інтер'єрного призначення;
- підібрати та обґрунтувати вибір методів і показників для аналізу та оцінки кон'юнктури інтер'єрного текстилю.

Важливу роль в аналізі та оцінці кон'юнктури ринку інтер'єрного текстилю відіграють періодичні опитування виробників окремих видів текстильних матеріалів і виробів інтер'єрного призначення, фахівців торгівлі даними товарами, а також безпосередніх споживачів про переваги та недоліки того чи іншого виду товару.

Таким чином, встановлено, що вивчення кон'юнктури ринку інтер'єрного текстилю охоплює широкий діапазон різноманітних проблем, виробничого, комерційного, технічного та економічного характеру та сприяє виявленню основних закономірностей розвитку означеного ринку. Кон'юнктура цього

ринку, як і інших товарних ринків, залежить від багатьох чинників, основними з яких необхідно вважати: попит і пропозицію конкретних видів товарів інтер'єрного призначення, рівень цін, структуру видового і внутрішньовидового асортименту, рівень товарних запасів та інші [10].

3. Після вступу України до СОТ, що відкрило канали для заповнення вітчизняного ринку інтер'єрного текстилю різноманітними видами виробів зарубіжного виробництва, важливе значення для розвитку вітчизняного ринку має вивчення та узагальнення зарубіжного досвіду виробництва та реалізації товарів інтер'єрного призначення. Як свідчить практика, різні види імпортного інтер'єрного текстилю, які потрапляють на вітчизняний ринок, як правило, відрізняються від вітчизняних аналогів структурою видового і внутрішньовидового асортименту, рівнем цін, рівнем якості та екологічної безпечності та іншими ознаками. При цьому, хоча в багатьох випадках ціни на імпортні матеріали і вироби інтер'єрного призначення дещо нижчі порівняно з вітчизняними аналогами, але за рівнем якості, гігієнічності та екологічної безпечності вони ще помітно поступаються вітчизняним товарам. Тому насичення вітчизняного ринку імпортними текстильними матеріалами і виробами інтер'єрного призначення не завжди є виправданим і їх доступ на вітчизняний ринок повинен регулюватися державою, враховуючи інтереси вітчизняних виробників означених товарів.

4. Домінуюча роль у формуванні та розвитку ринку інтер'єрного текстилю, як і інших вітчизняних товарних ринків, повинна належати державі, яка володіє широким арсеналом методів управління цими ринками і забезпечення відповідного рівня їх розвитку. Необхідно відзначити, що в процесі управління розвитком вітчизняного ринку інтер'єрного текстилю державою ще не в повній мірі використовуються такі важелі, як оподаткування виробників і продавців інтер'єрного текстилю, надання їм відповідних субсидій за необхідності, стимулювання виробництва на вітчизняних підприємствах тих товарів, попит на які не задовольняється, регулювання розмірів мита на ті імпортні текстильні матеріали і вироби інтер'єрного призначення, аналоги яких виробляються в Україні та ін.

Успішному розвитку вітчизняного ринку інтер'єрного текстилю буде сприяти і подальше вдосконалення системи національної стандартизації, пов'язаної з вдосконаленням термінології, обґрунтуванням нормативів, критеріїв і показників оцінювання якості та екологічної безпечності цих товарів. Невідкладного вирішення для потреб названого ринку вимагає впровадження в країні державної статистичної звітності про обсяги виробництва та реалізації основних груп і видів інтер'єрного текстилю різного цільового призначення, способів виробництва та волокнистого складу [11–15].

Висновки та перспективи подальших наукових розробок в даному напрямі.

Визначені основні чинники формування та розвитку вітчизняного ринку інтер'єрного текстилю та його окремих сегментів. Окреслені шляхи подальшого вдосконалення означеного ринку. Основну увагу надано розгляду концептуальних засад розвитку ринку інтер'єрного текстилю та оцінці специфіки його кон'юнктури, Розкрита роль держави в управлінні та регулюванні розвитком названого ринку.

Література

1. Рынок домашнего текстиля: потребитель выбирает лучшее // Текстильная промышленность. – 2004. – № 12. – С. 20–23.
2. Петрова М.П. Модные тенденции в интерьере / М.П. Петрова // Текстильная промышленность. – 2003. – № 4. – С. 86–89.
3. Петрова М.П. Интерьер-2003: Новые идеи / М.П. Петрова // Текстильная промышленность. – 2002. – № 8. – С. 50–52.
4. Фомченкова Л.И. Домашний текстиль на отечественном рынке / Л.И. Фомченкова // Текстильная промышленность. – 2008. – № 3. – С. 46–51.
5. Молодцова Н. Декоративный домашний текстиль / Н. Молодцова // Текстильная промышленность. – 2008. – № 6. – С. 22–24.
6. Галик І.С. Екологічна безпека та біостійкість текстильних матеріалів / Галик І.С., Концевич О.Б., Семак Б.Д. – Львів. : Видавництво ЛКА, 2006. – 232 с.
7. Оптимизация ассортимента и качество текстильных материалов / [Галык И.С., Козьмич Д.И., Семак Б.Д., Шийко И.И.]. – К. : Техника, 1991. – 174 с.
8. Семак Б.Б. Роль товарної інформації і реклами у формуванні ринку еколого-безпечного текстилю / Б.Б. Семак // Вісник Львівської комерційної академії. Серія економічна. Випуск 29. – Львів, 2009. – С. 72–79.
9. Семак Б.Б. Теоретико-методологічні основи формування вітчизняного сировинного ринку екологічно безпечних товарів текстильної промисловості : монографія / Б.Б. Семак ; [за ред. М.А. Коваленка]. – Херсон : Гринь Д.С., 2011. – 232 с.
10. Лысюк В.М. Возпроизводственная функция товарных рынков : монография / В.М. Лысюк. – Одесса : Институт проблем рынка и экономико-экологических исследований НАН Украины, 2011. – 225 с.
11. Пушкар Г.О. Інформаційне забезпечення вітчизняного ринку інтер'єрного текстилю / Г.О. Пушкар, Б.Б. Семак // Науково-технічна інформація. – 2011. – № 3(49). – С. 45–50.
12. Пушкар Г.О. Інтер'єрний текстиль: товарознавчі та екологічні проблеми розвитку вітчизняного ринку / Г.О. Пушкар, Б.Д. Семак // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної Інтернет-конференції «Сучасний ринок товарів та проблеми здорового харчування», 20–21 жовтня 2011р. – Харків, 2011. – С. 49–50.

13. Пушкар Г.О. Роль інформаційного забезпечення у формуванні вітчизняного сегмента ринку екологічнобезпечного інтер'єрного текстилю / Г.О. Пушкар, Б.Б. Семак // Товарознавство та інновації : зб. наук. праць. Вип. 2 / гол. ред. О.О. Шубін. – Донецьк : ДонНУЕТ, 2010. – С. 326–335.

14. Пушкар Г.О. Інтер'єрний текстиль: формування вітчизняного ринку та шляхи оптимізації асортименту [Електронний ресурс] / Г.О. Пушкар, Б.Б. Семак // Ефективна економіка. – 2010. – № 3. – Режим доступу : <http://www.economy.nayka.com.ua>.

15. Пушкар Г.О. Проблеми формування сегменту ринку інтер'єрного текстилю в Україні / Г.О. Пушкар, Б.Б. Семак // Товари і ринки. Міжнародний науково-практичний журнал.–2009. – № 2. – С.43 – 47.

Статтю представляє: д.т.н. Семак Б.Д.
Надійшла 3.2.2012 р.

УДК 745.52

Г.С. ОЛІЙНИК

Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕКОРАТИВНО-МЕБЛЕВИХ ТКАНИН

В статті досліджено властивості декоративно-меблевих тканин і розглянуто технології, що здатні забезпечити необхідні споживчі властивості.

In the article is considered the attributes decorative-furniture materials textiles and considered technologies, what capable to ensure necessary consumable attributes.

Ключові слова: декоративно-меблеві тканини, споживчі властивості.

Постановка проблеми

Український меблевий ринок постійно розширюється та сприяє підвищенню рівня естетичних запитів споживачів. Тому важливим є підвищення конкурентоспроможності вироблених товарів для закріплення позиції виробника на ринку, з цілком отримання максимального прибутку. У конкурентоспроможній політиці приймаються до уваги функціональне призначення, надійність, довговічність, зручність використання, естетика зовнішнього вигляду та інші характеристики товару, що здатні задовольнити сукупні потреби споживача краще, ніж товари-конкуренти. Створення споживчої цінності товару, яка включає всю сукупність властивостей товару є важливішими умовами виживання на ринку.

Актуальним залишається використання декоративно-меблевих тканин, які володіють якісними споживчими властивостями. Потреба в різних за способом виробництва, гігієнічних та естетичних декоративно-меблевих тканинах, суттєвому розширенні та оптимізації асортименту ставить завдання по інформативному забезпеченню споживачів вітчизняного ринку. Зокрема, необхідно дослідити властивості декоративно-меблевих тканин; провести аналіз нових технологій, які б забезпечили якісні споживчі властивості декоративно-меблевим тканинам для подальшого аналізу здійснення процесу розробки системної технології проектування декоративно-меблевих тканин.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В умовах розвитку ринкових відносин із значним збільшенням кількості декоративно-меблевих тканин високі вимоги висуваються до якісних показників. Тому сучасні декоративно-меблеві тканини повинні характеризуватись функціональною доцільністю, естетичною виразністю та ергономічною зручністю.

Проведений аналіз літературних джерел підтвердив, що на даний час спостерігається недостатня кількість досліджень в області декоративно-меблевих тканин [1–5]. Тому, не завжди повною мірою враховують фізико-гігієнічні властивості декоративно-меблевих тканин. Немає достатньої інформації по впровадженню сучасних технологій при виробництві декоративно-меблевих тканин, що здатні забезпечити необхідні властивості в монографічних, періодичних, а тим більше в навчальних виданнях, незважаючи на актуальність і значимість цих питань як для науки, так і для практики.

Виклад основного матеріалу

Сучасні декоративно-меблеві тканини мають володіти відповідними функціональними, ергономічними та естетичними властивостями. Перелічені властивості забезпечують такі функції: захисні, експлуатаційні, гігієнічні, та функції, що відповідають за комфортабельність та за художнє оформлення.

Функціональні властивості декоративно-меблевих тканин забезпечуються захисними та експлуатаційними функціями. Результати проведених досліджень дозволили встановити, що основною функцією декоративно-меблевих тканин має бути захисна. Тобто, декоративно-меблева тканина, перш за все, має забезпечити захист від забруднень та вологи. До основних забруднень відносять пил та бруд, що заноситься в приміщення з одягом та з вулицями. З пилом і брудом в приміщення потрапляють пилові кліщі та патогенні мікроорганізми, які при прибиранні приміщення піднімаються в повітря та осідають на декоративно-меблеві тканини. Забруднення псують зовнішній вигляд меблів, створюючи враження неохайності. Крім того, накопичуючись на поверхні декоративно-меблевих тканин, бруд, а разом з ним патогенні мікроорганізми та пилові кліщі можуть викликати дерматологічні захворювання шкіри і волосся

та спричинити алергічні реакції у споживача. Саме тому, декоративно-меблеві тканини повинні бути чистими, не накопичувати на своїй поверхні бруд і разом з тим легко піддаватись очищенню.

Разом із захисною функцією декоративно-меблеві тканини мають виконувати експлуатаційну функцію, до складу якої входить термін придатності декоративно-меблевих тканин, який, без сумніву, залежить від складу та щільності тканини. Щільність вимірюється в грамах на квадратний метр. Щільність тканини впливає на термін придатності та на зносостійкість тканини, а вона, в свою чергу, залежить від якості вихідної сировини і від конструкції тканини. Щільність є важливим показником, проте не єдиним критерієм міцності та довговічності декоративно-меблевих тканин.

Зносостійкість – це здатність тканини протистояти дії світла та світлопогоди, хімічним реагентам, сухому та вологому чищенню, тертю, розривному навантаженню. Зношування залежить від міцності волокон в тканині. Порушення режиму волого-теплової обробки тканини призводить до зниження зносостійкості тканини. Стійкість до тертя вимірюється кількістю циклів на витирання. В результаті дослідження кожному зразку тканини присвоюється число-коефіцієнт витираємості. Чим вищим є цей коефіцієнт, тим краще, тим довше прослужить тканина. Декоративно-меблеві тканини в залежності від складу сировини та типу мають різну зносостійкість. Проведені дослідження декоративно-меблевих тканин на зносостійкість показали наступні результати: віскозний матеріал «шеніл» витримує 20000–30000 циклів на витирання, а поліестерний матеріал «велюр» витримує більше 50000 циклів на витирання[11]. Вважають, що при кількості циклів на витирання більше 20000 тканина вважається міцною. Не випадково, декоративно-меблеві тканини «шеніл» та «велюр» користуються заслуженою «довірою» у споживачів вже декілька років підряд.

Стійкість до дії хімічних реагентів, стійкість до тертя, а також до світла та до світлопогоди визначає показники надійності декоративно-меблевих тканин. Ці важливі фактори забезпечуються за рахунок того, що декоративно-меблеві тканини обробляють спеціальними хімічними реагентами. На даний час текстильна промисловість застосовує в цілому близько 8000 різних хімічних засобів, призначених для того, щоб тканини не м'ялися, не протиралися, не заліскувалися, добре пралися й не давали усадку після прання [4].

Стійкість до дії хімічних реагентів, а також до сухого і вологого чищення включає можливість вибору спеціальних засобів для чищення. При цьому слід пам'ятати, що деякі декоративно-меблеві тканини можна чистити тільки сухим способом. Тому споживачу варто рекомендувати ті декоративно-меблеві тканини, що можна чистити сухим та вологим способом.

Важливою характеристикою декоративно-меблевих тканин є стійкість кольору до світла та до світлопогоди. Згідно діючих норм, показник стійкості до світла в декоративно-меблевих тканинах має бути вищим за 3,5. Хоча, з часом, декоративно-меблеві тканини, особливо темні, вигоряють при попаданні на них прямого сонячного світла.

Ергономічні властивості декоративно-меблевих тканин забезпечують гігієнічні функції та функції комфортабельності. Гігієнічні функції декоративно-меблевих тканин спрямовані на забезпечення тепло та паро проникності при контакті тканини з навколишнім середовищем. Якщо декоративно-меблеві тканини не володіють такими характеристиками, як тепло та паро проникність, то в процесі експлуатації може так трапитись, що меблі будуть «пріти», будуть «розриватись шви» і швидко буде втрачатись попередня «товарна» форма. Тому споживачу рекомендується вибирати таку тканину, яка «дихає», тобто володіє властивостями тепло та паро проникності при контакті тканини з навколишнім середовищем; тоді меблі будуть довго зберігати свій гарний вигляд. Серед гігієнічних функцій важливе значення має також гігроскопічність тканини. Крім того, декоративно-меблева тканина повинна мати низькі показники електропровідності та високі показники антибактеріальності.

Під час контакту споживача з декоративно-меблевими тканинами важливим є створення таких тканин, які б забезпечували свободу рухів і не заважали відпочинку споживача. Реалізація цих вимог є можливою за рахунок створення декоративно-меблевих тканин з високим рівнем комфортабельності, що забезпечує зручність використання їх як в динаміці, так і в статичі.

Крім вищезазначених функцій, варто звернути увагу на естетичні властивості декоративно-меблевих тканин, які забезпечує функція художнього оформлення. Серед них найважливіше місце займає зовнішній вигляд та якість обробки виробу. Без сумніву, на якість обробки виробу впливає стійкість декоративно-меблевих тканин та їх швів до розривних навантажень. Максимально повне задоволення естетичних потреб споживачів можливе при умові дотримання відповідності декоративно-меблевих тканин сучасному напрямку моди, фірмовому стилю інтер'єру. Високу художню виразність декоративно-меблевих тканин забезпечить підбір фактури, розмір малюнка, вид переплетення і т.д.

Такий зв'язок властивостей декоративно-меблевих тканин, в свою чергу, диктує необхідність постійного вивчення вимог споживачів та оцінювання відповідних показників декоративно-меблевих тканин, з метою забезпечення максимальної відповідності між ними.

Підсумовуючи вищесказане, розроблено аналіз споживчих властивостей декоративно-меблевих тканин (рис. 1).

Якщо мова заходить про декоративно-меблеві тканини, що використовуються у громадських приміщеннях, то тут предметом особливої гордості виробників є матеріали з антибактеріальними властивостями, які максимально задовольняють потреби клінік, лікарень, будинків для людей похилого віку, готельного сектору, а також громадського транспорту: автобусів, кораблів, літаків тощо. Такі властивості

тканини досягаються завдяки включенню у склад тканин срібла, яке запобігає перенесенню бактерій. Воно вводиться у полімерні волокна. Переваги такої технології полягають в тому, що біокаталізатори з волокна не можуть потрапити на шкіру, як це, наприклад, трапляється, коли тканини покривають дезінфікуючими засобами, до того ж антибактеріальна дія таких тканин є постійною [5].

Деякі фірми застосовують для фарбування дубильні розчини, здобуті екстракцією тільки листя і плодів дерев, що роблять декоративно-меблеві тканини екологічно безпечними. На думку фахівців, відпрацьований дубильний розчин рослинного походження не токсичний і практично не представляє небезпеки для навколишнього середовища. При цьому багато виробників меблів, наприклад німецькі фірми "Bruhl & Sippold" і "DeSede", починають цінувати переваги шкіри, обробленої екологічно чистим способом, вважаючи, що по якості вона майже не уступає хромованій і відрізняється від останньої лише трохи більше нижчою світлостійкістю. А німецька фірма "Wasa" повністю відмовилася у виробництві від хромованої сировини [4, 5].

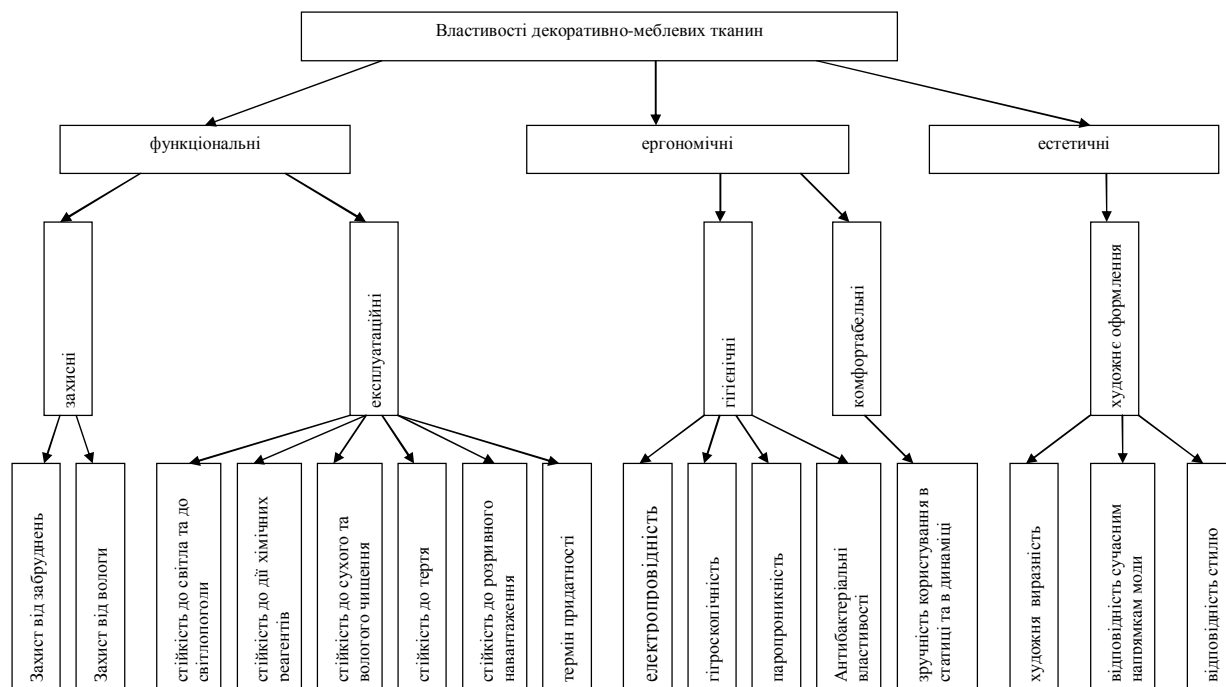


Рис. 1. Результати аналізу властивостей декоративно-меблевих тканин

Людство продовжує шукати нові шляхи створення штучних тканин, що максимально імітують властивості природних. Поглиблено вивчаються натуральні тканини для того, щоб за властивостями їх максимально наблизити до створених властивостей нового покоління штучних тканин. В той же час, нове покоління штучних тканин з застосуванням останніх досліджень сучасної науки подібне до натуральних тканин і старається імітувати їх властивості. Розроблені «ароматні» декоративно-меблеві тканини, що складаються з мікрокапсул, вбудованих в нановолокно. Ароматичні добавки в них синтезовані на молекулярному рівні. Займаються цим вчені Японії та США надіючись створити конкуренцію високоякісним натуральним тканинам Індії та Туреччини [6]. Цікавою областю використання нанотехнологій є отримання різноманітних властивостей і закріплення на текстильній тканині так званих «структур-контейнерів»: нанокапсул, ліпосом, макроциклічних хімічних сполук з нанопорожнинками всередині циклу. В ці «структури-контейнери» можуть бути тимчасово поміщені речовини з різними властивостями, дія яких на текстильний матеріал проявляється в визначених умовах експлуатації виробу. З допомогою таких речовин можна, наприклад, надавати тканині водо- і жировідштовхуючі властивості, понижувати горючість, антимікробні, лікувальні, репелентні (відлякуючі комах) властивості [7]. Представляють особливу зацікавленість нанотехнології, що дозволяють покращити властивості декоративно-меблевих тканин (табл. 1).

Використання розроблених композицій на основі акрилових полімерів дозволяє забезпечити випуск екологічно безпечних декоративно-меблевих тканин при зниженні ресурсоемкості процесів, скороченні терміну виробничого циклу, відсутності промивних вод. Крім того, дана технологія забезпечує комфорт та легкість догляду при експлуатації декоративно-меблевих тканин, які успішно використовуються в промисловості [8].

Формування споживчих властивостей декоративно-меблевих тканин може починатись з удосконалення проектування таких тканин різноманітних переплетень. На даний час тканини простої будови витісняються тканинами складних структур, в тому числі гобеленовими, до яких пред'являють підвищені вимоги у відповідності з напрямком моди. Зокрема, впроваджено структуру декоративно-меблевої тканини із застосуванням гобеленового переплетення, повернутого на 90°. За основу меблевої

тканин, що проектується, було взято бавовняні нитки, лінійною щільністю 25 текс 42-х, в якості утка було взято фарбовану лляну пряжу сухого способу прядіння, лінійною щільністю 163 текс, отриману з короткого лляного волокна. Гобеленові переплетення, повернуті на 90°, сприяють максимальній присутності цього переплетення на лицьовій поверхні тканини і цим підкреслюється виразність кольорових ефектів [9].

Таблиця 1

Нанотехнології, що здатні забезпечити властивості декоративно-меблевих тканин

№ з/п	Суть технології	Характеристики, що отримує тканина (ефект від застосованої технології)
1	Технологія передбачає попереднє нанесення апрету з гідрофільними наноемульсіями та з наступним здійсненням процесу термоперевідного (сублімаційного) друку спеціальними марками дисперсних барвників з пониженою молекулярною масою, здатних до сублімації при температурах 160–220 °С. Формування друкованого рисунка може проводитись з використанням спеціального паперу з готовим рисунком або шляхом попереднього створення на папері заданого рисунка способом фотофільмдруку [10].	В результаті технології покращуються колористичні показники (інтенсивність та рівномірність пофарбувань) і характеристики міцності отриманих пофарбувань (до мокрих обробок, тертя, світла, хімічних обробок). Одночасно, отримана плівка надає комплекс властивостей, необхідних для декоративно-меблевих тканин. При цьому зберігається м'який гриф тканини без погіршення її характеристик міцності. Крім того, введення в апрет на основі наноемульсій спеціальних речовин, здатних капсулюватись в капілярах та міжволоконному просторі, надає декоративно-меблевій тканині стійкий ефект ароматизації, що відповідає сучасним тенденціям в розвитку декоративно-меблевих тканин. Запропонована технологія дозволяє виключити проведення операції заключної обробки після термодруку, що значно значно знижує розхід теплової енергії і скорочує виробничий цикл при випуску декоративно-меблевих тканин.
2	Технологія сублімаційного друку поліефірних декоративно-меблевих тканин з їх попереднім нанесенням апрету нанорозмірними препаратами, отриманими шляхом модифікації хімічної структури амінокремнійорганічних полімерів з введенням нових функціональних груп в присутності ПАВ [11].	Проходить формування ультратонкої плівки в умовах процесу термоперевідного друку (210 °С, 25 с.). Отримують покращені споживчі характеристики. Відбувається підвищення яскравості та міцності пофарбувань, особливо друкованих рисунків.
3	Технологія передбачає використання акрилових полімерів та нанесенням апрету з нанорозмірними препаратами [12].	В результаті технології покращується захист від вологи, знижується зминаємість (на рівні 230–240 град.); зносостійкість збільшується в два рази; підвищується стійкість до прання і хімічного очищення, забезпечується ефект водо- і брудовідштовхуючого покриття.

Однією з умов розширення і оновлення декоративно-меблевих тканин є розвиток і вдосконалення сировинної бази, орієнтуючись на поєднання натуральних та синтетичних волокон. Розроблено технології виробництва змішаної пряжі з короткого лляного та поліпропіленового волокна на змішуючому агрегаті А-150-Л1, що забезпечує ефективне та рівномірне змішування компонентів. 15–27% поліпропіленового волокна забезпечує кращу стійкість до тертя та малозминаємість декоративно-меблевих тканин [13].

Дослідженнями встановлено, що для брудовідштовхуючої обробки декоративно-меблевих тканин можуть застосовуватися на етапі заключної обробки водонерозчинні дрібнодисперсні речовини (окиси металів, кремнію й ін.) і водорозчинні препарати (ацетати, форміати й оксихлориди цирконію й алюмінію, алкілсиліконати натрію, алюмометилсиліконат натрію, препарат ГПА й ін.), які при високій температурі в процесі сушіння утворюють у порах волокна тонкодисперсні водонерозчинні сполуки [14].

Таким чином, формування споживчих властивостей декоративно-меблевих тканин може відбуватись під час виробництва пряжі, тканин, на стадії проектування, виробництва, або ж на стадії заключної обробки.

Висновок

Проблема покращення споживчих властивостей декоративно-меблевих тканин продовжує залишатись актуальною. В статті викладено теоретичний аналіз властивостей декоративно-меблевих тканин. В результаті проведених досліджень, розглянуто нові технології, що здатні забезпечити необхідні споживчі властивості декоративно-меблевим тканинам. Формування асортименту сучасних декоративно-меблевих тканин повинно здійснюватись з врахуванням сучасних вимог до сфер проектування, виробництва, торгівлі і

споживання та потребує подальшого дослідження.

В статті наведено дані, що стануть основою для подальших досліджень декоративно-меблевих тканин з метою створення бази даних для інформаційного забезпечення та управління вітчизняним ринком.

Література

1. Пушкар Г.О. Товарознавчі аспекти формування асортименту та якості текстильних матеріалів для оббивки меблів / Г.О. Пушкар // Вісник ХНУ. – 2009. – № 4. – С. 235–239.
2. Задорога А. Новинки меблевого текстилю / Задорога А. – 2011. – № 5. – С. 29–38.
3. Олійник Г.С. Дослідження ринку меблевих тканин / Г.С. Олійник // Вісник ХНУ. – 2011. – № 3. – С. 137–141.
4. Олійник Г.С. Декоративно-меблеві тканини: формування асортименту / Г.С. Олійник // Вісник ХНУ. – 2011. – № 2. – С. 89–91.
5. Олійник Г.С. Дослідження сучасних технологій надання меблевим текстильним матеріалам спеціальних характеристик / Г.С. Олійник // Сучасні технології в легкій промисловості та сервісі: матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції. – Хмельницький : ХНУ, 2011 – С. 56–57.
6. Кричевский Г. Умный нанотекстиль / Г. Кричевский // Нанотехнологии в текстильной и легкой промышленности- от разработки до внедрения: материалы Научно- практической конференции. – М. : МГТУ им. Косыгина, 2010. – С. 65–69.
7. Кричевский Г.Е. Производство нановолокон и нанотекстиля. Достижения, проблемы, риски / Г.Е. Кричевский // Нано- Био, Информационные технологии в текстильной и легкой промышленности: материалы Международной научно-практической конференции. – Иваново : Институт химии и растворов РАН, 2011. – С. 90–96.
8. Гончаров С.А. Композиции на основе акриловых полимеров с использованием наночастиц / С.А. Гончаров // Новые технологии в текстильной и легкой промышленности: материалы Межвузовской научной конференции. – М. : МГУ, 2011 – С. 24–26.
9. Акиндинова Н.С. Особенности проектирования мебельно-декоративных тканей gobеленовых перплетений / Н.С. Акиндинова, Г.В. Казарновская // «Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности»: материалы межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов. – Иваново, 2011 – С. 91–92.
10. Гончаров С.А. Технологии термопереводного печатания с использованием гидрофильных наноемульсий для декоративно- мебельных тканей / С.А. Гончаров // Нано- Био, Информационные технологии в текстильной и легкой промышленности: материалы Международной научно-практической конференции. – Иваново : Институт химии и растворов РАН, 2011. – С. 81–85.
11. Новожилова Л.А. Потребительские свойства мебельных обивочных материалов / Л.А. Новожилова, Н.Г. Сиротов // Материалы межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов «Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности». – Иваново : 2010. – С. 76–77.
12. Гончаров С.А. Композиции на основе акриловых полимеров с использованием наночастиц / С.А. Гончаров // Новые технологии в текстильной и легкой промышленности: материалы межвузовской научной конференции. – М. : МГУ, 2011 – С. 24–26.
13. Гришанова С.С. Расширение ассортимента декоративно-мебельных тканей за счет использования полипропиленовых волокон: материалы межвузовской научно-технической конференции аспирантов и студентов «Молодые ученые – развитию текстильной и легкой промышленности». – Иваново, 2011. – С. 84–85.
14. Баранник С.А. Придание комплекса грязеотталкивающих свойств мебельным тканям С.А. Баранник, Е.Н. Петрова // Новые технологии в текстильной и легкой промышленности: материалы Межвузовской научной конференции. – М. : МГУ, 2011 – С. 24–26.

Рецензент: к.т.н. Краснюк Л.В.

Надійшла 16.2.2012 р.

ВПЛИВ ОБРОБОК ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИМИ РЕЧОВИНАМИ НА ГІДРОФІЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

В роботі проведено дослідження адсорбції нових катіоноактивних і неіоногенних поверхнево-активних речовин (ПАР) на поліефірних і поліамідних тканинах. Встановлено закономірності адсорбції і форми ізотерм, що дозволяє зробити висновки про механізм адсорбції на волокнах з утворенням моношарів з молекул неіоногенних ПАР і бішарів з молекул катіоноактивних ПАР. Показано, що обробка синтетичних тканин розчинами катіонних ПАР призводить до різкого збільшення їх гідрофільності, змочувальності та антистатичних властивостей.

In this article the study of adsorption of new cationic and nonionic surfactants on the polyester and polyamide fabrics has been carried out. The regularities of adsorption and the forms of isotherms were determined and allowed to conclude about the mechanism of adsorption on the fibers with the formation of monolayers of molecules of nonionic surfactants and bilayers of molecules of cationic surfactants. It has been shown that the processing of synthetic fabric by the solutions of cationic surfactants leads to the sharp increase of their wetting ability, hygroscopic and antistatic properties.

Ключові слова: поверхнево-активні речовини, адсорбція, капілярність, гігроскопічність, синтетичні тканини.

Вступ

Одну з найбільших галузей промислового виробництва товарів для безпосередніх потреб людини займає виготовлення текстильної продукції для одягу і виробів різноманітного побутового і технічного призначення. При цьому найбільш інтенсивно зростають об'єми виготовлення хімічних волокон завдяки їх високій рентабельності і доступній сировинній базі. Синтетичні волокна характеризуються значно більшою міцністю, доброю еластичністю, стійкістю до тертя і змінання, відсутністю усадки та іншими корисними властивостями, які дозволили розширити області їх використання у порівнянні з натуральними волокнами і матеріалами. Але синтетичні волокна мають і деякі недоліки: високі гідрофобні і низькі сорбційні властивості, жорсткість, недостатню волого- і повітропередачу і хімічну стабільність, здатність до сильної електризації, що відображається на фізико-гігієнічних властивостях матеріалів для одягу.

Оптимальний мікроклімат під одягом повинен забезпечувати нормальний функціональний стан людини, її гарне самопочуття, високу працездатність. Тому значимість гігієнічних показників і комфортності в оцінці одягу споживачами також безперервно зростає і стає одним з важливих критеріїв використання текстильних матеріалів і одягу з них. Це потребує регулювання гігієнічних властивостей синтетичних гідрофобних матеріалів: їх капілярних властивостей, водо-, паро- і повітропроникності та ін. [1].

В останні роки намітились нові важливі тенденції у створенні волокон і волокнистих матеріалів на їх основі, які суттєво змінюють можливості у задоволенні потреб в текстильних матеріалах різного цільового призначення. Цілеспрямована модифікація традиційних видів хімічних волокон призводить до того, що за своїми гігієнічними і експлуатаційними властивостями синтетичні волокна наближаються до природних. Сучасний ринковий принцип створення текстильних виробів базується на наступному ланцюгу: виріб певного функціонального призначення → текстильний матеріал (його структура) → волокна (необхідний волокнистий склад) [2, 3]. Причому, на кожному з цих етапів є технологічна можливість застосовувати текстильно-допоміжні речовини для функціоналізації матеріалів. Застосування таких підходів до створення і виробництва текстильної продукції дозволяє підвищити ступінь корисного використання допоміжних препаратів, покращити якість готових текстильних матеріалів, сприяє розвитку і удосконаленню технологій одержання волокон із заданим комплексом властивостей і високими якісними експлуатаційними показниками.

Тому, враховуючи темпи зростання виробництва синтетичних волокон і підвищення експлуатаційних, гігієнічних, естетичних вимог до текстильних виробів у споживачів, актуальним завданням є розвиток і застосування способів функціоналізації матеріалів для збільшення їх конкурентоспроможності на ринку текстилю.

Постановка завдання дослідження

Для зміни, регулювання і оптимізації властивостей текстильних матеріалів використовують різні методи фізичної і хімічної модифікації волокон [2, 4, 5]. З цією метою використовують препарати на основі поверхнево-активних речовин (ПАР), що дозволяє регулювати и надавати нові функціональні властивості текстильним матеріалам.

Хімічні волокна характеризуються малою гігроскопічністю і електропровідністю і здатні накопичувати статичну електрику, яка виникає в процесах механічної переробки волокон або під час носіння готових виробів. Виникнення електричних зарядів на поверхні текстильних матеріалів є результатом різних видів взаємодій: електричних, хімічних, механічних. Електростатичні заряди, які накопичуються на волокнах, ускладнюють їх переробку, сприяють швидкому забрудненню, можуть бути причиною вибухів, пожеж, ураження електрострумом, хвороб людини. Здатність накопичувати статичну електрику залежить від природи волокон, їх поверхневої провідності і гігроскопічності, вологості повітря, оскільки при цьому можлива не тільки адсорбція, але і капілярна конденсація пари води, що призводить до

іонізації деяких груп на поверхні волокон [6–8].

При використанні ПАР можливо два механізми антиелектростатичної дії: блокування (або ізоляція) електронодонорних або електроакцепторних груп і створення електропровідного шару [6]. Більш ефективним буде антистатичний ефект при блокуванні електронодонорних груп. З іншого боку, ізоляція лише електронодонорних груп повинна збільшувати поверхневу провідність, оскільки полегшується перехід електронів від однієї акцепторної групи до другої в результаті екранування електронегативних (донорних) груп. Тому більш ефективними антистатиками повинні бути катіонні ПАР (КПАР), які блокують електронегативні групи. Оптимальним повинна бути така кількість адсорбованої з водного розчину ПАР, яка відповідає утворенню бімолекулярного шару: перший шар молекул КПАР екранує електронодонорні групи, а другий – створює провідний шар здатних до асоціації груп. Для аніонних (АПАР) і неіоногенних ПАР (НПАР) оптимальним повинен бути мономолекулярний шар.

В зв'язку з перспективністю застосування ПАР для поверхневої модифікації волокон метою наукової роботи стало дослідження процесу адсорбції ПАР на синтетичних текстильних матеріалах і зміни їх капілярних, гігроскопічних, антистатичних властивостей.

Об'єкти та методи дослідження

В дослідженні використовували білі поліефірні (ПЕ) і поліамідні (ПА) тканини.

Для обробки синтетичних тканин застосовували водні розчини ПАР: катіонактивні вирівнювач А і барвמיד 2К, і неіоногенні омеро-16 і ОС-20. Нові українські ПАР барвמיד 2К і омеро-16 виготовляються на основі відтворюваних ресурсів (рослинних олій) і характеризуються ступенем біорозкладу вище 80%.

Вирівнювач А – це четвертинна амонійна сіль диетиламінометильних похідних поліетиленгліколевих етерів ізооктилфенолів, з алкільним радикалом в основному $R=C_8H_{17}$ і ступенем оксіетилювання $m=10$. Барвמיד 2К (ТУ У24.1-32257423-118:2005) – це оцтовокисла сіль продукту взаємодії кубового залишку β -оксіетилендіаміну та вищих жирних кислот кокосової олії.

Омеро-16 (ТУ У24.6-33781676-016:2008) – це оксіетилювані метилові естери вищих жирних кислот ріпакової олії $R=C_{17}-C_{21}$ із ступенем оксіетилювання $m=16$. ОС-20 – моноалкілові етери поліетиленгліколя на основі первинних жирних спиртів, де $R=C_{18}H_{37}$ і $m=20$.

Для дослідження адсорбції ПЕ і ПА тканини просочували розчинами ПАР різною концентрацією при температурі 20°C протягом 2 год. Кількість ПАР у водних розчинах до і після адсорбції визначали фотометричним методом. Після обробки визначали гігроскопічність, капілярність тканин, їх поверхневий електричний опір за стандартними методиками.

Поверхневий натяг розчинів ПАР визначали методом Ребіндера. Критичну концентрацію міцелоутворення (ККМ) встановлювали за ізотермою поверхневого натягу і зміною показника заломлення водних розчинів ПАР. Змочувальну здатність оцінювали за крайовими кутами змочування парафінової поверхні розчинами ПАР.

Результати дослідження та їх обговорення

Дослідження фізико-хімічних властивостей нових ПАР: неіоногенної омеро-16 і катіонактивної барвמיד 2К – свідчить про те, що ці ПАР мають низьке значення ККМ, високу поверхневу активність і змочувальну здатність (рис. 1). При цьому на ізотермі поверхневого натягу барвмиду спостерігається друга ККМ (ККМ₂), що пов'язано з особливостями хімічної структури молекул КПАР і можливістю трансформації їх міцел при збільшенні концентрації в розчині до 0,5 г/л. Досліджені ПАР характеризуються низькою піноутворювальною здатністю, що важливо при їх застосуванні в автоматичних пральних машинах. Результати визначення крайового кута змочування показують, що на початковому етапі змочування омеро-16 веде себе як типовий змочувач, але у рівноважному стані постійний кут змочування встановлюється при низьких концентраціях 0,2-0,4 г/л.

Розміри посадочної площі молекули барвмиду на порядок менше, ніж у інших досліджуваних ПАР, що пояснюється хімічним складом і довжиною алкільних ланцюгів карбонових кислот, що входять до складу кокосової олії (в основному, лауринової і мірїстінової кислот). До складу ріпакової олії входять переважно ерукова, олеїнова, лінолева, ліноленова кислоти, тому і молекули їх естерів мають більші розміри. Крім того, омеро-16 має достатньо високий ступінь оксіетилювання, що також впливає на геометрію молекул і міцел цієї НПАР.

Для встановлення закономірностей процесу адсорбції досліджуваних ПАР на синтетичних тканинах будували ізотерми адсорбції в координатах маса адсорбованої ПАР Γ (мг/г тканини) – концентрація ПАР у вихідному розчині C (г/л), а також в логарифмічних координатах, приклади яких наведено на рис. 2, 3.

Дослідження показали, що ізотерми адсорбції вирівнювача А і барвмиду 2К на ПЕ волокнах описуються ізотермою типу L3 за класифікацією Гіллса, а ізотерми адсорбції цих КПАР ПА волокнами відповідають типу L4 [9], тобто ці ізотерми належать до класу Ленгмюра (рис. 2а), що пов'язано з формуванням бішарів з молекул КПАР на поверхні волокон і утворенням між ними електростатичних і водневих зв'язків [10]. Відмінності в процесі адсорбції КПАР різними текстильними матеріалами пов'язано з особливостями хімічної і морфологічної структури волокон, формою і характером їх поверхні, наявності на ній полярних груп, гетерогенністю волокон по перерізу, капілярно-пористою структурою. Ділянки на графіках ізотерми адсорбції КПАР ПА волокнами, побудованими в логарифмічних координатах (рис. 3) відповідають адсорбції молекул КПАР і утворенню на поверхні волокон моно- і бішарів з їх молекул.

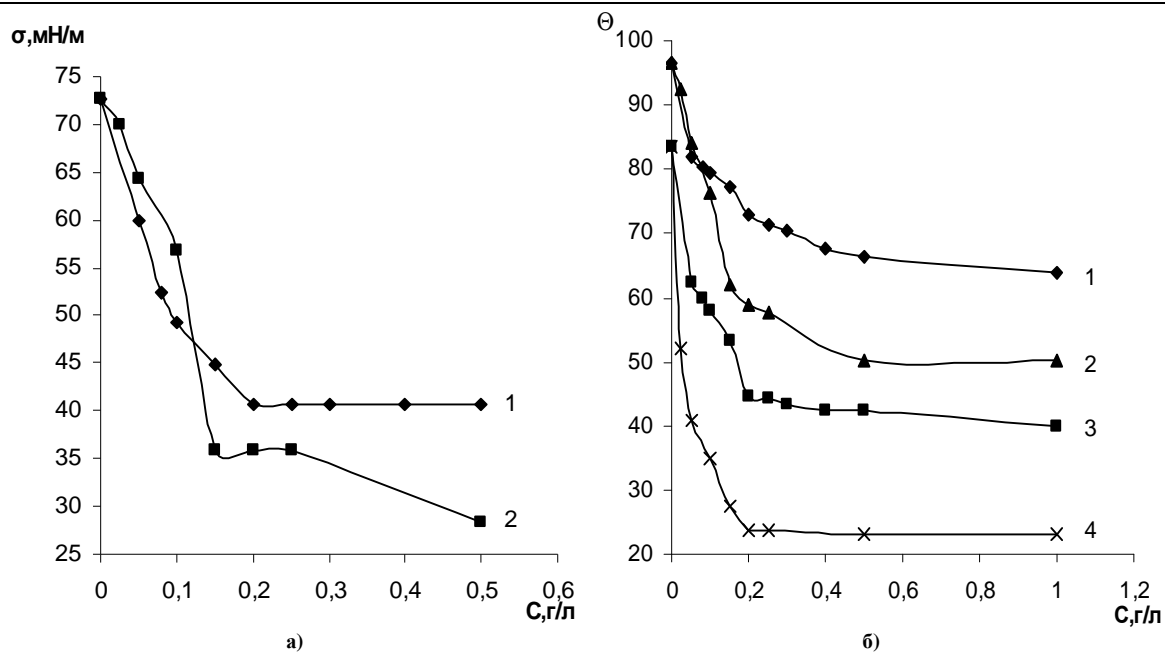


Рис. 1. Ізотерми поверхневого натягу водних розчинів ПАР (а): 1 – омеро-16, 2 – барвamid 2К; і залежність крайового кута змочування парафінової поверхні (б): 1 і 2 – початкові кути змочування відповідно омеро-16 і барвamidом 2К, 3 і 4 – рівноважні кути змочування відповідно омеро-16 і барвamidом 2К

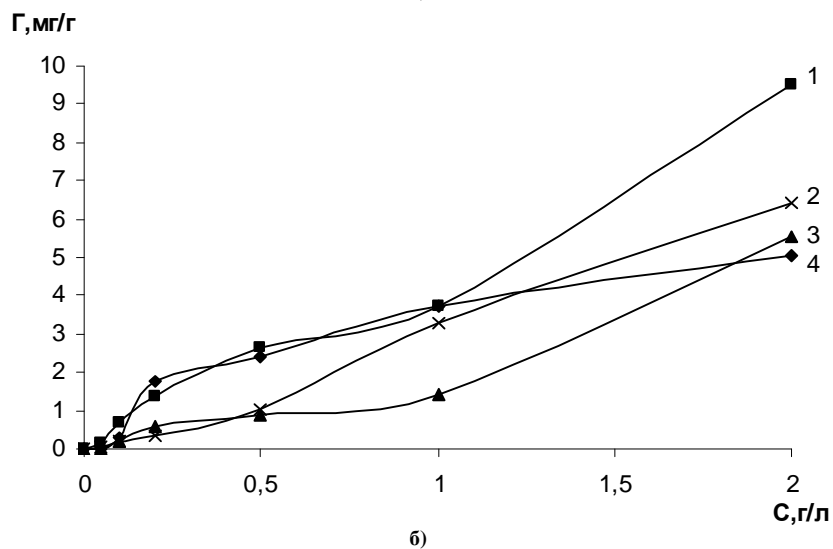
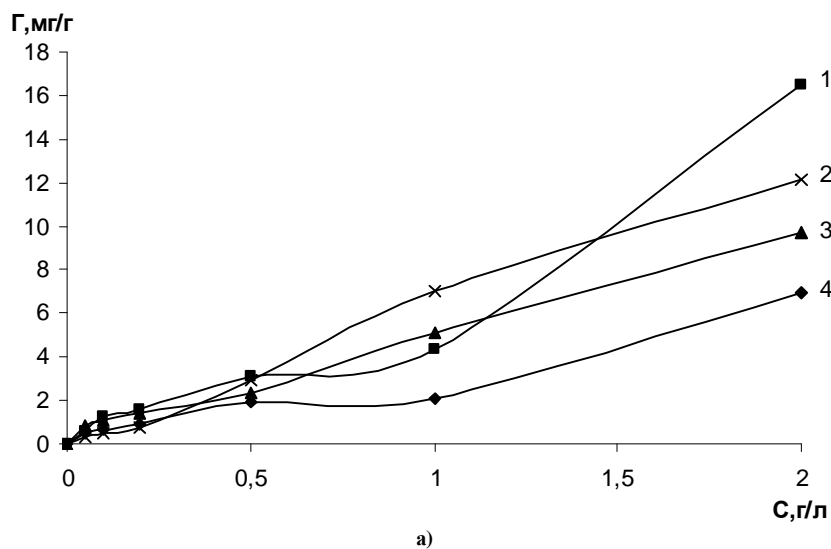


Рис. 2. Ізотерми адсорбції КПАР (а) і НПАР (б) ПА і ПЕ тканинами: а) 1 і 2 – адсорбція барвamidу 2К відповідно ПА і ПЕ тканинами, 3 і 4 – адсорбція вирівнювача А відповідно ПЕ і ПА тканинами; б) 1 і 2 – адсорбція ОС-20 відповідно ПА і ПЕ тканинами, 3 і 4 – адсорбція омеро-16 відповідно ПЕ і ПА тканинами

Відповідно до моделі подвійного електричного шару, запропонованого Гремом [9], адсорбцію КПАР на негативно зарядженій поверхні текстильних матеріалів можна розглядати як особливий випадок специфічної адсорбції. Вважають, що іонні головні групи локалізуються у внутрішній площині Гельмгольца (область ІНР). При низьких степенях заповнення внутрішня і зовнішня (ОНР або площина Штерна) площини співпадають. При цьому густина заряду на межі розділу цих площин відноситься до зарядів, розташованих на ОНР, в той час, як загальна густина заряду на площині ОНР і за нею відноситься до дифузного шару за цією площиною.

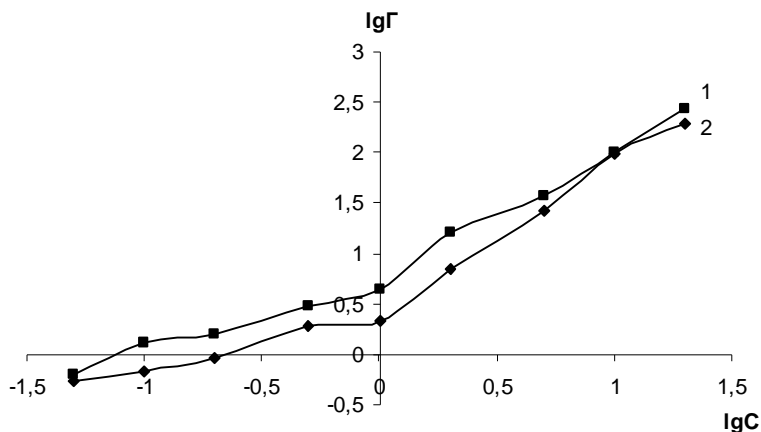


Рис. 3. Ізотерми адсорбції КПАР ПА тканинами в логарифмічних координатах: 1 – барвямід 2К, 2 – вирівнювач А

Дослідження адсорбції НПАР (ОС-20 і омеро-16) на синтетичних тканинах свідчить про те, що ізотерми адсорбції в межах досліджуваних концентрацій можна віднести до S3 класу (рис. 2б) з утворенням моношару молекул ПАР, хоча можливо, що після ККМ відбувається адсорбція міцел НПАР з утворенням на поверхні волокон геміміцел. Адсорбція обумовлена Ван-дер-ваальсовою (в основному, дисперсійною) взаємодією між гідрофобними ланцюгами НПАР і поверхнею ПА і ПЕ волокон. На ізотермах адсорбції НПАР на ПА і ПЕ волокнах в логарифмічних координатах спостерігається тільки одна точка злому, яка відповідає завершенню повного заповнення поверхні волокон молекулами і геміміцелами НПАР.

Для визначення ефективності обробки синтетичних текстильних матеріалів розчинами ПАР з метою гідрофілізації їх поверхні досліджували капілярність і гігроскопічність оброблених ПА і ПЕ тканин.

Для того, щоб нівелювати можливий вплив текстильно-допоміжних речовин на результати визначення капілярних властивостей матеріалів, ПА і ПЕ тканини в усіх дослідженнях підлягали попередньому промиванню водою.

Для ПА і ПЕ тканин, оброблених в розчинах катіонних і неіоногенних ПАР концентраціями 0,05–20 г/л, визначали висоту капілярного підняття розчину калій біхромату за ГОСТ 3816-81. Окремі результати цього дослідження, які наведено в табл. 3 і на рис. 4, свідчать про те, що обробка КПАР ПА і ПЕ тканин сприяє підвищенню їх гідрофільності, що виражається у покращенні їх змочувальності водними розчинами і суттєвому збільшенню капілярності за рахунок присутності на матеріалах адсорбованих КПАР.

Обробка ПЕ матеріалів розчинами омеро-16 концентраціями 0,05-0,2 г/л не змінює їх капілярності і гідрофільності, оскільки попередні результати свідчать про відсутність адсорбції цієї НПАР на ПЕ тканинах.

Але після обробки ПЕ тканин розчинами омеро-16 з концентраціями вище ККМ (0,2 г/л) капілярні властивості зразків різко зростають і значення висоти капілярного підняття розчинів знаходяться на одному рівні з тканинами, які оброблені КПАР і ОС-20. Зменшення швидкості просочування ПЕ тканин розчином калій біхромату відбувається після 5 хв. їх контакту.

Для омеро-16 характерно практичне миттєве встановлення рівноважного стану змочування і просочування водним розчином калій біхромату при концентраціях вище ККМ, що пов'язано з покриттям поверхні волокон завершеного шару геміміцел.

Після обробки тканин ОС-20 вони характеризуються більшою капілярністю, ніж зразки, оброблені омеро-16.

Для ПА тканин спостерігаються менш виражені зміни капілярності, ніж для ПЕ, що може бути пов'язано з відмінностями в структурі і товщині досліджуваних тканин.

На початковому етапі просочування більше зростає капілярність ПА тканин, оброблених барвямідом 2К при низьких концентраціях в розчині, але після 5 хв контакту з розчином калій біхромату більша гідрофільність спостерігається у ПА тканин, оброблених розчинами вирівнювача А з високими концентраціями (вище 0,5 г/л). В цілому ПА тканини за своєю гідрофільністю і капілярністю мало розрізняються після обробок розчинами вирівнювача А і барвяміду 2К.

У ПА тканин, як і у ПЕ, різке зростання капілярності відбувається після їх обробки в розчинах з концентрацією, яка відповідає ККМ омеро-16.

На відміну від ПЕ тканин, у ПА матеріалів підвищується їх гідрофільність після обробок розчинами омеро-16 концентрацією вище його ККМ 0,2 г/л, але при більш високих концентраціях 2–20 г/л вона

практично не змінюється.

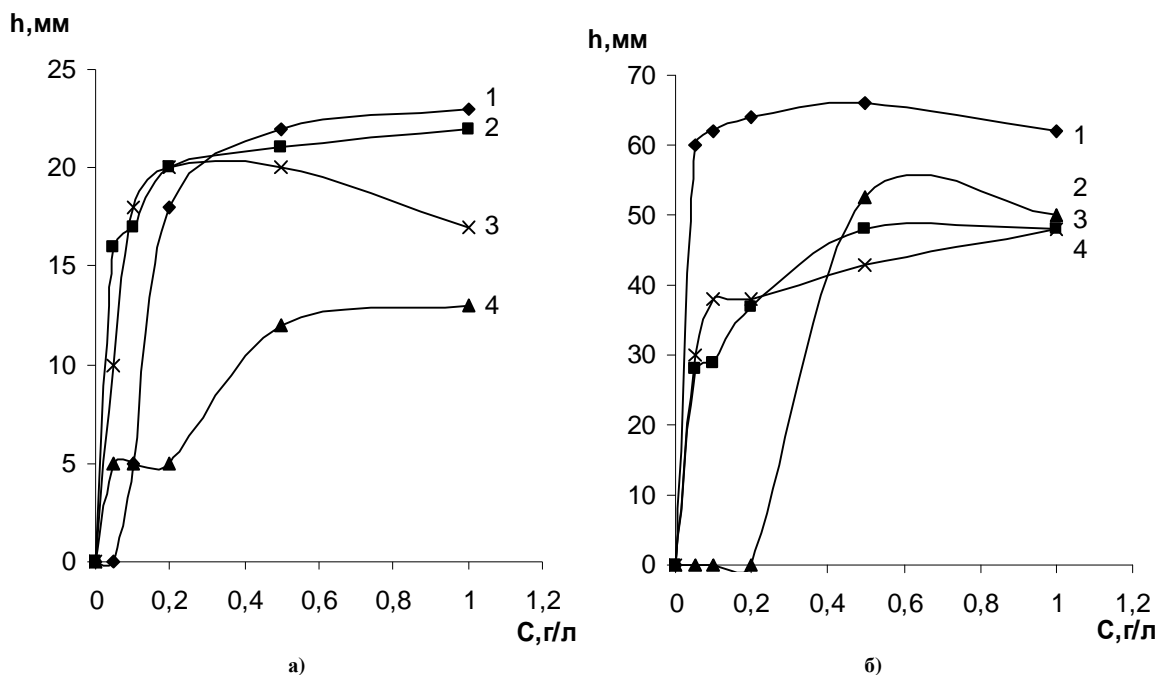


Рис. 4. Залежність каплярності ПА (а) і ПЕ (б) тканин після 2 хв контакту з розчином калій біхромату від концентрації ПАР в розчині: а) 1 – вирівнювач А, 2 – барвямід 2К, 3 – ОС-20; 4 – омеро-16; б) 1 – вирівнювач А, 2 – омеро-16, 3 – барвямід 2К, 4 – ОС-20

Дослідження показали, що необроблені ПА і ПЕ тканини характеризуються дуже низькою гігроскопічністю за рахунок своєї високої гідрофобності: відповідно 0,37 і 0,52 % (табл. 2). Обробка синтетичних тканин розчинами катіонних і неіоногенних ПАР не призвело до суттєвого підвищення їх гігроскопічності, помітне зростання гігроскопічності в 2-3 рази спостерігається після обробки розчинами ПАР концентраціями більше ККМ. Найбільший вплив на зміну гігроскопічності ПА і ПЕ тканин має обробка розчинами вирівнювача А.

Таблиця 2

Гігроскопічність (%) ПА і ПЕ тканин, оброблених розчинами ПАР

Тканина ПАР	Концентрація ПАР, г/л				
	0,2	0,5	1	2	20
ПА					
Вирівнювач А	0,59	0,65	0,97	0,99	1,65
Барвямід 2К	0,84	0,86	1,04	1,15	1,23
Омеро-16	0,57	0,58	0,55	0,57	0,79
ОС-20	0,54	0,55	0,60	0,61	0,80
ПЕ					
Вирівнювач А	0,53	0,73	0,73	0,78	2,28
Барвямід 2К	0,68	0,76	0,82	0,85	0,91
Омеро-16	0,71	0,76	0,74	0,77	1,70
ОС-20	0,58	0,60	0,62	0,68	1,03

З метою оцінки ефективності ПАР як антистатиків визначали питомий поверхневий опір ПА і ПЕ тканин, оброблених водними розчинами катіонактивними і неіоногенними ПАР, за ГОСТ 19616-74 (табл. 3).

Результати дослідження свідчать про те, що після обробки синтетичних матеріалів розчинами КПАР електричний опір тканин знижується сильніше, ніж після обробки НПАР. Хоча при високих концентраціях (більше 5 г/л) обробка омеро-16 сприяє значному підвищенню електропровідності ПА і ПЕ тканин. Найбільший антистатичний ефект спостерігається у ПА тканин, які оброблені розчинами вирівнювача А і барвяміду 2К, і ПЕ тканин, обробленими розчинами омеро-16, при концентраціях у ванні 10-20 г/л: питомий опір цих тканин зменшується в 1000-1500 разів порівняно з необробленими зразками.

В межах робочих концентрацій, які застосовуються в різних технологічних процесах 1-2 г/л, найбільшу антистатичну дію має барвямід 2К.

В цілому можна зробити висновок, що всі досліджувані ПАР мають високу антистатичну дію, оскільки після обробки питомий поверхневий опір синтетичних тканин знижується до 10^9 - 10^{10} Ом. Це свідчить про ефективність застосування досліджених КПАР і НПАР для підвищення гідрофільності,

Таблиця 3

Питомий поверхневий опір тканин R_z (Ом), оброблених розчинами ПАР

С, г/л	ПА тканини				ПЕ тканини			
	Вирівнювач	Барвямід	Омеро	ОС-20	Вирівнювач	Барвямід	Омеро	ОС-20
0	$1,80 \cdot 10^{12}$	$1,80 \cdot 10^{12}$	$1,80 \cdot 10^{12}$	$1,80 \cdot 10^{12}$	$1,92 \cdot 10^{12}$	$1,92 \cdot 10^{12}$	$1,92 \cdot 10^{12}$	$1,92 \cdot 10^{12}$
0,05	$7,64 \cdot 10^{11}$	$1,94 \cdot 10^{11}$	$5,83 \cdot 10^{11}$	$5,56 \cdot 10^{11}$	$1,67 \cdot 10^{12}$	$5,00 \cdot 10^{11}$	$5,09 \cdot 10^{11}$	$5,46 \cdot 10^{11}$
0,1	$7,45 \cdot 10^{11}$	$1,85 \cdot 10^{10}$	$6,02 \cdot 10^{11}$	$5,32 \cdot 10^{11}$	$1,02 \cdot 10^{12}$	$4,44 \cdot 10^{11}$	$6,48 \cdot 10^{11}$	$5,32 \cdot 10^{11}$
0,2	$6,02 \cdot 10^{11}$	$1,39 \cdot 10^{10}$	$6,94 \cdot 10^{11}$	$5,09 \cdot 10^{11}$	$3,24 \cdot 10^{11}$	$6,30 \cdot 10^{10}$	$4,91 \cdot 10^{11}$	$4,63 \cdot 10^{11}$
0,5	$7,06 \cdot 10^{10}$	$1,81 \cdot 10^{10}$	$5,56 \cdot 10^{11}$	$4,91 \cdot 10^{11}$	$1,11 \cdot 10^{11}$	$3,89 \cdot 10^{10}$	$4,63 \cdot 10^{11}$	$4,40 \cdot 10^{11}$
1	$6,48 \cdot 10^{10}$	$1,85 \cdot 10^{10}$	$4,63 \cdot 10^{11}$	$2,55 \cdot 10^{11}$	$4,35 \cdot 10^{10}$	$3,24 \cdot 10^{10}$	$2,04 \cdot 10^{11}$	$3,43 \cdot 10^{11}$
2	$6,48 \cdot 10^{10}$	$1,57 \cdot 10^9$	$3,24 \cdot 10^{10}$	$2,04 \cdot 10^{11}$	$3,80 \cdot 10^{10}$	$1,85 \cdot 10^{10}$	$4,63 \cdot 10^{10}$	$2,27 \cdot 10^{11}$
5	$4,17 \cdot 10^{10}$	$1,11 \cdot 10^9$	$2,59 \cdot 10^{10}$	$6,06 \cdot 10^{10}$	$2,87 \cdot 10^{10}$	$1,16 \cdot 10^{10}$	$1,11 \cdot 10^{10}$	$1,85 \cdot 10^{11}$
10	$1,85 \cdot 10^9$	$1,16 \cdot 10^9$	$4,17 \cdot 10^9$	$3,01 \cdot 10^{10}$	$2,59 \cdot 10^{10}$	$3,24 \cdot 10^9$	$1,34 \cdot 10^9$	$4,63 \cdot 10^{10}$
20	$1,18 \cdot 10^9$	$1,16 \cdot 10^9$	$1,85 \cdot 10^9$	$1,67 \cdot 10^{10}$	$2,31 \cdot 10^9$	$2,41 \cdot 10^9$	$1,16 \cdot 10^9$	$3,24 \cdot 10^{10}$

Висновки

Дослідження показали, що нові українські ПАР мають високу поверхневу активність і змочувальну здатність, низьку ККМ, що дає можливість використовувати їх в композиціях для обробки текстильних матеріалів в різних технологічних процесах. Адсорбція молекул ПАР і утворення моно- і бішарів на поверхні синтетичних волокон призводить до зміни їх гідрофільності, що виражається в покращенні їх капілярності, гігроскопічності, антистатичних властивостей, і в цілому позитивно впливає на гігієнічні характеристики матеріалів і комфортність одягу з них.

Література

1. Склянников В.П. Гигиеническая оценка материалов для одежды (Теоретические основы разработки) / Склянников В.П., Афанасьева Р.Ф., Машкова Е.Н. – М. : Легпромбытиздат, 1985. – 144 с.
2. Перепелкин К.Е. Современные химические волокна и перспективы их применения в текстильной промышленности / К.Е. Перепелкин // Рос. хим. ж. – 2002. – Т. XLVI. – № 1. – С. 31–48.
3. Кричевский Г.Е. Роль химии в производстве текстиля. Эволюция и революция в текстильной химии / К.Е. Кричевский // Рос. хим. ж. – 2002. – Т. XLVI. – № 1. – С. 5–8.
4. Перепелкин К.Е. Модификация волокон и текстиля [Электронный ресурс] / К. Е. Перепелкин. – Режим доступа : \www/ URL: <http://www.textile-press.ru> – 10.01.2011 р. – Назва з екрана.
5. Волков В.А. Поверхностно-активные вещества. Применение для производства и модификации текстильных материалов: [Электронна книга eBook] / В.А. Волков. – Режим доступа : <http://e-science.sources.ru>
6. Агеев А.А. Поверхностные явления и дисперсные системы в производстве текстильных материалов и химических волокон / А.А. Агеев, В.А. Волков. – М. : МГТУ, 2004. – 464 с.
7. Серебрякова З.Г. Поверхностно-активные вещества в производстве искусственных волокон / Серебрякова З.Г. – М. : Химия, 1986. – 192 с.
8. Гефтер П.Л. Электростатические явления в процессах переработки химических волокон / Гефтер П.Л. – М. : Легпромбытиздат, 1989. – 272 с.
9. Адсорбция из растворов на поверхностях твердых тел / Под ред. Г. Парфита, К. Рочестера ; [пер. с англ.]. – М. : Мир, 1986. – 488 с.
10. Карван С.А. Теоретичні основи поверхневої модифікації синтетичних текстильних матеріалів / С.А. Карван, О.Г. Бойко, Г.Т. Бубенщикова // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2011. – № 2 / 6 (50). – С. 9 – 14.

Рецензент: д.т.н. Либа В.П.

Надійшла 15.2.2012 р.

ВПЛИВ СТРУКТУРИ МАТЕРІАЛУ ТА КОНЦЕНТРАЦІЇ ЗАБРУДНЮВАЧА НА ЗАБРУДНЮВАНІСТЬ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

В роботі досліджено здатність текстильних матеріалів у вигляді тканин і трикотажу різного волокнистого складу забруднюватись різноманітними побутовими забрудненнями. Встановлено вплив наявності аפרету на матеріали, структури самих матеріалів та концентрації забруднювачів на величину забрудненості.

The ability of textile materials in the form of fabrics and knitted fabrics of different fiber composition of various contaminated household pollution are investigated in the article. The influences of the presence of dressing materials, structures of same materials and concentrations of pollutants by the amount of pollution are determined.

Ключові слова: аפרет, тканина, трикотаж, забруднювач, забруднюваність.

Вступ

Вироби з текстильних волокон і інших волокнистих матеріалів складають невід'ємну частину побуту кожної людини, а більшість з них входить в коло предметів постійного користування

В процесі експлуатації на виробах поступово осаджуються різні забруднення, які можуть розташовуватись по всій поверхні (загальне забруднення) чи носити характер окремих плям (локальні забруднення) [1].

Забруднюваність текстильних матеріалів – це здатність їх при взаємодії з навколишнім середовищем поглинати і утримувати різні за хімічною природою і фізичною формою речовини. Із зовнішнього середовища на волокнистих матеріалах осаджується багато забруднень у вигляді частинок пилу, сажі, окремих волокон.

Забруднюваність волокнистих матеріалів залежить від фізичних властивостей волокон, від наявності на їх поверхні каналів, лусочок і інших нерівностей поверхні, де утримуються частки забруднень, а також від площі поверхні волокнистих матеріалів.

Умови, у яких забруднення взаємодіють з одягом, різноманітні і вони виявляють значний вплив на інтенсивність забруднення та міцність зв'язку часток забруднень з текстильними матеріалами [2].

В повітрі, що оточує людину міститься значна кількість дрібних органічних та мінеральних частинок, різних за складом і розмірами. Ці частинки, знаходячись у завислому стані, осідають на текстильному матеріалі і в залежності від розміру, залишаються на поверхні тканини або попадають у пори. Таким чином, в основному забруднюються верхні білизняні вироби, столова та постільна білизна [3].

Забруднення виробів в процесі експлуатації супроводжується зміцненням зв'язку забруднення з волокном, деформуванням брудних частинок та їх впровадженням всередину волокна. При цьому у зв'язку з взаємодією механічних сил збільшуються і з'являються нові макро- і мікротріщини в волокні, що супроводжується проникненням і защемленням в них брудних включень.

В залежності від походження плями можна поділити на наступні групи: харчові, косметичні, лікарські, побутові, плями від продуктів обміну організму тощо. До харчових плям відносяться: жирові, білкові, плями від вин, фруктових та ягідних соків, напоїв (чай, кава, пиво) [1].

В пральному виробництві обробляють в основному білизна з водорозчинними забрудненнями, представляють собою забарвлені і незабарвлені речовини або їх суміші. Для видалення забруднень в процесі прання використовують різноманітні синтетичні миючі засоби (СМЗ), речовини для відбілювання, що в тій чи іншій мірі видаляють вказані забруднення.

Основний матеріал

В літературних джерелах фактично відсутні відомості на скільки ті чи інші за волокнистим складом чи структурою матеріали забруднюються найбільш поширеними побутовими забрудненнями. Тому метою даної роботи є дослідити зміну забруднюваності матеріалів (тканин та трикотажу) різного волокнистого складу (бавовна, льон, капрон) при зміні різних факторів забруднення обраними забруднювачами.

Для досліджень використовували бавовняну, лляну, поліамідну тканину та поліамідний трикотаж, характеристика яких наведена в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристика текстильних матеріалів

Вид матеріалу	Волокнистий склад	Лінійна густина, г/м	Поверхнева густина, г/м ²	Щільність, ниток/10 см		Переплетення
				основа	уток	
Тканина	Бавовна	104,64	128,54	254	74	Полотняне
Тканина	Льон	133,93	183,40	196	52	Полотняне
Тканина	Капрон	70,95	46,89	312	82	Полотняне
Трикотаж	Капрон	127,60	86,11	56*	51**	Гладь

Примітка: для трикотажу щільність по вертикалі – * петель/5 см; щільність по горизонталі – ** петель/5 см.

Забруднювали зразки просочуванням їх в розчинах (суспензії, емульсії) забруднювачів при кімнатній температурі впродовж 10 хв. Зразки віджимали, висушували та визначали коефіцієнти відбиття на блискомірі. За коефіцієнтами відбиття вихідних (не забруднених) зразків та зразків після забруднення розраховували процент забруднюваності за формулою:

$$Z = \frac{B_4 - B_3}{B_4} \cdot 100,$$

де Z – забрудненість зразків, %;
 B_4 – коефіцієнт відбиття вихідного зразка;
 B_3 – коефіцієнт відбиття забрудненого зразка.

На процес забруднюваності матеріалів впливає велика кількість факторів, деякі з яких розглянуто в даній роботі.

Для дослідження впливу апретування тканин різного волокнистого складу (бавовна, льон, капрон) та трикотажу (капрон) забруднювали вказані матеріали при однакових умовах різними видами забруднювачів. Паралельно з апретованими матеріалами обробляли деапретовані. Для всіх досліджуваних матеріалів визначали коефіцієнти відбиття до забруднення та після і розраховували процент забруднюваності. Одержані дані представлені в таблиці 2.

Таблиця 2

Вплив заключної обробки тканин на забруднюваність матеріалів

Вид забруднення	Забрудненість, %							
	Льон		Бавовна		Капрон тканина		Капрон трикотаж	
	апрет.	деапрет.	апрет.	деапрет.	апрет.	деапрет.	апрет.	деапрет.
Пил	6,5	12,8	13,5	36,5	2,1	5,1	11,3	23,2
Кава	42,4	43,6	38,5	41,7	8,2	10,1	27,8	30,5
Чай	21,7	45,7	29,2	38,5	6,2	7,1	21,6	23,2
Какао	29,3	48,9	36,5	42,7	6,2	9,1	22,7	33,7
Кетчуп	13,6	16,0	14,6	16,7	2,1	7,1	9,3	12,6
Сік яблучно-виноградний (білий)	2,2	7,4	2,1	6,3	1,0	5,1	5,3	10,5
Сік яблучно-виноградний (червоний)	33,7	40,4	28,1	40,6	5,2	7,1	22,7	27,4
Оливкова олія	2,2	4,3	1,1	5,1	1,0	5,1	3,1	6,3

З даних таблиці 2 видно, що зняття апрету призводить до більш швидкого забруднення матеріалів усіма досліджуваними забруднювачами. Це говорить про те, що апретування тканин (різні просочення тощо) зменшує здатність матеріалу забруднюватись, тобто вироби нові, що не піддавались пранню менше забруднюються.

Один і той самий матеріал забруднюється в різній мірі в залежності від виду забруднювача. Так лляна тканина найбільше забруднюється какао, чаєм, кавою; бавовняна – какао, кавою, червоним виноградно-яблучним соком, чаєм. Ці ж забруднення також впливають на матеріали з капрону, причому більше (майже в 2-3 рази) забруднюється трикотаж, що можна пояснити більш нещільною структурою.

Що стосується виду забруднювачів, то пилом найбільше забруднюється бавовняна тканина, кавою – лляна, чаєм – лляна, какао – лляна та бавовняна, кетчупом – в однаковій мірі і лляна, і бавовняна, соком виноградно-яблучним (особливо червоним) забруднюються більше льон та бавовна, суспензією оливкової олії – поліамідні матеріали (і тканина, і трикотаж). Це можна пояснити великою спорідненістю водних розчинів забруднювачів до гігроскопічних тканин – льону та бавовни.

Для визначення впливу структури (щільності) матеріалу на здатність забруднюватись із зразків вихідних тканин (після зняття апрету) витягували нитки для зменшення щільності. Після цього зразки витримували в досліджуваних забруднювачах, висушували та визначали забруднюваність. Одержані експериментальні дані представлені на рис. 1–6.

Дані з рис. 1 свідчать, що для бавовняної тканини зміна щільності від 190 ниток на 10 см до 220 ниток на 10 см приводить до зменшення забруднюваності на 5–7 %, подальше зростання щільності вже практично не впливає на забруднюваність при використанні всіх забруднювачів. Із забруднювачів, найбільший вплив виявляє какао, найменший – оливкова олія.

З рисунка 2 видно, що для лляної тканини зміна щільності від 150 до 200 ниток на 10 см, незначно впливає на забруднюваність при дії всіх забруднювачів. Самі забруднювачі поводять себе по різному. Найбільший вплив при зміні структури виявляє кава, какао, найменший – білий виноградно-яблучний сік та оливкова олія.

У випадку з лляною і бавовняною тканинами вплив какао можна пояснити комплексом діючих забруднювачів (порошок дисперсний какао, молоко – білок, цукор), що є водорозчинними і мають велику

спорідненість до волокон льону і бавовни. Оливкова олія (точніше емульсія оливкової олії в воді) має дуже малу спорідненість до цих волокон, тому й забруднює їх в меншій мірі.

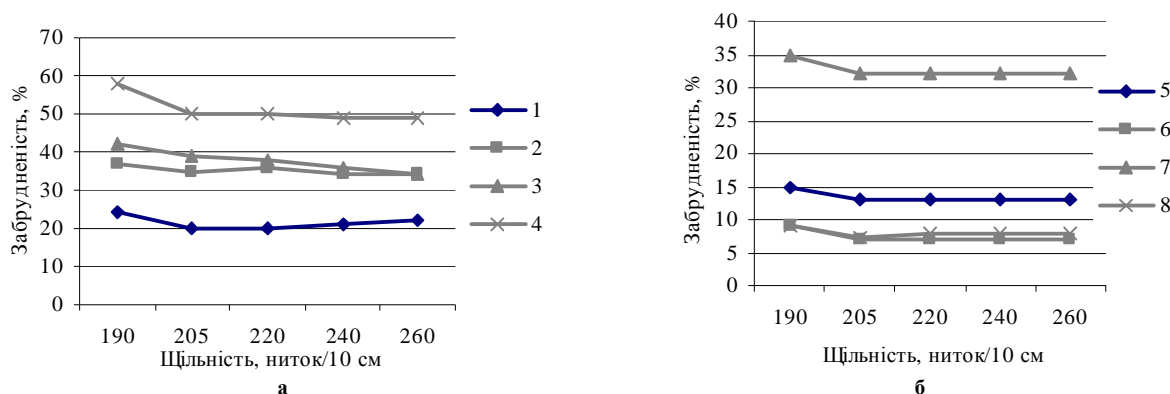


Рис. 1. Вплив структури бавовняної тканини на забрудненість пилом (1), кавою (2), часм (3) та какао (4) – (А), кетчупом (5), соком виноградно-яблучним (білим) (6), соком виноградно-яблучним (червоним) (7) та оливковою олією (8) – (Б)

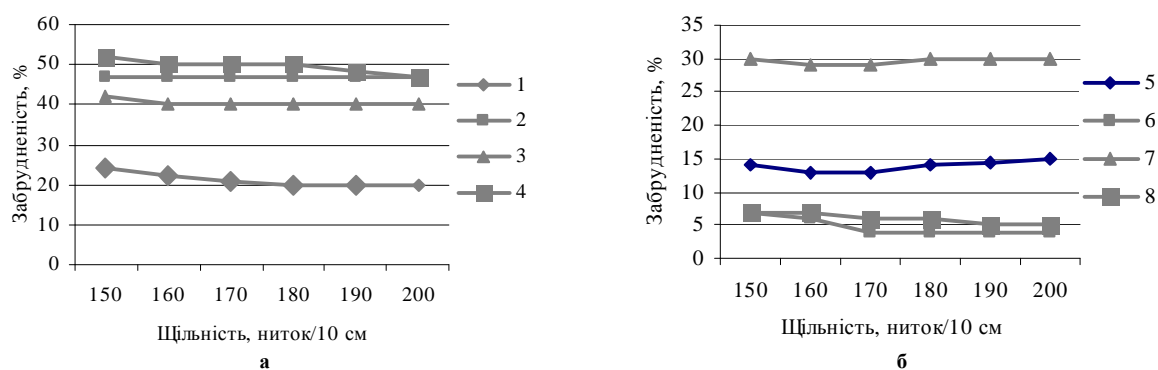


Рис. 2. Вплив структури льняної тканини на забрудненість пилом (1), кавою (2), часм (3) та какао (4) – (А), кетчупом (5), соком виноградно-яблучним (білим) (6), соком виноградно-яблучним (червоним) (7) та оливковою олією (8) – (Б)

На рисунку 3 представлено вплив структури поліамідної тканини на забруднюваність її різними забруднювачами

Капрон – поліамідна синтетична тканина, що володіє невеликою гідрофільністю, має меншу спорідненість до водних розчинів забруднювачів і тому забруднюється в значно меншій мірі, ніж гідрофільні бавовна та лля. При збільшенні щільності тканин у випадку забруднювачів какао та пилу (водна суспензія) відбувається деяке зменшення забруднюваності. При дії інших забруднювачів зміна структури поліамідної тканини практично не впливає на забруднюваність.

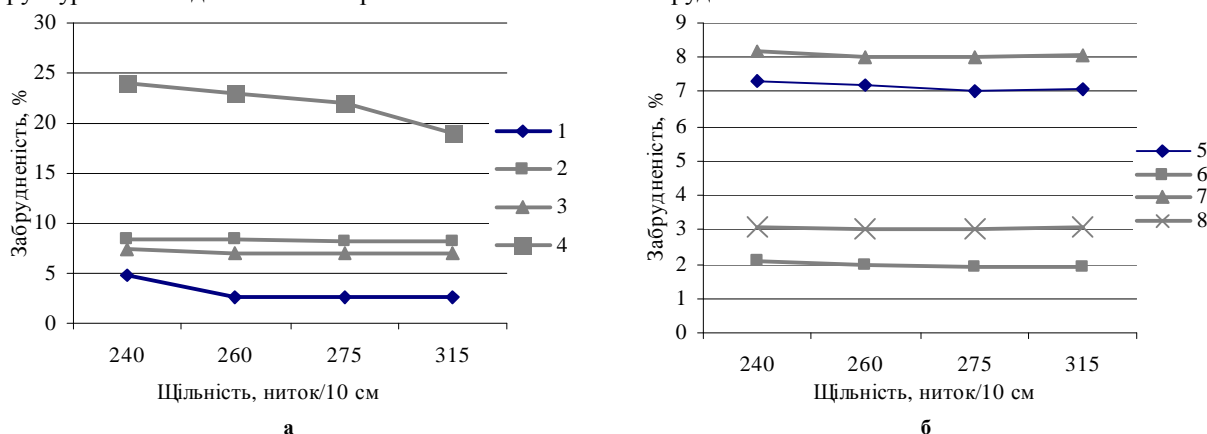


Рис. 3. Вплив структури поліамідної тканини на забрудненість пилом (1), кавою (2), часм (3) та какао (4) – (А), кетчупом (5), соком виноградно-яблучним (білим) (6), соком виноградно-яблучним (червоним) (7) та оливковою олією (8) – (Б)

Отже, всі досліджувані тканини виготовлені полотняним переплетенням, є досить щільними, тому очевидно, в межах розрідження тканин, вплив щільності не виявив великих змін в забруднюваності.

Для дослідження впливу концентрації забруднювача на забруднюваність матеріалів готували розчини забруднювачів різних концентрацій. Забруднювання матеріалів здійснювали за температури використання забруднювачів під час експлуатації виробів.

На рис. 4 показано вплив концентрації какао на забруднюваність всіх досліджуваних матеріалів.

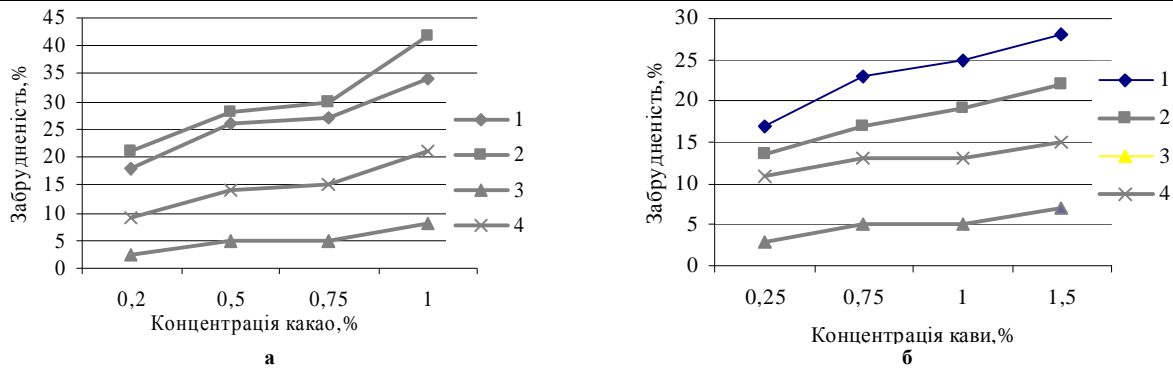


Рис. 4. Вплив концентрації какао (А) та кави (Б) на забрудненість тканин: льону (1), бавовни (2), капрону (3) та трикотажу з капрону (4)

З рисунку 4 слідує, що підвищення концентрації забруднювача як какао, так і кави в ванні призводить до збільшення кількості забруднення на матеріалах. Найбільше забруднюється при цьому бавовняна тканина. Трохи менша забрудненість (хоч також висока) у льняної тканини. Поліамідні матеріали (тканина і трикотаж) забруднюються менше, особливо тканина, що можна пояснити їх меншою спорідненістю до розчину забруднювача, а тканини – ще й високою щільністю структури. Аналогічну картину можна спостерігати і при зміні концентрації розчину чаю (рисунки 5 А): більшого забруднення набуває льняна тканина, хоча різниця між забрудненням льняної і бавовняної тканини складає 2–3 %, тобто вони забруднюються практично однаково, як і при зміні концентрації кави.

Зміна концентрації олії в емульсії (рисунки 5 Б) також призводить до зміни забруднюваності досліджуваних матеріалів. Сам процес забруднення проходить по-різному. Для льняної тканини та бавовняної від концентрації 1 % олії в емульсії до 2 % відбувається деяке підвищення забруднюваності, а підвищення забруднювача до 2,5 % призводить до збільшення кількості забруднення на льняній тканині та не впливає на забрудненість бавовняної.

Що стосується поліамідних (капронових) тканини і трикотажу, то вони в силу меншої своєї гідрофільності та гідрофобності олії повинні забруднюватись більше, ніж гідрофільні льон та бавовна, але вони забруднюються менше. Це очевидно, можна пояснити дуже великою щільністю і гладкістю поліамідних матеріалів, в результаті чого емульсія має меншу змогу проникнути в структуру тканини та трикотажу і забруднити їх.

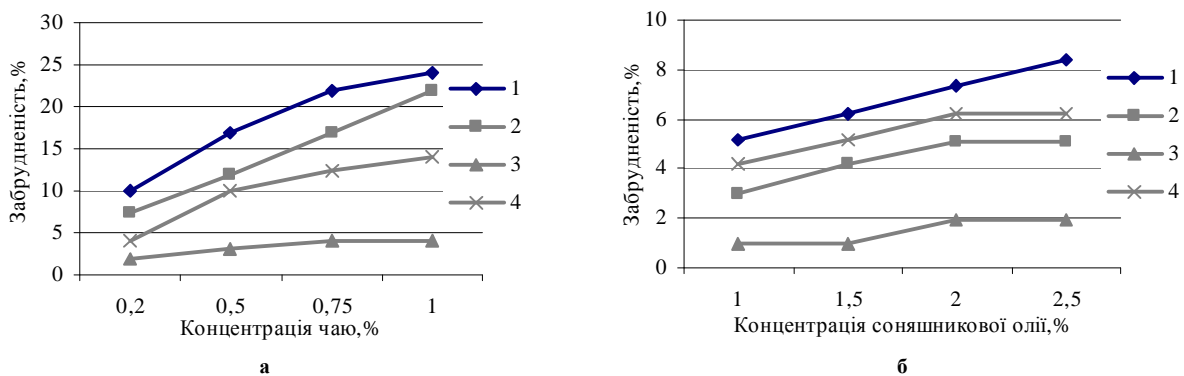


Рис. 5. Вплив концентрації чаю (А) та соняшникової олії (Б) на забрудненість тканин: льону (1), бавовни (2), капрону (3) та трикотажу з капрону (4)

Висновки

Проведені експериментальні дослідження щодо впливу наявності чи відсутності апрету на матеріалах, а також структури матеріалів на їх здатність забруднюватись різними видами побутових забруднень дають можливість зробити висновки:

- зняття апрету приводить до більш швидкого забруднення текстильних матеріалів: і тканин, і трикотажу;
- підвищення концентрації забруднювача проводить до збільшення кількості забруднення на матеріалах;
- зміна щільності тканин в досліджуваних межах практично не впливає на забруднюваність, хоча в деяких випадках видно, що чим більша щільність, тим більше забруднюється тканина.

Література

1. Брюхова І.Г. Технологія обробки виробів на підприємствах служби сервісу : [навчальний посібник] / Брюхова Г.І., Степанова Л.С., Тарасова Г.І. – Львів : Новий світ_2000, 2008. – 230 с.

2. Федорова А.Ф. Технология химической чистки и крашения одежды : [учеб. для вузов] / Федорова А.Ф. – М. : Легкая индустрия, 1973. – 304 с.

3. Справочная книга мастера прачечного производства / [Ф.П. Бельфер, В.П. Буданов, В.П. Ильин, Е.И. Лихтцер и др.]. – М. : Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 256 с.

Рецензент: проф. Мандзюк І.А.
Надійшла 15.2.2012 р.

УДК 677.862.52

Д.Г. САРИБЕКОВА
Херсонский национальный технический университет

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОТДЕЛОЧНЫХ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ КИСЛОТОЗАЩИТНОЙ ОТДЕЛКИ

У статті наведені результати досліджень, присвячених теоретичному й експериментальному обґрунтуванню застосування гідрофобізуючих препаратів для надання текстильним матеріалам кислотозахисних властивостей.

The results of researches of theoretical and experimental substantiation of using waterproofing agents for giving acid-proof properties to textile materials.

Ключові слова: кислотозахисна обробка, гідрофобізатори, кислотонепроникність, целюлозовміщуючий текстильний матеріал.

Введение

Комплекс кислотозащитных свойств ткани после отделки включает такие показатели как кислотостойкость и кислотонепроницаемость. Оба этих показателя важны для эксплуатационной характеристики тканей. Однако эти показатели не являются взаимосвязанными: наличие эффекта кислотонепроницаемости, устойчивого к многократным мыльно-содовым обработкам, не гарантирует кислотостойкости текстильного материала.

Анализ предыдущих исследований и постановка проблемы

Анализ патентной и периодической литературы, посвященной процессам придания кислотозащитных свойств текстильным материалам, позволяет отметить, что не существует отдельного класса препаратов, предназначенных для кислотозащитной отделки, и для этой цели используют отдельные гидрофобизаторы [1]. Химическое соединение, предназначенное для придания волокнистым материалам гидрофобных свойств, должно включать в себя условно две части: активные группы, посредством которых гидрофобизатор присоединяется к волокну, и группы или цепочку с гидрофобными концами, способными образовывать на текстильных материалах сплошной застил, т.е. новую гидрофобную поверхность. Используемые гидрофобизирующие препараты отличаются по химической природе и типу радикала, ответственного за образование сплошного заслона, т.е. новой поверхности, экранирующей гидрофильные группы волокна от взаимодействия с молекулами воды. Концевые группы в составе отделочного препарата определяют поверхностную энергию субстрата, т.е. главного параметра, характеризующего устойчивость текстильного материала к смачиванию различными жидкостями.

Цели исследования

Целью исследования являлось теоретическое и экспериментальное обоснование выбора отделочных препаратов для придания кислотозащитных свойств текстильным материалам.

Объекты и методы исследований

В данной работе для выбора препаратов с целью придания кислотозащитных свойств текстильным материалам нами усовершенствована классическая классификация гидрофобизаторов: в зависимости от химического строения групп, образующих гидрофобную поверхность, препараты разделены на три группы вместо шести, то есть препараты 1-го – 4-го классов традиционной классификации объединены в один класс, поскольку они имеют одинаковые гидрофобные радикалы – остатки высших жирных кислот (табл. 1).

Для придания кислотозащитного эффекта текстильным материалам в данной работе были использованы промышленно-выпускаемые и получившие широкое практическое применение гидрофобизирующие препараты различной природы, отличающиеся по строению гидрофобного радикала.

Поскольку для заключительной отделки хлопчатобумажных тканей в настоящее время находят широкое применение препараты на основе высших жирных кислот и соли циркония [2], в работе использовались персистол Е и аквафоб ПСЦ (гидрофобный радикал $R - C_{17}H_{35}$).

Из ряда известных кремнийорганических препаратов были выбраны кремнийорганические эмульсии 136–157М, ГКЭ 50–94М, Н21637 и водорастворимый препарат ГКЖ–11К (гидрофобный радикал у всех перечисленных силиконовых веществ – $R - CH_3$).

Параллельно эксперимент осуществлялся с препаратами класса фторорганических соединений зарубежного производства: Олеофобол SL, Олеофобол С, Диполит 450, Диполит 481, Кратан ВГО, СКФ–32.

Для сопоставления полученных результатов использовали также известные полимерные препараты,

применяемые в процессах заключительной отделки, пленки которых потенциально обладают хемостойкостью: полиуретановый латекс, поливинилхлоридная и стирол-акриловая дисперсии.

Таблица 1

Предлагаемая классификация гидрофобизаторов

Класс гидрофобизаторов		
эмульсии парафина и восков с солями алюминия или циркония четвертичные аммониевые соединения, производные высших жирных кислот комплексные соединения хрома, алюминия с высшими жирными кислотами производные меламина или этиленмочевины, содержащие остатки высших жирных кислот	кремний- органические соединения	фторорганические соединения
Химическое строение гидрофобного радикала		
остаток жирной кислоты (C ₁₅₋₁₇)	-CH ₃ , -C ₂ H ₅ , -C ₆ H ₅ -CH=CH ₂	[(CF ₂) _n - CF ₃], где n > 6

Технологические условия кислотозащитной отделки были выбраны для каждой группы препаратов в соответствии с режимами, рекомендуемыми для гидрофобной отделки. Обработку текстильного материала проводили по следующей технологии: пропитка на двухвальной плюсовке с двойным погружением и двойным отжимом до остаточной влажности 80%, сушка при температуре 90 – 120 °С (в зависимости от препарата), термофиксация при температуре 150 °С 5 мин.

Качество гидрофобной отделки оценивали по показателям водопоглощения, %; водоупорности, Па (мм вод. ст.); водоотталкивания (дождевания), у.е. Критерием оценки кислотозащитных свойств являлся показатель кислотонепроницаемости. Согласно ГОСТ 11209 – 85 [3] ткань считается кислотозащитной, если капли, нанесенные на ткань, остаются на поверхности, не впитываясь в нее, в течение 6 часов.

Исследования проводились на следующих целлюлозосодержащих тканях: хлопчатобумажные арт. ОВО129-ХЕ (Херсонский ХБК) и арт. 5014 (АОЗТ «Черкасский шелковый комбинат»), хлопколавсановые (53 : 47) – арт. 2811 и арт. 2701 (АОЗТ «Черкасский шелковый комбинат»).

Результаты исследований и их обсуждение

Данные, характеризующие влияние отделочных составов на основе парафино-стеариновой эмульсии на кислотозащитные свойства, сообщаемые целлюлозосодержащим текстильным материалам, представлены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние отделочных составов на кислотонепроницаемость целлюлозосодержащих тканей

Препарат, концентрация, г/л	Водопогло- щение, %	Водоупорно- сть, Па (мм вод.ст.)	Водооттал- кивание, у.е.	Наличие кислото- отталкивающе- го эффекта	Наблюдения
Хлопколавсановая ткань, арт. 2701					
Персистол Е, 100	20,4	2156 (220)	75	нет	Капли 20%, 50% H ₂ SO ₄ находились на поверхности около 10 – 15 минут
Аквафоб ПСЦ, 100	20,0	2450 (250)	80	нет	
Хлопчатобумажная ткань, арт. ОВО129-ХЕ					
Персистол Е, 100	29,6	2352 (240)	85	нет	Капли 20%, 50% H ₂ SO ₄ находились на поверхности около 5 – 7 минут
Аквафоб ПСЦ, 80	28,4	2744 (280)	90	нет	

Анализ данных (табл. 2) показывает, что при использовании гидрофобизирующих препаратов на основе высших жирных кислот с солью циркония не существует прямой связи между эффективностью гидрофобизации и кислотонепроницаемостью. Это, прежде всего, касается коррелирующих, на первый взгляд, показателей, оцениваемых визуально: показателя водоотталкивания при испытании дождеванием и показателя кислотоотталкивания, определяемого при нанесении капель кислоты на текстильный материал. Например, хлопколавсановая и хлопчатобумажная ткани, обработанные препаратами на основе высших жирных кислот и соли циркония (персистол Е и аквафоб ПСЦ, гидрофобный радикал R – C₁₇H₃₅), характеризуются высоким показателем водоотталкивания – 80 – 90 у.е., также как и значительной водоупорностью и низким водопоглощением [2], однако совершенно не обладают кислотозащитным эффектом (кислота проходит в толщу текстильного материала за 5 – 15 мин).

Данные, характеризующие влияние отделочных составов на основе кремнийорганических препаратов на кислотозащитные свойства, сообщаемые целлюлозосодержащим текстильным материалам, представлены в табл. 3.

Влияние отделочных составов на основе кремнийорганических соединений на кислотонепроницаемость целлюлозосодержащих тканей

Отделочный состав, концентрация, г/л	Водопоглощение, %	Водоупорность, Па (мм вод.ст)	Водоотталкивание, у.е.	Наличие кислотоотталкивающего эффекта	Наблюдения
Хлопколавсановая ткань, арт. 2701					
КЭ 136–157М, 60	39,5	1568 (160)	70	нет	Капли 20%, 50% H ₂ SO ₄ находились на поверх. 10–15 минут
ГКЭ 50–94М, 60	35,0	1274 (130)	60	нет	
КЭ 136–157М : катализатор, 60:10	19,0	2058 (210)	90+	да	Капли 20%, 50% H ₂ SO ₄ находились на поверхности 6 часов (требование ГОСТ) и более
ГКЭ 50–94М: катализатор, 60:10	19,0	1960 (200)	75 – 80	да	
Эмульсия Н21637, 60	29,9	1470 (150)	65 – 70	да	
ГКЖ–11К, 60	31,0	2107 (215)	65 – 70	да	
Хлопчатобумажная ткань, арт. 5014					
КЭ 136–157М, 60	43,0	1715 (175)	50 – 60	нет	Капли 20%, 50% H ₂ SO ₄ находились на поверхности 2 – 7 мин
ГКЭ 50–94М, 60	40,0	1666 (170)	50 – 60	нет	
КЭ 136–157М : катализатор, 60 : 10	33,4	2352 (240)	80+	да	Капли 20%, 50% H ₂ SO ₄ находились на поверхности 6 часов (требование ГОСТ) и более
ГКЭ 50–94М : катализатор, 60 : 10	33,0	2254 (230)	80	да	
Эмульсия Н21637, 60	36,7	1764 (180)	70	да	
ГКЖ–11К, 60	45,0	3430 (350)	70	да	

Анализ данных, представленных в табл. 3, свидетельствует о том, что обработка текстильных материалов кремнийорганическими препаратами, как индивидуально (ГКЖ–11К, Н21637), так и с катализатором (КЭ 136–157М, ГКЭ 50–94М), обеспечивает наличие кислотоотталкивающего эффекта практически по всем вариантам отделки. Отсутствие эффекта кислотонепроницаемости тканей, обработанных эмульсией ГКЭ 50–94М и жидкостью 136–157М индивидуально (позиции 1 и 2), можно объяснить недостаточной ориентацией гидрофобных радикалов (алкильных звеньев) от поверхности волокна в окружающую среду.

Известно, что в результате конденсации полиметилгидросилоксана происходит формирование эластичной, прочной, гидрофобной полимерной пленки сложного строения [4]. В присутствии катализатора происходит ориентация метильных радикалов в сторону от волокна, а подвижные атомы водорода замещаются кислородом гидроксильной группы целлюлозных волокон [5]. Используемое в качестве катализатора комплексное соединение циркония в условиях проведения реакции полимеризации силиконов на волокне прочно фиксируется целлюлозой и образует координационные связи с атомами кислорода силоксановой цепи. Вследствие этого усиливается эффект наружной ориентации алкильных остатков в образующейся на поверхности волокна гидрофобной пленке полимера. Это подтверждается экспериментальными данными по гидрофобной отделке, приведенными в [6 – 8]. Так, например, хлопколавсановая ткань, обработанная эмульсией 136–157М индивидуально, характеризуется следующими показателями гидрофобности: водопоглощение – 39,5%, водоупорность – 1568 Па, водоотталкивание – 70 у.е. Введение катализатора приводит к повышению показателей водоупорности (2058 Па), водоотталкивания (90+ у.е.) и снижению водопоглощения (19,0%). Аналогичная зависимость получена при использовании эмульсии ГКЭ 50–94М как на хлопколавсановой, так и на хлопчатобумажной тканях.

Анализ данных (табл. 3), характеризующих наличие кислотозащитного эффекта на тканях после отделки, показывает, что введение катализатора в составы на основе вышеуказанных кремнийорганических препаратов способствует более полной ориентации гидрофобных радикалов на поверхности ткани, улучшая не только ее гидрофобные свойства, но и кислотозащитные, в результате создания сплошного заслона, обеспечивающего защиту от воздействия водных растворов кислот.

Экспериментальные данные, характеризующие влияние отделочных составов на основе фторорганических препаратов на кислотозащитные свойства, сообщаемые целлюлозосодержащим текстильным материалам, представлены в табл. 4.

Анализируя данные табл. 4, можно отметить, что положительный эффект кислотонепроницаемости был получен при использовании большинства исследуемых фторсодержащих препаратов, за исключением СКФ–32. Причина этого, на наш взгляд, заключается в химическом строении препарата. Согласно литературным данным [1]; хорошие защитные свойства проявляют фторорганические препараты, содержащие цепочку следующего строения $[CF_3 - (CF_2)_n]$, где $n > 6$, то есть оптимальными свойствами обладает смола, содержащая перфторалкильный остаток с минимум шестью углеродными атомами и концевой трифторметильной группой. Известно, что замена только одного атома фтора на водород в группе $-CF_3$ перфторированных соединений резко повышает их поверхностное натяжение и снижает защитные свойства, т.е. наличие водорода нарушает стойкость защитного покрытия из фторуглеродных групп. Многие

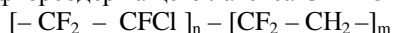
исследователи утверждают, что для максимально эффективной отделки текстильных материалов целесообразно применять фторуглероды, обязательно содержащие группы $-\text{CF}_3$.

Таблица 4

Влияние отделочных составов на основе фторорганических соединений на кислотонепроницаемость целлюлозосодержащих тканей

Препарат, концентрация, г/л	Водопоглощение, %	Водоупорность, Па (мм вод. ст.)	Водоотталкивание, у.е.	Наличие кислотоотталкивающего эффекта	Наблюдения
Хлопколавансановая ткань, арт. 2701, арт. 2811					
СКФ–32, 60	30,2	1764 (180)	70	нет	Капли 20%, 50% H_2SO_4 находились на поверхности около 10 – 15 мин.
Олеофобол SL, 50	13,8	1960 (200)	90+	да	Капли 20%, 50% H_2SO_4 находились на поверхности 6 часов (требование ГОСТ) и более
Олеофобол С, 50	16,1	1960 (200)	90+	да	
Диполит 450, 30	18,1	1960 (200)	90+	да	
Диполит 481, 20	24,5	1960 (200)	90+	да	
Кратан ВГО, 50	19,5	1960 (200)	80+	да	
Хлопчатобумажная ткань, арт. 5014					
СКФ–32, 60	37,0	1960 (200)	70	нет	Капли 20%, 50% H_2SO_4 находились на поверхности около 2 – 7 минут
Олеофобол SL, 50	24,8	2156 (220)	90	да	Капли 20%, 50% H_2SO_4 находились на поверхности 6 часов (требование ГОСТ) и более
Олеофобол С, 50	26,0	2156 (220)	90	да	
Диполит 450, 30	24,1	2156 (220)	90	да	
Диполит 481, 20	34,5	2156 (220)	90	да	
Кратан ВГО, 50	29,5	2156 (220)	80	да	

Так, в строении макромолекулы фторсодержащего латекса СКФ–32



отсутствуют необходимые концевые группы $-\text{CF}_3$, возможно, вследствие этого кислотозащитный эффект при обработке текстильного материала указанным препаратом отсутствует. Как было показано выше, вторым необходимым условием для получения защитного эффекта на ткани является наличие в макромолекуле групп или цепочки с гидрофобными концами, которые способны образовывать сплошной застил, т.е. новую гидрофобную поверхность. Однако следует отметить, что макромолекула латекса СКФ–32 имеет линейное строение, т.е. отсутствуют фторированные углеводородные радикалы, которые способны ориентироваться перпендикулярно поверхности, образуя пространственную структуру типа «щетки».

Полученные нами экспериментальные данные согласуются с результатами авторов [9] о том, что латекс СКФ–460, несмотря на высокую концентрацию его в пропиточном растворе и на ткани (содержание фторполимера на ткани достигает 6 – 8%), в сравнении другими фторсодержащими препаратами не обладает способностью придавать тканям кислотозащитные свойства.

Таким образом, сопоставление препаратов из трех классов гидрофобизирующих веществ предлагаемой классификации, различающихся химическим строением групп, которые образуют гидрофобную поверхность ($\text{C}_{17}\text{H}_{35}$; CH_3 ; CF_3), показало, что они в различной степени придают эффект кислотонепроницаемости текстильным материалам, и природа гидрофобного радикала оказывает значительное влияние на кислотозащитный эффект. Полученные экспериментальные данные можно объяснить с позиций теоретических основ процесса смачивания, обусловленного величиной поверхностного натяжения используемых соединений, содержащих в алифатической цепочке различные группировки. Известно, что строение гидрофобного радикала оказывает значительное влияние на поверхностное натяжение полимера и обработанной им поверхности [1]. Так, поверхностное натяжение веществ с разными органическими радикалами различно: например, радикал $-\text{CF}_3$ характеризуется самой низкой поверхностной энергией из всех известных соединений – 6 – 8 мН/м; $-\text{CH}_3$ – 20 – 22 мН/м; а для радикалов $-\text{C}_{17}\text{H}_{35}$ поверхностная энергия может достигать 35 мН/м.

Таким образом, исходя из вышеприведенных экспериментальных данных, можно сделать заключение, что величина поверхностного натяжения не является единственным определяющим фактором, обуславливающим придание кислотозащитных свойств. Поскольку, несмотря на то, что максимальная величина поверхностного натяжения полимеров, содержащих фторуглеродные радикалы (12 – 14 мН/м), ниже минимальной величины поверхностного натяжения углеводородных радикалов силиконов (20 – 22 мН/м), ткань, обработанная кремнийорганическими препаратами, характеризуется наличием кислотозащитного эффекта, в то время как у ткани, отделанной латексом СКФ–32, эффект отсутствует.

Экспериментальные данные, характеризующие влияние отделочных составов на основе полимерных препаратов, применяемых в процессах заключительной отделки, пленки которых потенциально обладают хемостойкостью (полиуретановый латекс, поливинилхлоридная и стирол-акриловая дисперсии), на кислотозащитные свойства, сообщаемые хлопчатобумажному текстильному материалу, представлены в табл. 5.

Таблица 5

Влияние полимерных отделочных составов на кислотонепроницаемость хлопчатобумажной ткани

Отделочный состав, концентрация, г/л	Наличие кислотоотталкивающего эффекта		Наблюдения
	на полимерной пленке	на ткани	
ПУ латекс Аквапол-11, 50	да	нет	Капли 20%, 50% H ₂ SO ₄ находились на поверх. ткани около 5 мин.
ПВХ, 50, 100, 200	да	нет	
Стирол-акриловая дисперсия, 100	да	нет	Капли 20%, 50% H ₂ SO ₄ находились на поверх. ткани 20-30 минут

Анализ полученных результатов показывает (табл. 5), что используемые в данной работе полимерные отделочные препараты (полиуретановый латекс, поливинилхлоридная и стирол-акриловая дисперсии) не обеспечивают кислотозащитного эффекта, несмотря на то, что пленки из указанных веществ, сформированные на стеклянной подложке, характеризуются кислотоотталкиванием (капля 50% серной кислоты остается на поверхности, не проникая в глубину пленки) и кислотостойкостью.

Выводы

Согласно полученным экспериментальным данным можно сделать вывод, что при выборе отделочных препаратов для кислотозащитной отделки решающее значение имеет химическое строение гидрофобного радикала, то есть не все гидрофобизирующие отделочные препараты могут быть рекомендованы непосредственно для кислотозащитной отделки. Установлено, что величина поверхностного натяжения не является единственным определяющим фактором, обуславливающим обеспечение кислотозащитных свойств. Кроме того, исследование некоторых отделочных полимерных препаратов показало, что, несмотря на изначальную кислотостойкость полимера, они не могут быть использованы в качестве отделочных препаратов для кислотозащитной отделки, поскольку молекула полимера не содержит гидрофобных групп или радикалов, обеспечивающих образование новой поверхности на волокне.

Литература

1. Кричевский Г.Е. Химическая технология текстильных материалов : [учеб. для вузов в 3-х т.]. – М., 2001. – Т. 3. – 298 с.
2. Сарибекова Д.Г. Применение нового препарата Аквафоб – ПСЦ для гидрофобной отделки текстильных материалов / Сарибекова Д.Г., Кулигин М.Л., Бирюков С.Н. // Вестник Херсонского государственного технического университета. – 2002. – № 3 (16). – С. 72–76.
3. ГОСТ 11209 – 85. Ткани хлопчатобумажные и смешанные для спецодежды. Технические условия. – М.: Из-во стандартов, 1985. – 14 с.
4. Вельцин О. О силиконах и их применении в отделке текстильных изделий / О. Вельцин, Г. Хаушильд. – М.: Гизлегпром, 1958. – 90 с.
5. Орлов Н.Ф., Андросова М.В., Введенский Н.В. Кремнийорганические соединения в текстильной и легкой промышленности : [монография] / Орлов Н.Ф., Андросова М.В., Введенский Н.В. – М.: Легкая индустрия, 1966. – 240 с.
6. Ткачук О.Л. Совершенствование гидрофобной отделки хлопчатобумажной ткани на основе применения алкилсиликоната калия / О.Л. Ткачук, Д.Г. Сарибекова // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. – 2006. – № 1 (11). – С. 105–108.
7. Сарибекова Д.Г. Надання гідрофобних властивостей текстильним матеріалам фтор- та кремнійорганічними емульсіями / Д.Г. Сарибекова, В.В. Задорожний, О.Л. Ткачук // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2006. – № 3. – С. 80–84.
8. Сарибекова Д.Г. Придание водоотталкивающих свойств целлюлозосодержащим текстильным материалам кремнийорганическими эмульсиями / Д.Г. Сарибекова, В.В. Задорожний // Вестник Хмельницкого национального университета. – 2006. – № 4. – С. 225–230.
9. Овсянкина В.Н. Шерстяные ткани для производственной одежды / В.Н. Овсянкина, Т.М. Александрова // Текстильная промышленность. – 1974. – № 10. – С. 67–68.

Рецензент: д.т.н. Валько Н.И.
Надійшла 13.2.2012 р.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИНТЕНСИФИКАТОРОВ НА ПРОЦЕСС ГИДРОЛИЗА АКТИВНЫХ КРАСИТЕЛЕЙ

У статті розглянуто вплив інтенсифікаторів на процес гідролізу при фарбуванні бавовняних текстильних матеріалів активними барвниками. Встановлено, що введення до фарбувального складу досліджуваних інтенсифікуючих агентів сприяє зменшенню кількості гідролізованої форми барвника у розчині.

In the article influence of the intensification agents on the process of hydrolysis in a dyeing of cotton textile materials is considered by active dyes. It is established that the introduction to dyeing of the investigated intensification agents promotes to reduce the number of hydrolysed dye in the solution form.

Ключові слова: фарбування, активні барвники, гідроліз.

Введение. Среди большого ассортимента красителей особое место занимают активные красители, которые применяются для получения текстильных материалов с высокой устойчивостью к физико-механическим и физико-химическим воздействиям. Одним из перспективных направлений в области крашения является ресурсосбережение на всех этапах красильного производства при максимальном сохранении качества готовой продукции. Анализ научно-технической информации и рынка свидетельствует о необходимости повышения рационального использования красителей путем интенсификации процесса крашения, а также системы расходов на энерго- и водные ресурсы.

Постановка задания. В связи с этим возникает необходимость в химической интенсификации процесса крашения, что позволит не только снизить расход красителя, но и минимизировать выход стоков с большим содержанием красящих веществ.

Процесс колорирования текстильных материалов может осуществляться не только регулированием технологических параметров, но и подбором текстильно-вспомогательных веществ, которые используются для ускорения технологических процессов и повышения качества текстильных материалов, с целью снижения количества красителей, реагентов, тепловой и электрической энергий. Компоненты красильного состава оказывают значительное влияние на протекание основной реакции красителя с волокном, и побочной – с водой.

Исследователями установлено, что интенсификаторами процессов крашения могут быть одно- и многоатомные спирты, бензиловый спирт, хлорированные углеводороды. Смирновой О.К. и Блиничевой И.Б. показано, что ароматические спирты, в отличие от хлорированных углеводородов, способны сольватировать также и активные красители [1–3]. Ассоциация молекул активных красителей в ароматических спиртах практически отсутствует, или значительно ниже, сравнительно с хлорированными углеводородами [3, 4].

Исследования, проведенные Попиковым И.В. и Люцем В.Р., показали, что введение в хлорированные углеводороды сильнополярного растворителя или алифатического спирта способствует повышению растворимости активных красителей с образованием мономолекулярных растворов [4, 5].

Следует отметить также положительное влияние некоторых органических растворителей на состояние активных красителей. При замене насыщенного водяного пара парами кипящих азеотропных смесей: бензиловый спирт – вода и анизол – вода, – скорость диффузии активных красителей увеличивается в 1,2–1,5 раза, и значительно уменьшается содержание гидролизованной формы красителя на ткани, после фиксирующей обработки. При этом обеспечивается более полное использование активных красителей с высокой устойчивостью окрасок тканей к физико-химическим и физико-механическим воздействиям.

Гидролиз при периодическом двухстадийном способе крашения целлюлозных волокон на первой стадии в нейтральной среде практически не происходит, что наблюдается также и в случае высокореакционных красителей. На второй стадии крашения, когда в красильный раствор вводится щелочной агент, гидролиз красителя усиливается. При этом следует учесть, что активная форма красителя на этой стадии крашения будет находиться и в растворе, и в волокне, а также во внутреннем растворе внутри волокна и сорбированном состоянии.

Теоретически гидролиз красителя может протекать в двух фазах. Однако, наибольшая скорость гидролиза будет в растворе, где протекает гомогенная реакция. Несорбированный краситель, находящийся во внутреннем растворе волокна, будет гидролизоваться с различной скоростью, чем краситель в растворе, поскольку при этом концентрации красящего вещества значительно отличаются зависимо от сродства красителя к волокну [1, 2].

Результаты исследований. В исследованиях использовали хлопчатобумажную ткань. Крашение осуществляли активным красителем Sumifix Supra Brilliant Red 3BF периодическим способом, при температуре 60°C. Красильный раствор в качестве электролита содержал натрий хлорид и в качестве щелочного агента – натрий карбонат. Длительность процесса составляла 90 минут. После крашения ткань подвергали промывке и сушке. С целью интенсификации процесса использовали интенсификаторы органической природы.

Для количественного определения содержания гидролизованного красителя использовали метод бумажной восходящей хроматографии. Растворы наносили с помощью микробюретки объёмом 0,1 мл на стартовую линию хроматограммы. Хроматограмму помещали в хроматографический сосуд, с использованием элюентной смеси: ДМФА, бутанол, вода в соотношении 3:11:11. Проявление хроматограммы происходит в течение 8–24 часов. После проявления, окрашенные зоны экстрагировали в растворе ПАВ. Полученные растворы колориметрировали. Концентрацию гидролизованного красителя определяли по калибровочным графикам.

Результаты исследований, полученные при использовании в качестве интенсификаторов органических спиртов (рис. 1), свидетельствуют о повышении содержания активной формы красителя в растворе. Так, введение интенсифицирующих агентов на 45-й минуте крашения обеспечивает снижение степени гидролиза от 4% до 13%. На 90-й минуте процесса в красильном растворе при действии спиртов S.1, S.2. наблюдается снижение степени гидролиза практически на 12–13%.

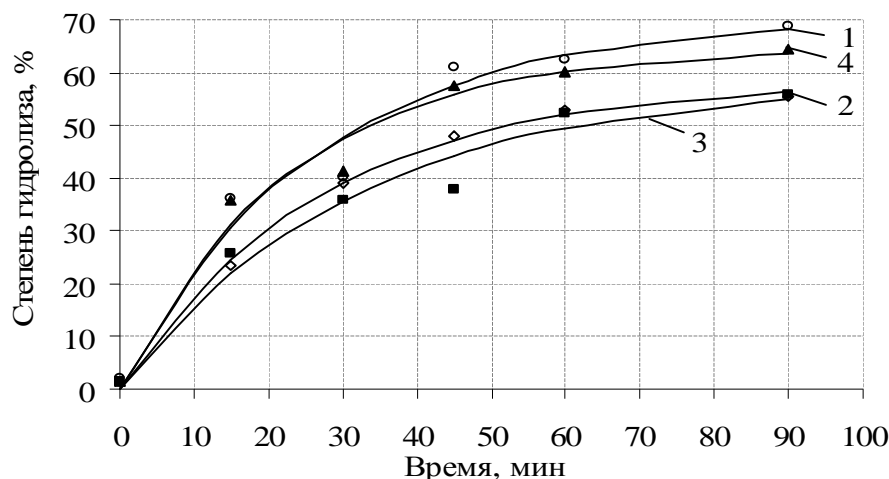


Рис. 1. Кинетика изменения содержания в растворах гидролизованной формы активного красителя Sumifix Supra Brilliant Red 3BF при температуре 60°C: 1 – без интенсификатора; 2 – S.1, 3 – S.2, 4 – S.3

На рис. 2 представлены полученные данные, при использовании в качестве интенсификаторов азотсодержащих органических соединений. Установлено, что максимальное снижение гидролизованной формы активного красителя Sumifix Supra Brilliant Red 3BF достигается при интенсифицирующем действии соединения P.1 (на 14%).

Влияние органического растворителя R.1 и композиционного состава – V.1 представлено на рис. 3. Введение V.1 в состав красильного раствора обеспечивает наибольшее снижение содержания гидролизованной формы (на 23%).

Применение в качестве интенсификатора T.2. способствует повышению содержания активной формы красителя до 30% (рис. 4), что на 6% ниже по сравнению с использованием красильного раствора без интенсифицирующих добавок.

Действие поверхностно-активного вещества W.2 на процесс гидролиза исследуемого активного красителя практически незначительно (рис. 5).

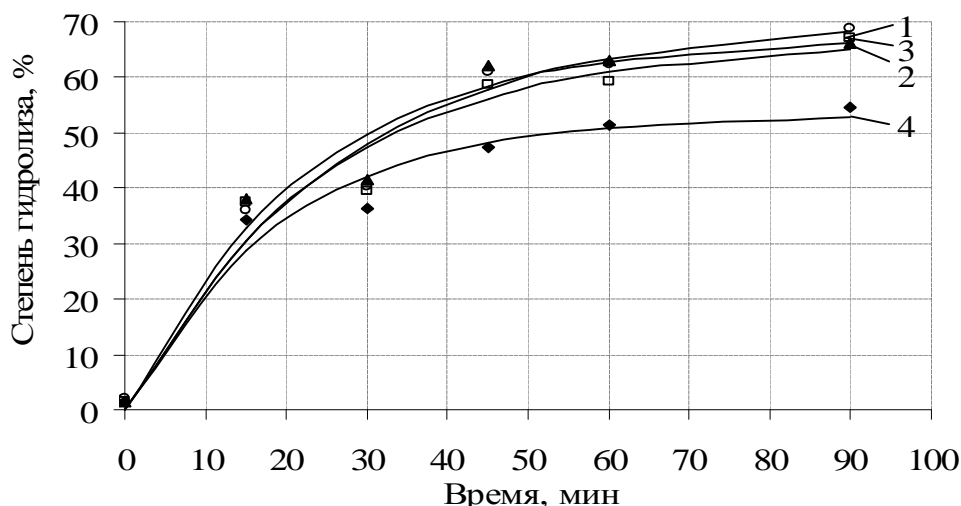


Рис. 2. Кинетика изменения содержания в растворах гидролизованной формы активного красителя Sumifix Supra Brilliant Red 3BF при температуре 60°C: 1 – без интенсификатора, 2 – A.1, 3 – B.1, 4 – P.1

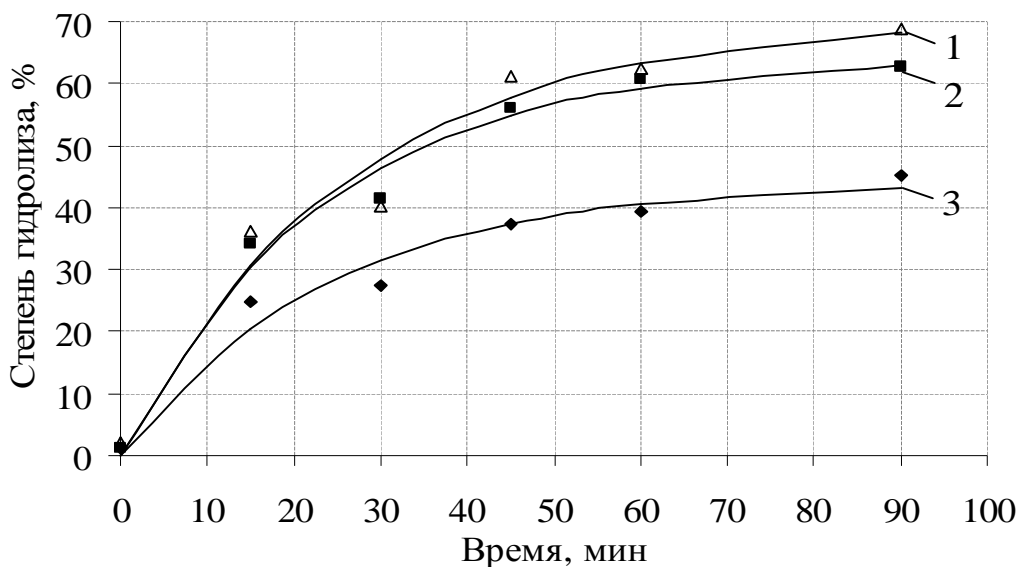


Рис. 3. Кинетика изменения содержания в растворах гидролизованной формы активного красителя Sumifix Supra Brilliant Red 3BF при температуре 60°C: 1 – без интенсификатора, 2–R.1, 3–V.1.

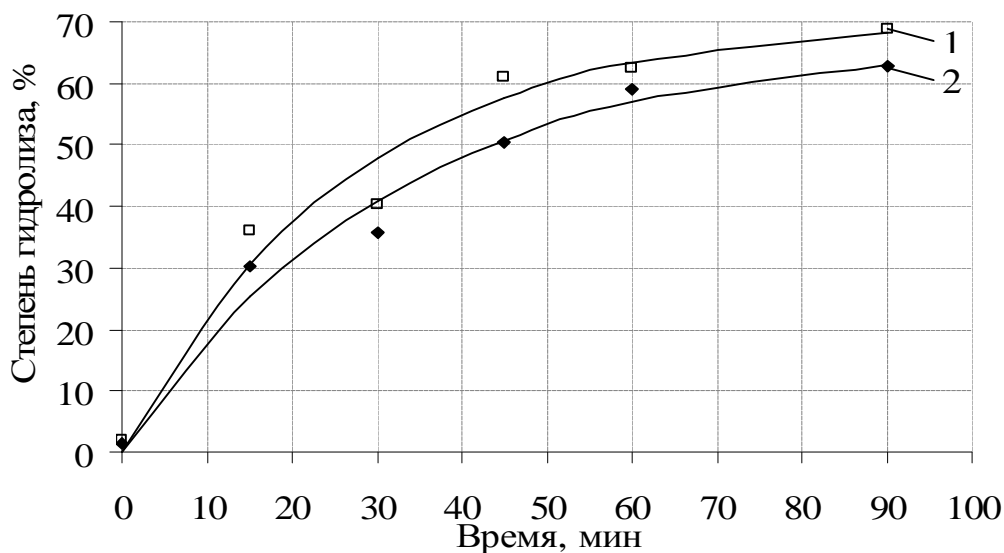


Рис. 4. Кинетика изменения содержания в растворах гидролизованной формы активного красителя Sumifix Supra Brilliant Red 3BF при температуре 60°C: 1–без интенсификатора; 2–Т.2

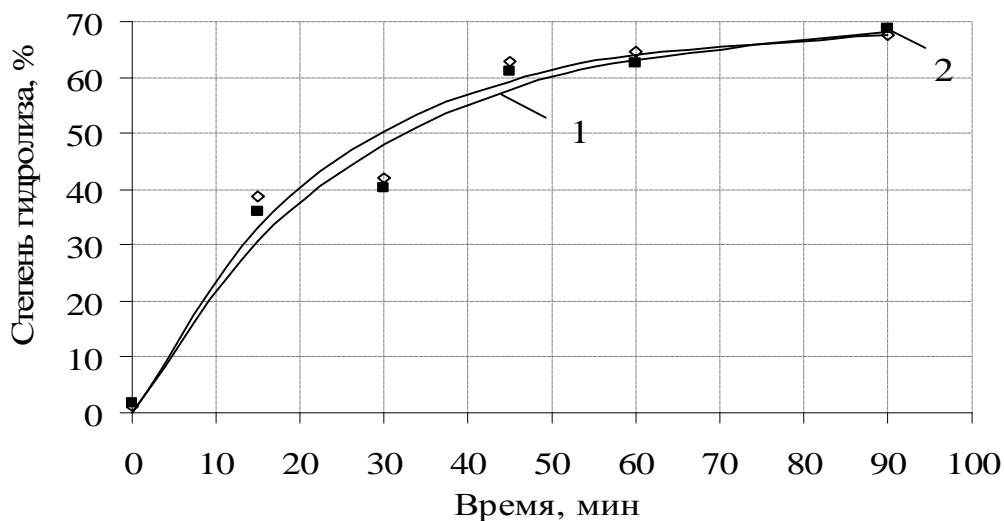


Рис. 5. Кинетика изменения содержания в растворах гидролизованной формы активного красителя Sumifix Supra Brilliant Red 3BF при температуре 60°C: 1 – без интенсификатора; 2–W.2

Вывод

Применение в качестве интенсификаторов органических соединений: S.3, S.1, S.2. R.1, V.1, B.1, A.1, P.1, – обеспечивает значительное снижение содержания гидролизованной формы активного красителя Sumifix Supra Brilliant Red 3BF в красильном растворе, и, как результат, способствует повышению ковалентной фиксации красителя на волокне.

Литература

1. Кричевский Г.Е. Физико-химические основы применения активных красителей / Кричевский Г.Е. – М. : Легкая индустрия, 1977. – 264 с.
2. Мельников Б.Н. Теория и практика интенсификации процесса крашения / Б.Н. Мельников, П.В. Морыганов. – М. : Легкая индустрия, 1969. – 272 с.
3. Смирнова О.К. Исследование влияния органических растворителей на состояние и сорбционную активность дисперсных и активных красителей / О.К. Смирнова, И.Б. Блиничева // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1982. – № 6. – С. 64–68.
4. Попиков И.В. Действие органических растворителей на дисперсные активные красители / И.В. Попиков, Г.Е. Кричевский, Т.Д. Литовченко // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1976. – № 1. – С. 96–100.
5. Люц В.Р. Исследование растворимости смолообразующих предконденсатов и активных красителей в органических растворителях / В.Р. Люц, И.Я. Калонтаров // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. – 1975. – № 4. – С. 78–81.

Рецензент: д.т.н. Сарибеков Г.С.
Надійшла 4.2.2012 р.

УДК 687.17:620.17

Н.П. СУПРУН, О.В. СМАЧИЛО, Г.В. ТАРАСЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

ВИЗНАЧЕННЯ ТА ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ КОМФОРТНОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ПІДКЛАДКИ ДЛЯ ВЗУТТЯ

В роботі визначався вплив зволоження матеріалів підкладки взуття на зміну коефіцієнту тангенціального опору, а також можливість покращення біоцидних властивостей цих матеріалів.

In this paper we determined the impact dampening material lining shoes to change the coefficient of tangential resistance, as well as improving the biocidal properties of these materials.

Ключові слова: зволоження, коефіцієнт тангенціального опору, антибактеріальні властивості

Комфортність можна вважати однією з найважливіших характеристик при експлуатації виробів легкої промисловості. До факторів, які прямо чи опосередковано в тій чи іншій мірі впливають на забезпечення комфорту у виробках, що контактують із тілом людини, можна віднести:

- хімічний склад основного полімеру текстильного матеріалу та речовин (апретів, барвників, та ін.), які використовуються на стадіях заключної обробки;
- фізичні властивості текстильних матеріалів, які визначаються товщиною, об'ємною масою, пористістю, сорбційними властивостями, показниками проникності, теплофізичними, електричними, оптичними та іншими показниками, а також зміна цих показників під впливом накопичення у їх структурі вологи;
- особливості структури поверхні текстильних матеріалів, які визначаються видом переплетення, характером заключної обробки, фактурою, туше, жорсткістю, шорсткістю, драпірувальністю, тангенційним опором, силами прилипання до шкіри, здатністю створювати складки та заломы, рівнем контакту поверхні із шкірою людини (опорною поверхнею);
- наявність подразнювачів або алергенів на поверхні матеріалу, а також можливість їх міграції під впливом тепла і вологи.

Важливим фактором, який зумовлює відчуття комфорту, є реальна площа контакту текстильного матеріалу з тілом людини. Вона характеризується особливостями структури ниток та поверхні матеріалу, наявністю мікро- і макроконтатів текстильного матеріалу із шкірою – чим більшою є площа таких контактів, тим більшим є тиск на шкіру і, відповідно, тим меншою є сенсорна комфортність.

Відомо, що широке використання в якості матеріалів для верху взуття синтетичних і натуральних шкір з гідрофобною обробкою, різко погіршує комфортність взуття у використанні, сприяє створенню у внутрішньовзуттєвому просторі умов для прискореного розвитку шкідливих мікроорганізмів. Одним із варіантів вирішення питання оптимального поєднання ціни та задовільних гігієнічних властивостей взуття може стати використання підкладкових текстильних матеріалів, які мають високі гігієнічні, а також біоцидні властивості.

Як відомо, одним із основних параметрів, що характеризують ступінь комфортного стану стопи людини при експлуатації взуття, є значення відносної вологості повітря у внутрішньовзуттєвому просторі. Саме тому при виборі матеріалів для внутрішніх деталей взуття вологообмінні властивості вважаються одними з найбільш вагомих. Гідрофільні матеріали для взуття характеризуються наявністю в структурі мікропор з розвинутою питомою поверхнею.

Високі гігієнічні властивості є невід'ємною складовою комплексу показників, що забезпечують комфортність взуття під час експлуатації. Вони зумовлюються здатністю матеріалів сорбувати пароподібну та краплино-рідку вологу із внутрішньовзуттєвого простору.

В роботі нами визначався вплив зволоження матеріалів підкладки взуття (при його експлуатації відбувається за рахунок вбирання поту), на зміну коефіцієнту тангенціального опору, а також можливість покращення біоцидних властивостей цих матеріалів.

Відомо [1], що значення коефіцієнту тангенціального опору відображає сили тертя та чіпкості, які виникають при переміщенні однієї поверхні по іншій (рис. 1).

На нашу думку, цей показник може також слугувати характеристикою ступеню контакту двох поверхонь – шкіри тіла людини та матеріалу виробу. При використанні методу похилої площини чим більшим є такий контакт, тим більшим має бути значення кута нахилу α , при якому колодка починає рухатися по площині. Низьке значення тангенціального опору може викликати незручності при експлуатації за рахунок ковзання. З іншого боку, потіння, яке зволожує як шкіру тіла, так і матеріал підкладки взуття, при високих значеннях α , може викликати натертості і дискомфорт при користуванні.

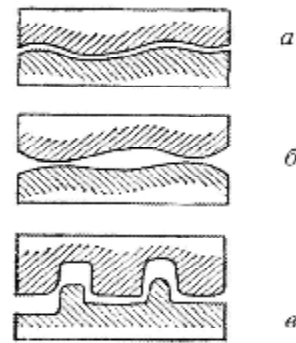


Рис. 1. Види одиночних фрикційних зв'язків: а) взаємне впровадження контактуючих поверхонь, б) молекулярне зчеплення поверхонь, в) взаємне зчеплення

Таблиця 1

Характеристика трикотажних полотен

№	Назва зразка, переплетення	Товщина, мм	Сировинний склад	Поверхнева густина Ms, г/м ²	Щільність в'язання по горизонталі (Пг) / по вертикалі (Пв)
1Гр	Трикотажне полотно, гладь	0,7	100% бавовна	109	90/150
2Гр	Трикотажне полотно, гладь	0,5	100% Віс	131	110/140
3Гр	Трикотажне полотно, ластик	0,9	100% ПП	231	120/110
4Гр	Трикотажне полотно, ластик (1x1)	0,7	100% бавовна	202	130/150
5Гр	Трикотажне полотно, гладь	0,6	100% ПЕ	200	183/104

Досліджувалися різні варіанти контакту матеріалів, які здатні моделювати реальні ситуації взаємодії поверхонь стопи з підкладкою взуття: пересування колодки, обтягнутої сухим матеріалом, по сухій тканині (варіант 1); пересування зволоженої тканини колодки по зволоженої площині (варіант 2), пересування колодки, обтягнутої сухою шкірою, по площині, що обтягнута сухою тканиною (варіант 3), зволоженої шкіри по зволоженої тканині (варіант 4) та зволоженої шкіри по сухій тканині (варіант 5). Дані впливу зволоження тканин на кут нахилу при визначенні тангенціального опору методом похилої площини наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Експериментальні дані впливу зволоження тканин на кут нахилу при визначенні тангенціального опору методом похилої площини

№	Сухий по сухому			Мокрий по мокрому (піт)			суха шкіра по сухому полотну		Мокра шкіра по мокрому полотну		Мокра шкіра по сухому полотну	
	Вертикаль/вертикаль	Горизонталь/горизонталь	Горизонталь/вертикаль	Вертикаль/вертикаль	Горизонталь/горизонталь	Горизонталь/вертикаль	Вертикаль/вертикаль	Горизонталь/горизонталь	Вертикаль/вертикаль	Горизонталь/горизонталь	Вертикаль/вертикаль	Горизонталь/горизонталь
1Гр	32,4	32,4	32,2	36,0	35,0	35,7	27,0	26,0	34,5	33,3	34,7	35,0
4Гр	32,0	33,0	35,5	35,2	35,2	35,5	24,3	27,7	33,7	34,3	35,3	35,0
5Гр лице	30,5	31,0	20,5	29,3	31,3	19,3	18,0	21,0	27,0	31,3	32,5	34,0
5Гр виворіт	29,3	29,6	30,0	31,7	31,3	31,0	23,3	22,3	32,3	31,5	34,0	33,3

Аналіз експериментальних даних дозволив визначити матеріал (1Гр), який має оптимальні

величини тангенціального опору як у сухому, так і у зволоженому стані. Слід відзначити, що за іншими показниками, які характеризують комфортність у користуванні, цю тканину також можна вважати за найкращу.

Використання модифікованого методу похилої площини для визначення ступеню взаємодії поверхонь тіла людини та матеріалу одягу з розрахунком значення тангенціального опору в умовах зволоження матеріалів дозволяє прогнозувати важливу складову нейрофізіологічного комфорту (ступінь контакту матеріалу із шкірою тіла) і її значення має бути враховано при виборі матеріалів для одягу та постільної білизни.

Матеріали внутрішніх деталей взуття постійно контактують з мікроорганізмами, що знаходяться як на тілі людини, так і у оточуючому середовищі, а піт, який активно виділяється стопою, підтримує їх життєдіяльність та сприяє активному розмноженню. Як показали дослідження [2], більшість мікроорганізмів на текстилі виникають або завдяки контакту безпосередньо із шкірою людини, або переносяться з потом. При високій вологості вони дуже швидко розмножуються, викликаючи знебарвлення матеріалів, виникнення стійкого запаху поту, а інколи провокують шкіряні подразнення та хвороби. Саме тому в останні роки все більша увага приділяється проблемі надання текстильним матеріалам антибактеріальних властивостей.

Тест на агаровій площині, що використовується для визначення як антибактеріальних, так і фунгіцидних властивостей, базується на визначенні здатності до дифузії антимікробного агента. Зразок текстилю розміщують на агарову поверхню із привитими тестовими мікроорганізмами, які починають зростати. Коли проходить інкубаційний період, досліджується поверхня пластини із зразком.

Відомо, що деякі барвники мають спорідненість до окремих частин мікробної клітини, впливають на проникність клітинних мембран, порушують осмотичні властивості, викликають лізис. Особливістю протимікробної дії барвників є певна вибірковість дії на окремі групи мікроорганізмів.

Барвники пригнічують активність ферменту каталази, синтез галактозидази, пеніцилінази. Вивчення антимікробної активності оброблених вищевказаними барвниками текстильних матеріалів проводилося по відношенню до штамів грампозитивних бактерій *Staphylococcus aureus* та *Bacillus subtilis* за методом «суцільного газону» на щільному середовищі – м'ясо-пептонному агарі.

Оброблені зразки трикотажних полотен (розміром 2x2 см), поміщали на чашки Петрі з живильним агаром, який було контаміновано тест-мікроорганізмами (106 м.к./мл) (м.к. – мікроколонія). Чашки з агаром культивували у термостаті при температурі 37°C протягом 24-48 год. Контрольним зразком були зразки необробленого трикотажу. Оцінка якості антимікробної обробки досліджуваних зразків проводилася за визначенням величини затримки росту мікроорганізмів на живильному агарі навколо зразка, а саме вимірюванням відстані від краю границі росту мікроорганізму (мм).

Показник ефективності – зона затримки не менше 4 мм. Трава звіробою містить флавоноїди (5–6%), які представлені переважно флавонолами: гіперозид (0,3-0,7%), рутин, кверцетин, мірицетин, лейкоантоціанідини і антоціаніни; ізольовані біфлавоноїди: аментофлавіон, біапигенін; конденсовані дубильні речовини (3–8 %, у листках – до 16%), фенолокислоти (кавова, хлорогенова). Препарати звіробою мають антибактеріальну, в'яжучу, протимікробну, кровоспинну та протизапальну дію, прискорюють регенерацію тканин.

Поліфенольні сполуки в листках зеленого чаю складають 15–30% і представлені катехіном, його похідними (вітамін Р), флавоноїдами і дубильними речовинами. Поліфенольні сполуки проявляють Р-вітамінну, антиоксидантну та знешкоджуючу активність.

В лушпинні цибулі містяться флавоноїди – рослинні сполуки фенольного характеру, похідні дифенілпропану (C₆-C₃-C₆). Флавоноїди мають широкий спектр біологічної дії, вони беруть участь в окисно-відновних процесах, виконують антиоксидантні функції, поглинають УФ-світло. Флавоноїди володіють широким спектром дії, зокрема здатні зміцнювати капіляри, проявляють протизапальну, протипромєнову та антиоксидантну дію.

Проведеними дослідженнями було встановлено, що всі зразки проявляють антибактеріальні властивості, але зона затримки росту мікроорганізмів різна. Для зразку, обробленого екстрактом лушпиння цибулі (рис. 4), зона затримки є максимальною – близько 3 мм, у порівнянні з іншими зразками, що свідчить про здатність проявляти антимікробну активність по відношенню до грампозитивних мікроорганізмів.



Рис. 2. Зразок, оброблений екстрактом трави звіробою



Рис. 3. Зразок, оброблений екстрактом листків зеленого чаю

Для зразків, оброблених екстрактами трави звіробою (рис. 2) та листків чаю (рис. 3), спостерігається зона затримки росту мікроорганізмів до 2 мм, що свідчить про їхню здатність проявляти антимікробну властивість незначною мірою.



Рис. 4. Зразок, оброблений екстрактом лушпиння цибулі



Рис. 5. Необроблений зразок

Таким чином, аналізуючи експериментальні дані по визначенню тангенціального опору матеріалів підкладки можна зробити висновок, що найкращим таким матеріалом є чистий бавовняний трикотаж різного переплетення. Його величина тангенціального опору є більшою, ніж в трикотажу з полієфіру та інших синтетичних ниток, і, як наслідок, більшими є сили тертя та зчеплення, які виникають при переміщенні однієї поверхні по іншій.

Після обробки цих матеріалів барвниками природного походження їм були надані бактерицидні властивості. Дослідження показали, що найбільш сильним антисептиком з обраних засобів є екстракт лушпиння цибулі, антибактеріальні властивості екстракту трави звіробою та екстракту листків зеленого чаю дещо слабші. Отримані експериментальні дані показали, що численні екстракти трав мають цінні властивості для матеріалів підкладки взуття, тому подальші дослідження в цьому напрямку є досить актуальними.

Література

1. Бузов Б.А. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство) : учебник для студ. высш. учеб. заведений] / Б.А. Бузов, Н.Д. Алыменкова ; под ред. Б.А. Бузова. – М. : Издательский центр «Академия», 2004. – 448 с.
2. Teufel L., Scuster k., Redl B. Bacteria at the interface of textiles and skin. Proceedings of the 46-th Man-made fibers Congress. – Dornbirn. 19 – 21 September. – 2007.

Рецензент: д.т.н. Березненко С.М.
Надійшла 11.2.2012 р.

УДК 685.35.01

М.П. САВЧУК

Хмельницький національний університет

ВСТАНОВЛЕННЯ НОМЕНКЛАТУРИ ТА ВАГОМОСТІ ГІГІЄНИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ДОМАШНЬОГО ВЗУТТЯ

У статті розглянуто проблему гігієни взуття з хімічних матеріалів. Використовуючи експертний метод, визначені номенклатура і найбільш вагомі показники для комплексної оцінки гігієнічних властивостей текстильних матеріалів з метою створення гігієнічно безпечного та комфортного домашнього взуття

The article discusses the hygiene of footwear made of chemical materials. With the help of evaluative method we analyze the list and the most essential indexes for comprehensive assessment of the hygiene properties of textile materials with the aim to produce hygienically safe and comfortable home footwear.

Ключові слова: текстильні матеріали, гігієнічні властивості, номенклатура показників якості, оцінка якості, експертний метод, вагомі показники.

Постановка проблеми

Одним із шляхів подальшого розвитку легкої промисловості, в т.ч. і взуттєвої, є широке використання хімічних матеріалів для виготовлення товарів першої необхідності. Відомо, що в наш час практично кожна пара шкіряного взуття містить деталі із полімерних матеріалів. Це також стосується і домашнього взуття з текстильним верхом, який переважно виготовляється на основі штучних і синтетичних

волокон. Звичайно використання таких матеріалів сприяє економії дорогої та дефіцитної натуральної сировини, впровадженню прогресивної технології виробництва, розширенню асортименту і підвищенню низки споживчих властивостей виробів, а також дає можливість отримати більш високі техніко-економічні показники роботи підприємства.

Разом з тим відомо [1–3], що значна частка сучасних хімічних матеріалів, які використовуються для виготовлення взуття та одягу, не відповідають гігієнічним вимогам. Це стосується таких властивостей, як вологоємність, гігроскопічність, вологовіддача, паро-та повітропроникність, електропровідність, електризованість, хімічна стабільність та ін. Тому експлуатація одягу та взуття з верхом із полімерних матеріалів не тільки знижує рівень їх комфортності, а також може мати за певних умов шкідливі наслідки для організму людини та оточуючого середовища.

У зв'язку з вищезазначеним, проблема гігієни і екологічної безпеки взуття та одягу в наш час стала досить актуальною і багатоплановою [4]. Для її вирішення необхідний системний та комплексний підхід. Першочерговим завданням є розробка науково обґрунтованих ергономічних вимог до виробів та текстильних матеріалів з урахуванням цільового призначення, визначення номенклатури показників якості та допустимих їх норм, які б забезпечували фізіологічну нешкідливість для людини. На початковому етапі створення гігієнічно безпечного взуття також необхідна об'єктивна комплексна оцінка рівня якості сировини та матеріалів, які використовуються для його виробництва. При цьому, особливо актуальною проблемою є розробка методики вибору матеріалів для створення оптимальних пакетів дубльованих текстильних матеріалів з урахуванням призначення та умов носіння взуття.

Таким чином, у зв'язку з неухильним ростом використання текстильних матеріалів на основі хімічних волокон для виготовлення верху домашнього взуття виникає необхідність всебічної оцінки гігієнічних властивостей, як окремих матеріалів, так і їх пакетів з метою науково обґрунтованого підходу до їх вибору з урахуванням цільового призначення. Це дасть можливість виготовляти верх текстильного взуття із заданими властивостями, що буде сприяти підвищенню споживчих властивостей, в тому числі його комфортності та безпечності.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Переважає більшість наукових досліджень присвячена вивченню гігієнічних особливостей штучних і синтетичних текстильних матеріалів, які використовують для одягу. Авторами роботи [2, 3] дається загальна гігієнічна оцінка одягу із штучних матеріалів в процесі його експлуатації, результати якої підтверджують, що для більшості текстильних матеріалів на основі хімічних волокон характерні низькі гігієнічні властивості. Експлуатація одягу із таких матеріалів призводить до негативних проявів, що вимагає всебічної оцінки і правильного цільового їх вибору з урахуванням призначення виробу. Так, за останні роки виконана робота [5] з вивчення комплексу гігієнічних властивостей текстильних матеріалів та їх пакетів. На цій основі здійснено раціональний вибір матеріалів в пакет технологічного одягу фармацевтичної промисловості, що забезпечує оптимально можливе сполучення його захисних та гігієнічних властивостей. Авторами роботи [6] проведені дослідження з вивчення гігієнічних властивостей сучасних текстильних матеріалів, які широко використовуються для одягу перукарів. При цьому встановлені чинники, які впливають на величину електричного опору матеріалів та взаємозв'язок між окремими їх гігієнічними показниками якості. Отримані результати роботи забезпечили науково обґрунтований вибір найбільш доцільних з точки зору гігієнічно безпечних матеріалів для одягу перукарів.

Аналіз роботи взуттєвих підприємств свідчить, що для виготовлення верху домашнього та легкого утепленого взуття найбільш широке використання знаходять текстильні матеріали, виготовлені на основі хімічних волокон, які додатково рекомендують дублювати з підкладковими матеріалами. Використання таких пакетів сприяє підвищенню як експлуатаційних властивостей виробу, так і ефективності роботи підприємства завдяки скороченню кількості деталей верху, спрощенню технологічного процесу та зниженню трудомісткості його виготовлення.

Разом з тим відомо, що за відсутності масового виробництва дубльованих текстильних матеріалів на більшості взуттєвих підприємствах організовані підготовчі дільниці, де здійснюють безпосередньо підготовку окремих шарів матеріалів та їх дублювання. При цьому, як правило на таких підприємствах не визначають і не враховують як гігієнічні показники початкових матеріалів, так і їх пакетів, що не дає можливість цілеспрямовано підібрати та виготовити матеріали з оптимально можливими їх властивостями. Це, звичайно, значно ускладнює отримання високоякісного взуття з текстильним верхом із заданими властивостями, яке б під час експлуатації забезпечувало комфорт та було гігієнічно нешкідливим.

Враховуючи вищевикладене, одним із початкових завдань для вирішення проблеми гігієни взуття є встановлення найбільш вагомих показників та оцінка гігієнічних властивостей текстильних матеріалів та їх пакетів, які в значній мірі впливають на рівень комфортності при носінні виробів.

Постановка мети дослідження

Метою даного дослідження було встановлення вагомих гігієнічних показників якості взуттєвих текстильних матеріалів для виготовлення верху домашнього взуття.

Виклад основного матеріалу

Враховуючи призначення та умови експлуатації, верх домашнього взуття повинен насамперед мати високі гігієнічні властивості, тобто забезпечувати сприятливі умови в середині взуттєвого середовища і нормальні біофізіологічні функції стопи та організму. З метою отримання об'єктивної інформації про

гігієнічні властивості текстильних матеріалів першочерговим завданням було встановлення номенклатури показників для їх оцінки. Для цього використано експертний метод, який заснований на врахуванні оцінок спеціалістів-експертів. Експертне оцінювання включало виконання наступних етапів:

- формування групи спеціалістів - експертів;
- підготовка експертів до опитування;
- опитування експертів;
- математична обробка експертних оцінок.

В якості експертів взято десять висококваліфікованих фахівців взуттєвої галузі. Підготовка до опитування включала складання спеціальних анкет, в яких було наведено перелік наступних попередньо запропонованих гігієнічних показників якості текстильних матеріалів для домашнього взуття: X_1 – вологовіддача, %;

X_2 – капілярність, мм/хв; X_3 – гігроскопічність, %; X_4 – повітропроникність, %; X_5 – вологість (вологосмість), %; X_6 – паропроникність, мг/см²·год; X_7 – вологопроникність, %; X_8 – питомий електричний опір, Ом; X_9 – вологопоглинання, %; X_{10} – теплопровідність, м²·С°/Вт.

На основі розробленої анкети проводилось індивідуальне опитування експертів. Експертам пропонувалось дати рангову оцінку попередньо визначеної кількості показників якості матеріалу. Така оцінка необхідна, щоб з великої кількості показників вибрати найважливіші для встановлення по ним нормативних (базових) значень властивостей матеріалів. Найвагомішому показникові присвоювався ранг $R = 1$, а найменшому – ранг $R = n$, де n – число оцінюваних показників якості матеріалу.

Переоформлені рангові оцінки гігієнічних показників якості матеріалів та результати їх математичної обробки представлені у вигляді матриці ранжування в табл. 1.

Таблиця 1

Матриця ранжування показників якості

Шифр експерта	Рангові оцінки показників якості X_i										$\sum R_{ji}$	T
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}		
1	6	2	1	9	3	4	8	5	7	10	55	0
2	2	3	1	10	4	5	9	6	7	8	55	0
3	8	2	4	9	1	3	6	5	7	10	55	0
4	5	4	6	2	1	3	7	8	9	10	55	0
5	3	2	1	9	4	5	7	6	8	10	55	0
6	5	3	2	8	1	4	10	7	6	9	55	0
7	4	5	1	10	2	3	9	6	7	8	55	0
8	5	2	1	7	3	4	9	6	8	10	55	0
9	4	3	2	9	1	5	8	6	7	10	55	0
10	6	3	2	10	1	4	9	5	7	8	55	0

Згідно з методикою [7] і на основі отриманих експертних оцінок, проведена математична їх обробка з метою встановлення суттєво значущих гігієнічних показників якості текстильних матеріалів для домашнього взуття.

Для оцінювання узгодженості думок експертів, розраховували коефіцієнт конкордації W :

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}{\frac{1}{12} m^2 (n^3 - n) - m \sum_{j=1}^m T_j} = \frac{6568}{\frac{1}{12} 10^2 (10^3 - 10) - 10} = 0,7970, \quad (1)$$

де S_i – сума рангових оцінок експертів за кожним показником;

\bar{S} – середня сума рангів для всіх показників;

m, n – числа відповідно експертів і показників;

T_j – величина, що враховує однакові оцінки різних показників окремими експериментами.

$$\bar{S} = 0,5 m (n+1) = 0,5 \cdot 10 (10+1) = 55 \quad (2)$$

$$T_j = \frac{1}{12} \sum_{j=1}^u (t_j^3 - t_j), \quad (3)$$

де u – число груп з однаковими оцінками j -го експерта;

t_j – число однакових оцінок в межах однієї групи j -го експерта.

Із отриманих розрахунків видно, що значення коефіцієнта конкордації W склало 0,8. Це свідчить про високу узгодженість думок експертів.

Значущість коефіцієнта конкордації перевіряли за критерієм Пірсона f^2 . Розрахункове значення f^2 розр. знаходили за формулою:

$$f_{\text{розра.}}^2 = Wm(n-1) = 0,7970 \cdot 10(10-1) = 71,73 \quad (4)$$

Табличне значення критерію Пірсона [7] для числа ступенів вільності $f = 10-1 = 9$ з імовірністю $q = 0,01$ і становить 21,7. Оскільки, $f_{\text{розра.}}^2 = 71,73$, що більше ніж $f_{\text{табл.}}^2 = 21,7$, то коефіцієнт конкордації W виявився значущим, тобто є суттєве узгодження рангових оцінок десяти експертів.

Коефіцієнти вагомості кожного показника гігієнічних властивостей матеріалів визначали за формулою:

$$I_i = \frac{mn - S_i}{0,5mn(n-1)} \quad (5)$$

Якщо всі показники якості однаково вагомі, то $I_i = 1/n$. Суттєво значущими вважаються показники, для яких $I_i > 1/n = 0,1$. Оскільки сума суттєво значущих показників повинна дорівнювати одиниці, тому коефіцієнти їх вагомості перераховані за формулою:

$$I_{i0} = \frac{I_i}{\sum I_i}, \quad (6)$$

де $\sum I_i$ – сума коефіцієнтів вагомості усіх суттєво значущих показників.

Результати розрахунків і діаграма коефіцієнтів вагомості гігієнічних показників якості текстильних матеріалів наведені відповідно в табл. 2 і на рис. 1.

Таблиця 2

Результати розрахунків гігієнічних показників якості текстильних матеріалів

Показник	Величина показника										$\sum R_{ji}$	T
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}		
S_i	48,0	29,0	21,0	83,0	21,0	40,0	82,0	60,0	73,0	93,0	550,0	-
\bar{S}	55,0											
$S_i - \bar{S}$	-7,0	-26,0	-34,0	28,0	-34,0	-15,0	27,0	5,0	18,0	38,0	-	-
$(S_i - \bar{S})^2$	49,0	676,0	1156,0	784,0	1156,0	225,0	729,0	25,0	324,0	1444,0	6568,0	-
W	0,8											
$mn - S_i$	52,0	71,0	79,0	17,0	79,0	60,0	18,0	40,0	27,0	7,0	450,0	-
I_i	0,12	0,15	0,17	0,04	0,17	0,13	0,05	0,11	0,07	0,01	1,0	-
I_{i0}	0,14	0,18	0,2		0,2	0,15		0,13			1,0	-

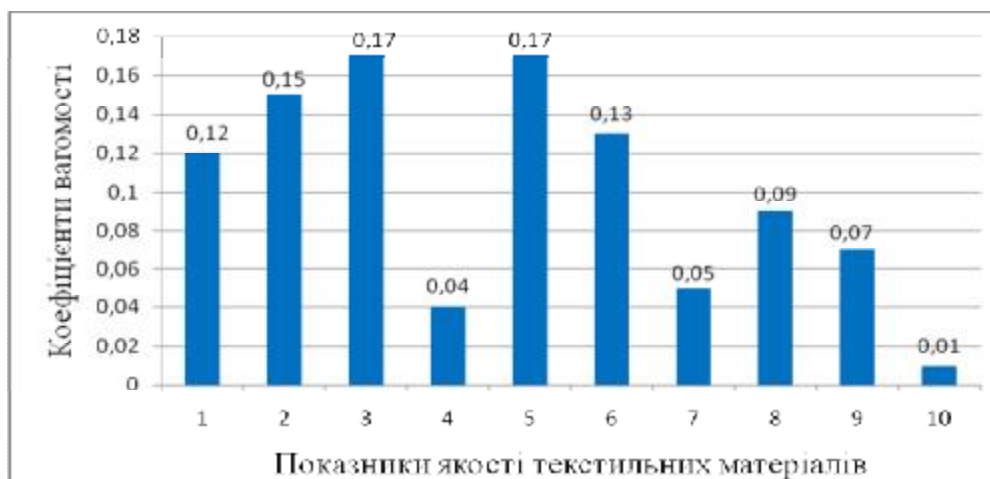


Рис. 1. Діаграма коефіцієнтів вагомості гігієнічних показників якості текстильних матеріалів для домашнього взуття

Отримані результати роботи свідчать, що для оцінки гігієнічних властивостей текстильних матеріалів для домашнього взуття найбільш суттєво значущими є показники X_1 ; X_2 ; X_3 ; X_5 ; X_6 ; X_8 . Коефіцієнти їх вагомості відповідно складають 0,12; 0,15; 0,17; 0,17; 0,13 і 0,09.

Висновки

В результаті використання експертного методу встановлена номенклатура вагомих показників для оцінки гігієнічних властивостей текстильних матеріалів для домашнього взуття. Їх використання дає можливість отримати об'єктивну комплексну гігієнічну оцінку якості взуттєвих текстильних матеріалів, яка буде сприяти раціональному їх вибору в пакети з метою створення гігієнічно безпечного та комфортного домашнього взуття.

1. Саутин А.И. Современное состояние проблемы оценки гигиенических свойств обуви с применением полимерных материалов / А.И. Саутин // Обувная промышленность. Экспресс – информация, 1976. – С. 1–14.
2. Чекаль В.Н. Гигиенические особенности одежды из искусственных материалов / В.Н. Чекаль, В.Н. Акименко, Г.В. Бей и др. – К. : Здоров'я, 1982. – 120 с.
3. Гигиена одежды : [учеб. пособие для вузов легкой промышленности] / Р.А. Делль, Р.Ф. Афанасьева, З.С. Чубарува ; Под ред. Р.Ф. Афанасьевой. – М. : Легкая индустрия, 1979. – 144 с.
4. Беднарчук М.С. Сучасні напрями теоретичних досліджень взуттєвих і одягових матеріалів / М.С. Беднарчук., І.С. Галик, Б.Д. Семак // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2010. – № 5. – С. 19–21.
5. Островецька М.О. Розробка методів визначення та оцінка гігієнічних властивостей пакетів матеріалів для технологічного одягу фармацевтичної промисловості : дис. ... канд. техн. наук : 05.02.01. – К., 2007. – 179 с.
6. Луцевська О.М. Дослідження електропровідності текстильних матеріалів для спеціального одягу для перукарів / О.М. Луцевська, О.М. Троян, М.П. Савчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – Т. 2. – № 6. – С. 143–146.
7. Зурябан К.М. Материаловедение изделий из кожи / К.М. Зурябан, Б.Я. Краснов., М.М. Бернштейн, Ю.М. Гвоздев – М. : Легкая индустрия, 1988. – 416 с.

Рецензент: д.т.н. Параска Г.Б.
Надійшла 17.2.2012 р.

УДК 685.31

Н.М. ОМЕЛЬЧЕНКО, В.П. КЕРНЕСШ, В.П. КОНОВАЛ
Київський національний університет технологій та дизайну

РОЗРОБКА РАЦІОНАЛЬНОГО ВЗУТТЯ ДЛЯ СТАРШОКЛАСНИКІВ 15–16 РОКІВ СХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ ПОВІДОМЛЕННЯ З ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНОМІРНОСТЕЙ МІЖ РІЗНИМИ РОЗМІРНИМИ ОЗНАКАМИ СТОП

В статті наведено закономірності між різними розмірними ознаками стоп дітей-старшокласників 15–16 років Східного регіону України з метою подальшого використання їх при проектуванні колодок та взуття.

Article cites patterns between different dimensional characteristics of children's feet about 15-16 years of the Eastern region of Ukraine and then use them when designing shoes and footwear.

Ключові слова: розмірні ознаки, стопа, морфологія, закономірності, рівняння регресії.

Вступ. Постановка проблеми

Відомо, що морфометричні параметри тіла людини та, зокрема, його стоп залежать від багатьох факторів [1, 2]. Крім того, також відомо, що останні масові антропометричні дослідження стоп населення України проводилися у 80-і роки минулого століття [3]. Кафедрою КТВШ КНУТД за завданням міністерства освіти і науки, молоді та спорту України були проведені антропометричні дослідження стоп підлітків Східного регіону [4], які показали наявність доволі суттєвих відмінностей в їхніх параметрах в порівнянні з даними попередніх досліджень.

У 30-х роках ХХ ст. Зибін Ю.П. сформулював чотири відомі закономірності, яким підлягали різні розмірні ознаки стоп [5].

У 1990 роках з огляду на проблеми тогодення (зокрема, з урахуванням дії затухаючого процесу акселерації та ін.), проф. Коновал В.П. виклав своє бачення цих законів [6]:

1. Для групи дорослого населення розподіл частот довжини стоп та ряду довжинних розмірів (довжина до середини першого пальця, довжина до внутрішнього пучка, довжина до зовнішнього пучка) в однорідному колективі достатньо точно виражається законом нормального розподілу. Розподіл частот обхватів плеснофалангового зчленування (внутрішнього та зовнішнього) стоп та відповідних широтних розмірів з достатньою вірогідністю можуть бути виражені закономірністю логарифмічного нормального розподілу.

Для груп дитячого населення розподіл частот довжинних, обхватних та широтних параметрів стоп виражається законом нормального розподілу.

2. Середні поперечні розміри стоп (обхватні та широтні) пов'язані з їх довжиною ортогональною регресійною залежністю типу: $O_n = \text{tg}\alpha_1 \cdot D_{cm} + b_1$, $Ш_n = \text{tg}\alpha_2 \cdot D_{cm} + b_2$.

3. Середні значення довжинних розмірів стоп пов'язані з їхньою довжиною лінійною регресійною залежністю виду $D_i = R_{д.д.ст.} \cdot D_{cm} + b_1$.

4. Середні значення поперечних розмірів стоп пов'язані з обхватом у пучках лінійною регресійною залежністю виду $\Pi_i = R_{\Pi, O_n} \cdot O_n + b_2$.

Метою наших досліджень було встановити закономірності між різними параметрами стоп юнаків та дівчат з метою подальшого використання їх при проектуванні відповідних колодок та взуття.

Виклад основного матеріалу дослідження

На першому етапі роботи була здійснена перевірка антропометричних параметрів стоп юнаків та дівчат 15–16 років Східного регіону України на відповідність їх закону нормального розподілу за показниками [7]: абсолютного відхилення, розмаху варіювання, асиметрії та ексцесу, критерію Пірсона. Було показано, що з достатньою вірогідністю розподілення частот розмірних ознак їхніх стоп (довжинних, широтних, висотних та обхватних) виражається законом нормального розподілення.

На рисунку 1, як приклад, наведено емпіричне та теоретичне розподілення довжини стоп у дівчат.

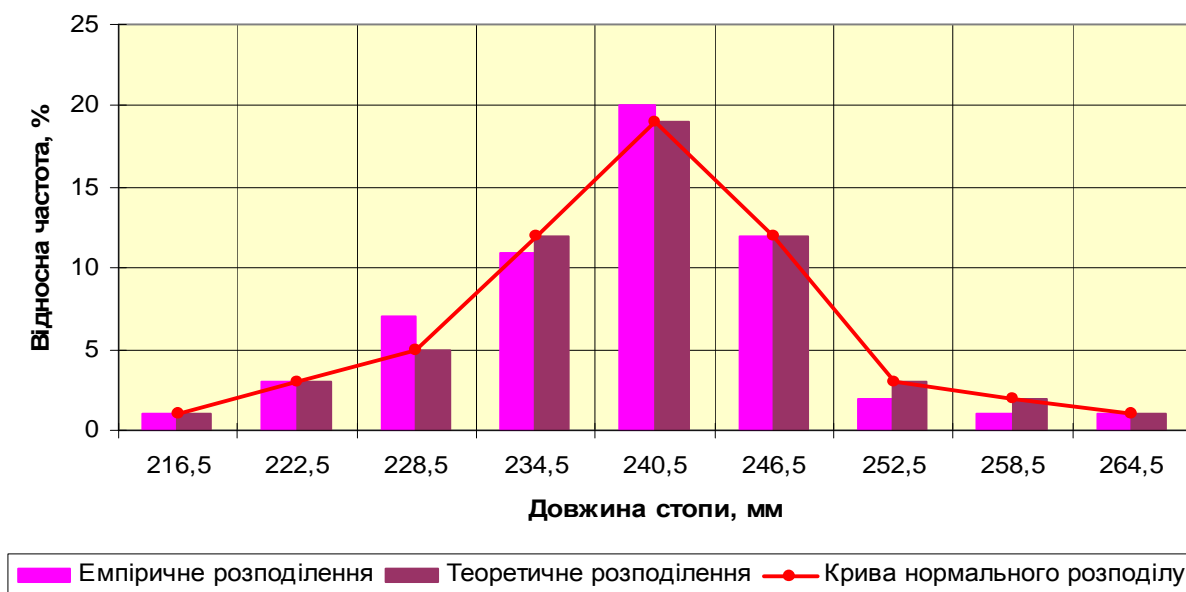


Рис. 1. Емпіричне та теоретичне розподілення довжини стоп у дівчат

На другому етапі роботи було проведено визначення залежності між двома розмірними ознаками.

Відомо [5–7], що якщо кожна розмірна ознака має нормальне розподілення, то сполученню розмірних ознак також притаманне нормальне розподілення. Поле нормального сполучення двох розмірних ознак є кореляційним еліпсом розсіювання. Рівняння еліпса розсіювання має вигляд:

$$C^2 = \frac{1}{1 - r_{xy}^2} \left[\left(\frac{x - M_x}{S_x} \right)^2 + \left(\frac{y - M_y}{S_y} \right)^2 - 2r_{xy} \frac{(x - M_x)(y - M_y)}{S_x S_y} \right], \quad (1)$$

де C – постійна для даного еліпса, яка є характеристикою пар значень ознак, що зустрічаються з однаковою частотою;

r_{xy} – коефіцієнт парної кореляції;

M_x та M_y – їх середні величини, мм;

S_x та S_y – середні квадратичні відхилення середніх величин, мм.

Згідно з [7], якщо сполучення змінних x та y підлягають закону нормального розподілення, то існують дві регресії: пряма регресія – визначає залежність y від x та обернена регресія – визначає залежність x від y .

Для залежності двох основних розмірів стоп D_{cm} (x) і O_n (y) моделі прямої та оберненої регресії будуть мати вигляд:

$$O_{\Pi} = M_O + R_{O/D} \cdot (D - M_D), \quad (2)$$

$$D_{cm} = M_D + R_{D/O} \cdot (O - M_O), \quad (3)$$

Прямі регресії перетинаються у центрі тяжіння (M_D ; M_O) та утворюють так звані «ножиці», чим вужчі «ножиці», тим ближче стохастичний зв'язок з функціональним. Але прямі оберненої та прямої регресії не є геометричними центрами множини пар сполучення x та y або D_{cm} та O_n , які утворюють еліпс розсіювання.

Геометричним місцем точок еліпса, які зводять до мінімуму суму квадратів перпендикулярних відхилень є головна вісь еліпсу – лінія ортогональної регресії. Лінії прямої та оберненої регресії є діаметрами цього еліпсу [6–7]. У таблиці 1 наведені статистичні характеристики основних розмірних ознак, коефіцієнти їх кореляційної та регресійної залежності для стоп юнаків та дівчат 15–16 років Східного регіону України.

**Статистичні характеристики основних параметрів стопи
та коефіцієнти залежності $r_{y/x}$, $R_{y/x}$ для юнаків та дівчат**

Основні параметри стоп		Статистичні характеристики, мм		Коефіцієнт прямої залежності				Коефіцієнт оберненої регресії	
		$M \pm m_M$	S	З довжиною стопи ($D_{ст}$)		З обхватом у пучках ($O_{п}$)		з $D_{ст}$	з $O_{п}$
				$r_{y/x}$	$R_{y/x}$	$r_{y/x}$	$R_{y/x}$	$R_{D/x}$	$R_{O/x}$
юнаки	$D_{ст}$	257,99±1,39	13,64	–	–	0,62	0,38	–	0,46
	$Ш_{п}$	100,6±0,58	5,68	0,53	0,18	0,81	0,38	0,9	0,38
	$Ш_{п'ят}$	69,94±0,49	4,86	0,55	0,14	0,91	0,87	1,82	2,75
	$O_{п}$	252,88±1,29	12,63	0,62	0,46	–	–	0,38	–
	$V_{гп/к}$	33,88±0,58	5,67	0,72	0,12	0,59	0,13	0,52	0,19
	$V_{т.зг.}$	85,88±1,12	10,93	0,68	0,11	0,54	0,34	0,43	0,63
дівчата	$D_{ст}$	238,3±0,79	8,44	–	–	0,56	0,33	–	0,49
	$Ш_{п}$	92,66±0,56	5,97	0,62	0,2	0,85	0,36	0,72	2,04
	$Ш_{п'ят}$	64,14±0,65	6,94	0,52	0,58	0,54	0,18	0,18	0,16
	$O_{п}$	234,93±0,98	10,54	0,55	0,49	–	–	0,33	–
	$V_{гп/к}$	24,0±0,12	1,25	0,62	0,23	0,62	0,17	0,86	2,14
	$V_{т.зг.}$	70,33±0,26	2,83	0,58	0,52	0,57	0,12	0,38	0,84

Модель ортогональної регресії будується за формулою:

$$y = M_y + b(x - M_x) \quad (4)$$

Для розмірних ознак $D_{ст}$ та $O_{п}$ формула ортогональної регресії буде виглядати так:

$$O_{п} = M_O + b(D_{ст} - M_D) \quad (5)$$

де $b = \operatorname{tg} \alpha$ та визначається за статистичними характеристиками поля розсіювання S_x , S_y і коефіцієнту кореляції між ними $r_{y/x}$ за формулою:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{s_y^2 - s_x^2 + \sqrt{(2r_{x/y} s_x s_y)^2 + (s_y^2 - s_x^2)^2}}{2r_{x/y} s_x s_y} \quad (6)$$

Нами були розраховані значення коефіцієнтів ортогональної регресії та виведені рівняння ортогональної регресії для стоп юнаків та дівчат (табл. 2).

Таблиця 2

Рівняння ортогональної регресії основних параметрів стоп юнаків та дівчат 15–16 років Східного регіону України

Параметри стопи	Юнаки	Дівчата
	Рівняння ортогональної регресії	Рівняння ортогональної регресії
$Ш_{п}$	$Ш_{п} = 0,25 D_{ст} + 36,1$	$Ш_{п} = 0,58 D_{ст} - 45,55$
$Ш_{п'ят}$	$Ш_{п'ят} = 0,21 D_{ст} + 15,76$	$Ш_{п'ят} = 0,69 D_{ст} - 95,53$
$O_{п}$	$O_{п} = 0,88 D_{ст} + 25,85$	$O_{п} = 1,49 D_{ст} - 120,14$
$V_{гп/к}$	$V_{гп/к} = 0,32 D_{ст} - 48,68$	$V_{гп/к} = 0,1 D_{ст} + 0,17$
$V_{т.зг.}$	$V_{т.зг.} = 0,72 D_{ст} - 99,87$	$V_{т.зг.} = 0,21 D_{ст} + 20,29$

На рис. 2 як приклад зображений графік прямої, оберненої та ортогональної регресії довжини стопи з обхватом у пучках юнаків.

Тобто було показано, що сьогоднішні обхватні та широтні розміри стоп юнаків та дівчат 15–16 років Східного регіону України пов'язані з їх довжиною ортогональною регресійною залежністю виду:

$$O_{п} = \operatorname{tg} a_1 \cdot D_{ст} + b_1, \quad (7)$$

$$Ш_{п} = \operatorname{tg} a_2 \cdot D_{ст} + b_2 \quad (8)$$

Таким чином були підтверджені положення Коновала В.П. [6], про ортогональну регресійну залежність між середніми поперечними розмірами стоп юнаків та дівчат 15–16 р. Східного регіону України з їхньою довжиною стопи.

Після цього за даними антропометричних досліджень стоп [4] було проведено кореляційний та регресійний аналіз залежностей між однойменними розмірами стоп.

Як показали проведені нами дослідження, значення коефіцієнтів кореляції $r_{y,x}$ за довжинними параметрами знаходяться в межах 0,52–0,91; а серед широтних та обхватних параметрів – від 0,51 до 0,85.

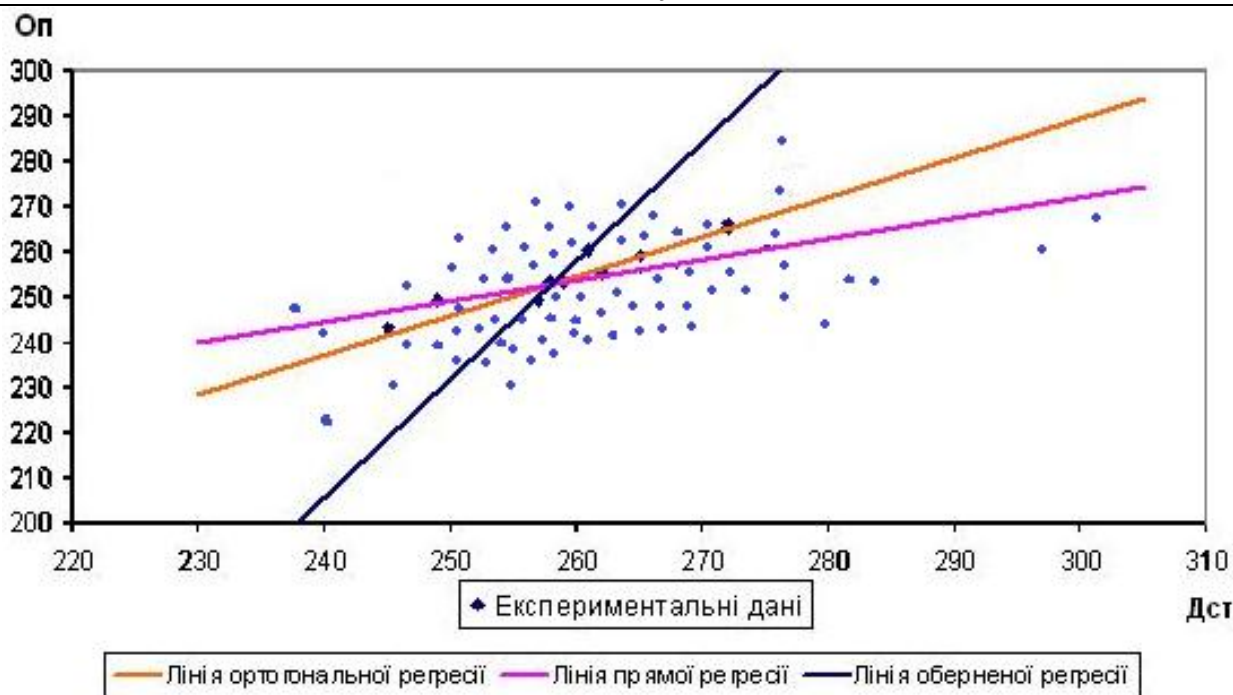


Рис. 2. Графік залежності довжини стопи з обхватом у пучках юнаків

Але наявність кореляційних зв'язків між однойменними розмірами стоп ще не дає можливість стверджувати, що зв'язок між цими параметрами суттєвий.

За статистичними параметрами стоп досліджених нами юнаків та дівчат-старшокласників були виведені рівняння регресії за формулою (2) для однойменних довжинних та поперечних розмірів стоп (табл. 3), їхні середні квадратичні відхилення та відносні похибки рівнянь [7].

Таблиця 3

**Рівняння регресії, середні квадратичні відхилення та їх відносні похибки
для однойменних розмірів стоп юнаків та дівчат**

Розмірні ознаки стоп	Юнаки			Дівчата		
	Рівняння регресії	Σ_y , мм	$\Delta \Sigma_y$ %	Рівняння регресії	Σ_y , мм	$\Delta \Sigma_y$ %
$D_{0,9}$	$D_{0,9}=0,89D_{ст}+4,37$	5,7	2,4	$D_{0,9}=0,97D_{ст}-11,59$	3,8	1,7
$D_{0,73}$	$D_{0,73}=0,67D_{ст}+15,39$	5,2	2,7	$D_{0,73}=0,68D_{ст}+11,25$	4,4	2,5
$D_{0,62}$	$D_{0,62}=0,63D_{ст}-8,15$	3,0	1,8	$D_{0,62}=0,55D_{ст}+16,89$	7,1	4,7
$D_{0,18}$	$D_{0,18}=0,12D_{ст}+10,9$	3,1	7,37	$D_{0,18}=0,18D_{ст}-5$	3,9	10,2
$D_{0,68}$	$D_{0,68}=0,67D_{ст}+0,59$	4,3	2,4	$D_{0,68}=0,61D_{ст}+16,23$	5,1	3,1
Ш п	$Ш п=0,38O_{п}+4,84$	3,3	3,4	$Ш п=0,36O_{п}+3,43$	3,1	3,5
Ш _{0,18}	$Ш_{0,18}=0,1O_{п}+44,65$	3,9	5,6	$Ш_{0,18}=0,24O_{п}+7,76$	5,7	6,8
О в.п.	$О в.п.=0,12O_{п}+236,63$	21,4	8,0	$О в.п.=0,34O_{п}+166,1$	8,6	3,4
Оп/зг	$О п/зг=0,16O_{п}+312,92$	16,9	4,7	$О п/зг=0,42O_{п}+212,03$	13	4,2
О з.п.	$О з.п.=0,87O_{п}+53,39$	17,8	6,5	$О з.п.=0,29O_{п}+182,17$	12,2	4,8

Із даних таблиці 3 видно, що відносна похибка рівнянь регресії часто знаходиться у недопустимих межах, а абсолютні величини похибки коливаються в межах від 3,0 мм до 21,4 мм, що є дуже суттєвим і неприпустимим для проектування колодок та взуття. Тому ми відхиляємо запропоновану гіпотезу про функціональний зв'язок між однойменними параметрами стоп старшокласників і для подальших розрахунків пропонуємо використовувати пропорційну залежність між ними.

В таблиці 4 як приклад наведений співставлений аналіз коефіцієнтів фактичного розташування характерних анатомічних точок стоп дівчат 15–16 років Східного регіону України в порівнянні з даними Зибіна Ю.П. [5], які є зараз діючими у виробництві.

Як бачимо з даних таблиці 4, величини відхилень фактичних значень параметрів від тих, що зараз діють у промисловості є доволі суттєвими. Це вказує ще раз на необхідність розробки для даної групи споживачів спеціальних колодок та взуття, які базуються на даних сучасних антропометричних досліджень стоп.

**Співставлений аналіз розташування характерних анатомічних точок юнаків
по довжині стопи в порівнянні з коефіцієнтами Зибіна Ю.П.**

Характерні анатомічні точки стоп	Коефіцієнти по $D_{\text{стопи}}$						
	Коефіцієнт Зибіна Ю.П.	По контуру			По відбитку		
		За нашими даними	відхилення		За нашими даними	відхилення	
абс., мм	%		абс., мм	%			
Найширше місце п'ятки	0,18	0,18	0,2	0,1	0,173	1,7	0,7
Точки:	0,63	0,64	1,7	0,7	0,64	4,5	1,9
зовнішнього пучка							
середини пучків	0,68	0,69	1,7	0,7	0,68	-1,2	0,5
внутрішнього пучка	0,73	0,74	1,9	0,8	0,75	3,8	1,6
кінця відбитка п'ятого пальця	0,80	0,81	1,9	0,8	0,81	2,1	0,81
центру відбитка першого пальця	0,90	0,91	2,2	0,9	0,91	2,9	1,2
$Ш_{\text{стопи}}$ по центру головки I^1 плеснової кістки (внутрішній пучок)	0,95	0,92	-5,6	5,9	0,79	-9,7	1,6
у самому широкому місці п'ятки	0,75	0,67	-5,1	7,9	0,82	3,3	6,9
Обхвати по середині стопи	2,58	2,43	-3,6	7,8	2,67	4,7	1,9
на рівні головки V^{01} плеснової кістки (зовнішній пучок)	2,46	2,51	13,3	5,3	2,44	-4,3	1,7
через п'ятку та згин стопи	3,45	3,38	12,2	6,9	3,49	14,3	4,1

Висновки

1. Кафедрою КТВШ КНУТД за завданням Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України були проведені антропометричні дослідження біля 300 стоп юнаків та дівчат Східного регіону України за контактним методом та типовою програмою. Обробка отриманих даних проводилася графічним та статистично-математичним методами з використанням ПЕОМ.

2. Встановлені закономірності між різними параметрами стоп юнаків та дівчат Східного регіону України, а саме:

- розподілення частот довжинних, висотних та поперечних розмірів стоп юнаків та дівчат (широтних та обхватних) з максимальною імовірністю виражається законом нормального розподілення;
- середні обхватні та широтні розміри стоп старшокласників пов'язані з їх довжиною ортогональною регресійною залежністю;
- всі однойменні розміри стоп: довжинні з довжиною стопи, поперечні з обхватом у пучках, – мають між собою тісну пропорційну залежність.

3. Все вище сказане потрібно враховувати при проектуванні колодок та взуття для юнаків та дівчат 15–16 років Східного регіону України.

Література

1. Омельченко Н.М. Дослідження факторів, які впливають на індивідуальну анатомічну змінність людини / Н.М. Омельченко, К.М. Качура, В.П. Коновал // Легка примисловість. – 2010. – № 3. – С. 44–45.
2. Омельченко Н.Н. Исследование влияния процесса акселерации на параметры и форму стоп детей-старшеклассников / Н.Н. Омельченко, В.Ф. Кернеш, В.П. Коновал // Сб.научных работ ЮРГУЭС. – Шахты. – 2008. – С. 98–101.
3. Половников И.И. Проектирование спортивной обуви / И.И. Половников, О.В. Фарниева. – М. : Легпромбытиздат. – 127 с.
4. Омельченко Н.М. Розробка раціонального взуття для старшокласників 15–16 років Східного регіону України. Повідомлення 1. Антропометричні дослідження стоп юнаків та дівчат 15–16 років Східного регіону України / Н.М. Омельченко, В.П. Кернеш, В.П. Коновал // Вісник ХНУ, Технічні науки – Хмельницький, ХНУ. – 2011. – № 3. – С. 81–84.
5. Зыбин Ю.П. Конструирование изделий из кожи / Зыбин Ю.П. – М. : Легкая и пищевая промышленность. – 1982. – 264 с.
6. Коновал В.П. Теоретические и практические основы создания и фиксации обуви : дис. ... д-ра. техн. наук : 05.19.06. – К., 1994. – 316 с.
7. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул / Львовский Е.Н. – М. : Высшая школа. – 1988. – 239 с.

Рецензент: д.т.н. Гаркавенко С.С.
Надійшла 2.2.2012 р.

РОЗРОБКА НОВИХ МОРОЗОСТІЙКИХ ПОКРИВНИХ СКЛАДІВ НА БАЗІ ПОЛІАКРИЛАТІВ

У статті розглянуто вплив пластифікаторів алкілкарбокситаноламінів на фізико-механічні та теплофізичні властивості полімерних плівок при розробці морозостійких покривних композицій. Показано ефективність даних пластифікаторів та розроблено нові морозостійкі покривні склади.

Influence of plastifiers on the physically-mechanical and thermal properties of polymeric films for creation of cold-resistant coverings is investigated. Efficiency of the offered plastifiers it is shown. New cold-resistant polymeric compositions it is developed.

Ключові слова: покриття, акрилат, морозостійкість, пластифікатор.

Постановка проблеми у загальному вигляді

При транспортуванні, зберіганні та експлуатації виробів із шкіри в зимових умовах необхідно, щоб покриття не руйнувались. Особливо це є актуальним для деяких видів шкір для взуття, технічних та лимарних. Волокниста структура шкіри внаслідок різноманітних методів дублення, жирування та висушування характеризуються достатньою еластичністю і є достатньо морозостійкою. Руйнуватися в умовах низьких температур може лише покриття. Тому розробка нових морозостійких покривних складів на базі вітчизняних матеріалів є одним з напрямків удосконалення покривного фарбування шкір [1].

Морозостійкість покриття залежить від багатьох факторів, найважливішими з яких є природа та хімічний склад плівкоутворювача. Найвищою морозостійкістю характеризуються покриття на основі співполімерів бутадієну з іншими мономерами, що пояснюється дуже низькою температурою склування полібутадієну [2].

Аналіз останніх досліджень

Покриття на основі співполімерів акрилатів і метакрилатів мають, як правило, невисоку морозостійкість. Попередні дослідження показали, що полімерні плівки на основі метакрилату мають інтервал склування $-1...+8$ °С, а плівки на основі співполімеру МБМ-3, що характеризується значно кращою морозостійкістю - $-13...-1$ °С тощо [3].

На сьогодні в шкіряному виробництві використовується нова співполімерна акрилова емульсія Рузин-33, що також характеризується підвищеною морозостійкістю. Однак, полімерні плівки, отримані на її основі, мають недостатнє видовження ($\epsilon \approx 700...800$ %), що ускладнює використання даного плівкоутворювача у покривному фарбуванні, особливо для виробництва еластичних шкір.

Постановка завдання

Для досягнення необхідних показників еластичності й тягучості покривних плівок до складу покривних композицій слід вводити пластифікатори, які також дають змогу дещо знизити температуру склування полімеру. Тому основним завданням даного дослідження є вивчення впливу активних пластифікаторів алкілкарбокситаноламінів на фізико-механічні властивості та морозостійкість покривних плівок.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктами досліджень є полімерні плівки, отримані на основі співполімерної акрилової емульсії Рузин-33 та акрилової емульсії Барвакрил (БА) (фірма "Барва"), а також пластифікатори алкілкарбокситаноламіни нафтоєвих і жирних кислот (відповідно АКЕА НК і АКЕА ЖК), детально описані в роботах [3, 4].

Визначення властивостей полімерних плівок та покриття на шкірі виконано за існуючими стандартними методиками [5], а температуру склування (T_c) полімерів визначали за методом диференціальної скануючої калориметрії [6, 7].

Виклад основного матеріалу

Вплив пластифікаторів на властивості полімерних плівок характеризується зміною їх фізико-механічних показників (рис. 1). Виявлено, що пластифікатори АКЕА НК і АКЕА ЖК не лише змінюють фізико-механічні властивості полімерних плівок, але й зміщують інтервал склування полімеру в низькотемпературну область, тобто підвищують морозостійкість (рис. 2).

В результаті досліджень показано, що алкілкарбокситаноламіни АКЕА НК та АКЕА ЖК, при невеликих концентраціях (2,5...7,5 % маси полімеру) проявляють хороші пластифікуючі властивості щодо полімерних плівок, підвищуючи їх модуль еластичності та межу міцності при розриві. Також помітно зростає видовження досліджуваних полімерних плівок, набуваючи максимальних значень близько 1100...1200 % в інтервалі 5,0...10,0 % АКЕА НК та АКЕА ЖК. Пластифікатор АКЕА ЖК проявляє дещо слабший вплив на фізико-механічні характеристики плівок (рис. 1 б).

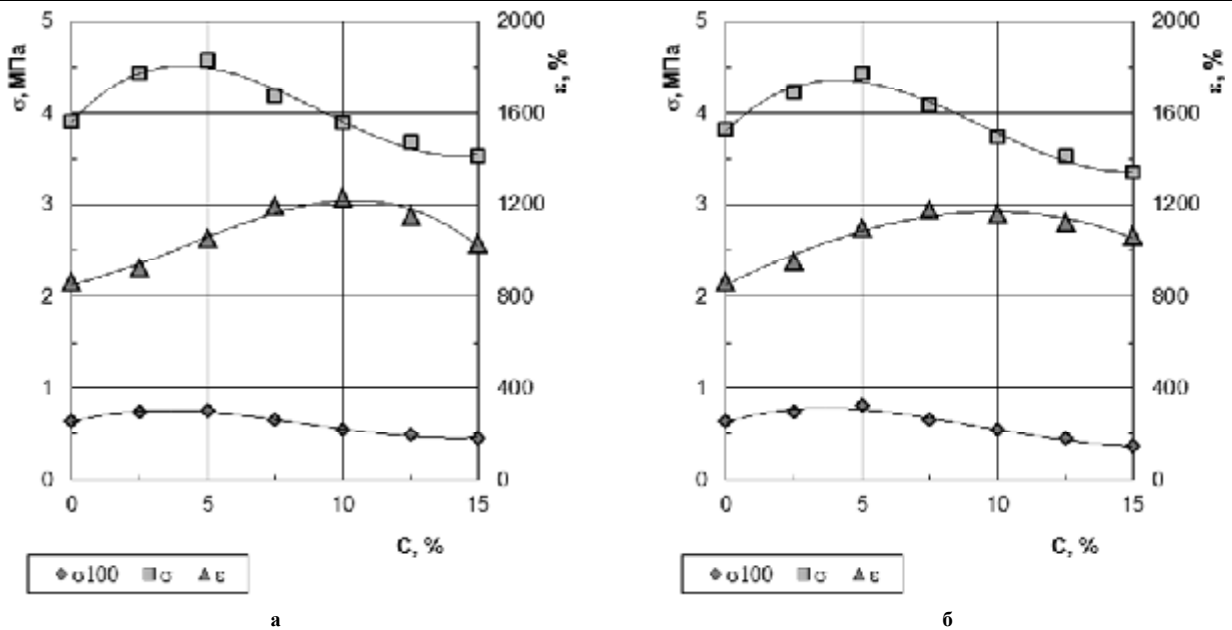


Рис. 1. Вплив пластифікатора АКЕА НК (а) та АКЕА ЖК (б) на фізико-механічні властивості полімерних плівок Рузин-33: s 100 – модуль еластичності при 100 %-вому видовженні, МПа; s – межа міцності при розриві, МПа; e – відносне видовження при розриві, %

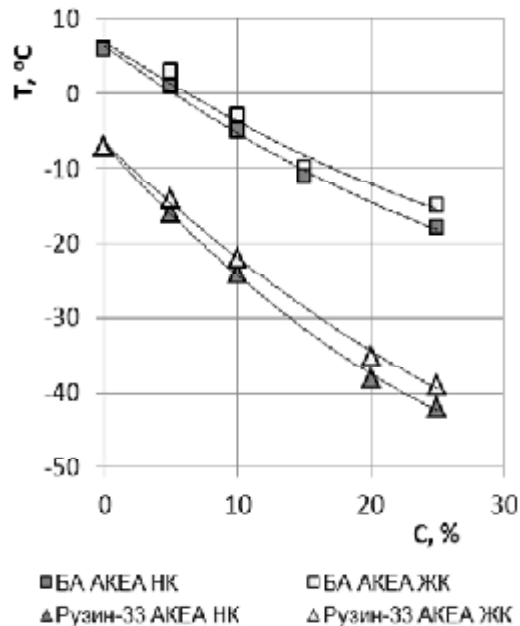


Рис. 2. Вплив природи і вмісту АКЕА на температуру склування полімерних плівок

Більш ефективно зниження температури склування полімерів відбувається під дією пластифікатора АКЕА НК, особливо для полімеру Рузин-33, що характеризується нижчою T_g у порівнянні з Барвакрилом БА (рис. 2). Так, при додаванні 5,0...10,0 % АКЕА НК та АКЕА ЖК від маси полімеру температура склування плівок знижувалась відповідно на 6,0...12,5 та 8,5...16,5 °C.

У випадку спільного використання емульсії Рузин-33 та більш м'якої, але неморозостійкої емульсії Барвакрил за рахунок сприятливих умов полімеризації спостерігається деяке зміцнення структури полімерних плівок, особливо при співвідношенні акрилатів БА:Рузин-33 = 30:70 (у перерахунку на сухий полімер) (рис. 3 а).

Відомо, що морозостійкість полімерних покриттів підвищується при добавках низькомолекулярних пластифікаторів. При невеликих добавках пластифікатору морозостійкість поліпшується лише при використанні м'яких полімерів. Покриття на основі твердих полімерів стають морозостійкими тільки при високих концентраціях пластифікатору [2].

При суміщеному використанні акрилатів пластифікатори більш плавно впливають на міцність та видовження полімерних плівок, таким чином розширюючи інтервал використовуваних концентрацій останніх, що дозволить варіювати властивостями покриттів залежно від призначення шкіри (рис. 3 б). Одночасно, спостерігається і більш інтенсивний вплив на T_g композиційного матеріалу, особливо при невеликому вмісті АКЕА в структурі полімеру.

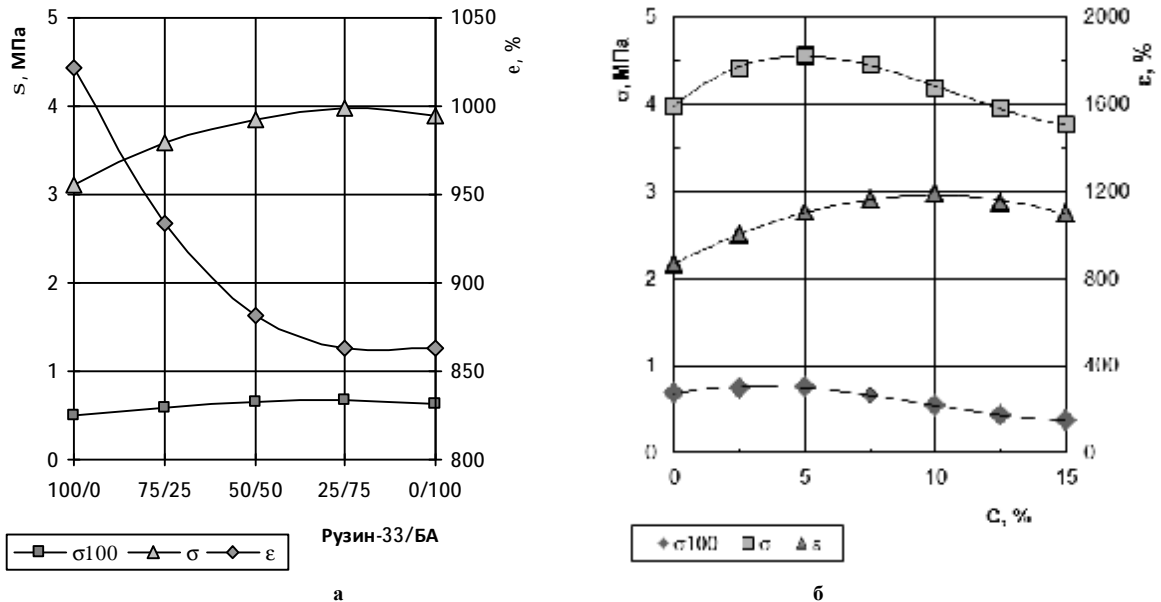


Рис. 3. Вплив природи плівкоутворювача (а) та витрати пластифікатора АКЕА НК (б) на фізико-механічні властивості полімерних композиційних плівок Рузин-33-БА: s_{100} – модуль еластичності при 100-відсотковому видовженні, МПа; s – межа міцності при розриві, МПа; ϵ – відносне видовження при розриві, %

Отже, суміщення полімерних матеріалів різної твердості та додавання активного пластифікатора, що утворює з полімерними матеріалами фізико-хімічні взаємодії, значно краще підвищує морозостійкість плівок, ніж лише додавання пластифікатора.

Додавання пігментів у вигляді пігментних паст з різними за природою зв'язуючими речовинами також істотно впливає на фізико-механічні показники покриття. Для отримання покривних фарб використовували коричневий пігментний концентрат на основі казеїну та безказеїнову пігментну пасту на основі метилцелюлози, які готувалися з використанням одного мінерального пігменту редоксайду. До складу покривних фарб входили наступні компоненти, мас. ч.:

пігментний концентрат (25 %-вий)	- 0...24
воскова емульсія (20 %-ва)	- 2
емульсія Рузин-33 (38%-ва)	- 25
емульсія БА (40 %-ва)	- 11
пластифікатор АКЕА НК	- 0,7...1,4
вода	до 100

Окремо формувалися покриття з використанням казеїнового пігментного концентрату та безказеїнової пігментної пасту. Результати досліджень свідчать, що вміст пігменту в покривній плівці та природа зв'язуючого помітно впливають на фізико-механічні характеристики покриття (рис. 4).

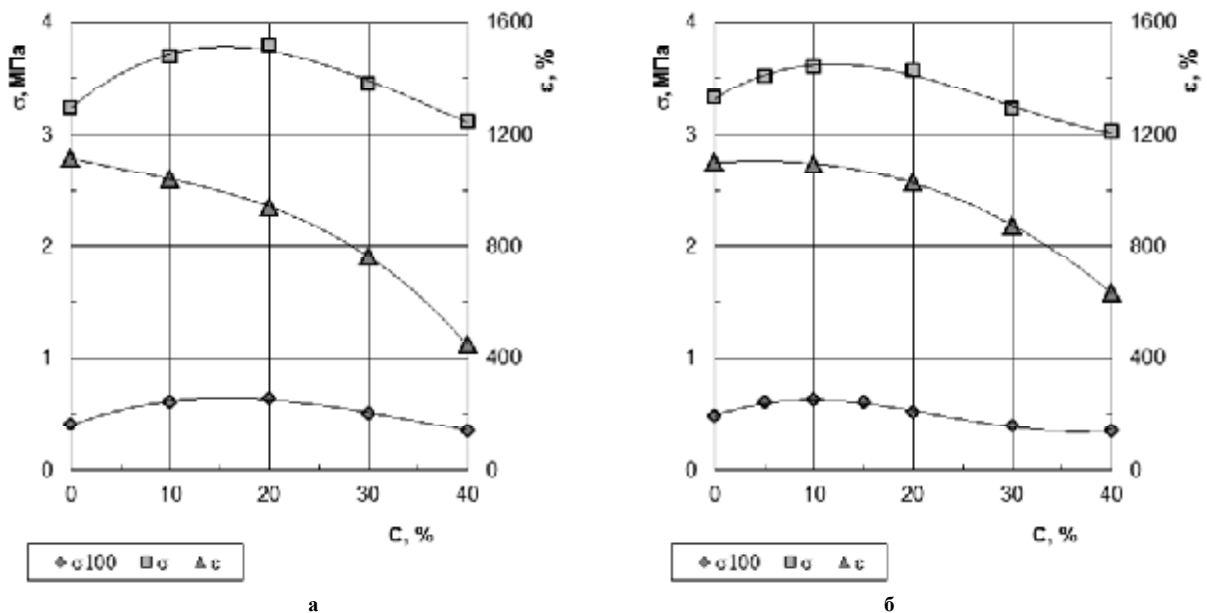


Рис. 4. Вплив вмісту пігменту і природи зв'язуючого казеїну (а) та метилцелюлози (б) на фізико-механічні властивості полімерних плівок: s_{100} – модуль еластичності при 100-відсотковому видовженні, МПа; s – межа міцності при розриві, МПа; ϵ – відносне видовження при розриві, %

Так, абсолютні значення показників міцності покриттів нижчі, ніж аналогічні характеристики чистих полімерних плівок, що пояснюється присутністю в останньому випадку в покривній плівці окрім полімерів ще й інших компонентів, які можна розглядати як наповнювачі полімерних плівок. Збільшення вмісту пігментів у покривній фарбі помітно знижує характеристики покриття, однак у всіх випадках спостерігаються максимальні значення міцності та еластичності плівок. Така закономірність пояснюється більш компактним формуванням об'єму покриття при додаванні невеликих кількостей пігментів та поступовим розпушуванням їх структури при подальшому зростанні вмісту пігментів у покривних плівках.

Слід відмітити, що при використанні казеїнового пігментного концентрату спостерігаються дещо вищі показники міцності плівок у порівнянні з пігментною пастою на основі метилцелюлози, однак тягучість плівок, яка характеризується відносним видовженням при розриві, зберігає кращі показники у останньому випадку. Це явище можна пояснити деякою жорсткістю казеїну, який додається до покривної фарби разом з концентратом.

Крім хороших фізико-механічних властивостей покриття має характеризуватись рядом експлуатаційних характеристик, таких як адгезія до шкіри, стійкість до багаторазового вигину та гігієнічними показниками. Для вивчення цих властивостей на напівфабрикат типу "красі" наносили покривні композиції, що відрізнялись вмістом пігментного концентрату. Склади покривних композицій наступні, (мас. ч.):

пігментна паста (25 %-ва)	- 0...24
воскова емульсія (20 %-ва)	- 2
емульсія Рузин-33 (38%-ва)	- 25
емульсія БА (40 %-ва)	- 11
пластифікатор АКЕА НК	- 1,1
вода	до 100

Результати досліджень свідчать про те, що всі варіанти покриття на шкірі мають високі показники адгезії покривної плівки. Максимальні значення адгезії покриття спостерігаються при вмісті казеїнового пігментного концентрату 5...8 % від маси полімерів. З підвищенням вмісту пігменту в покривному складі адгезія покриття поступово знижується, що цілком пояснюється зниженням фізико-хімічної взаємодії та зменшенням зв'язків водневих та сил Ван-дер-Ваальса між полімером та білком шкіри. Однак, показники адгезії в усіх варіантах задовольняють технологічні вимоги.

Стійкість до багаторазового вигину та мокрого тертя знижується зі збільшенням кількості пігменту в покривному складі. При використанні пігментних паст на основі метилцелюлози досліджувані показники мають дещо вищі значення у порівнянні з казеїновими концентратами за умови однакової кількості пігменту в покритті.

Важливими показниками покриття на шкірі є гігієнічні властивості. Паропроникність та повітропроникність незначною мірою знижуються при зростанні кількості пігменту в покритті. При використанні казеїнових концентратів гігієнічні властивості дещо вищі. Показники відносної паропроникності не поступаються аналогічному показнику взуттєвих шкір.

Отже, на основі отриманих показників якості покриття можна запропонувати для подальших досліджень покривні композиції наступного складу, (мас. ч.):

пігментна паста (25 %-ва)	- 5...8
воскова емульсія (20 %-ва)	- 2
емульсія Рузин-33 (38%-ва)	- 25
емульсія БА (40 %-ва)	- 11
пластифікатор АКЕА НК чи АКЕА ЖК	- 1,1...1,3
вода	до 100

Дані покривні склади забезпечують отримання покривних плівок на шкірі з високими фізико-механічними властивостями, експлуатаційними й гігієнічними показниками та морозостійкістю. Однак, необхідно виконати додаткові дослідження впливу співвідношення складових покривної композиції на властивості покриття та провести оптимізацію покривного складу і процесу формування покриття.

Висновки

Досліджено властивості полімерних плівок на основі нової співполімерної акрилової емульсії Рузин-33. Показано, що при суміщенні її з емульсією Барвакрил та під впливом активних пластифікаторів алкілкарбокситетаноламінів відбувається покращення фізико-механічних показників полімерних плівок та зниження температури склування полімерного матеріалу. Розроблені на основі даних полімерних композицій та пластифікаторів покривні склади дають змогу отримати покриття на шкірі з високими показниками міцності, експлуатаційними та гігієнічними властивостями. Необхідно також провести оптимізацію розробленого покривного складу і процесу формування покриття.

Література

1. Зурабян К.М. Отделка кож / К.М. Зурабян, Л.И. Байдакова. – М. : Легк. и пищ. пром-сть, 1984. – 184 с.
2. Дубиновский М.З. Покрывное крашение кож / Дубиновский М.З. – М. : Легпромбыгиздат, 1985. – 121 с.
3. Касьян Э.Е. Калориметрические исследования модифицированных полиакрилатов / Э.Е. Касьян,

А.Г. Данилкович, В.А. Виленский // Изв. вузов. Технол. легкой пром-сти. –1989. – № 4. – С. 59–62.

4. Касьян Э.Е. Коллоидно-химические свойства акриловых грунтующих композиций, содержащих алкилкарбокситаноламины / Э.Е. Касьян, А.Г. Данилкович, А.Г. Жиготский // Изв. вузов. Технол. легкой пром-сти. – 1989. – № 5. – С. 64–67.

5. Данилкович А.Г. Практикум з хімії і технології шкіри та хутра / Данилкович А.Г.– К. : Фенікс, 2006. – 340 с.

6. Касьян Е.С. Теплофізичні властивості поліуретанбарвників / Е.С. Касьян // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 1. – С. 154–160.

7. Годовский Ю.К. Теплофизические методы исследования полимеров / Годовский Ю.К. – М. : Химия, 1976. – 216 с.

Рецензент: д.т.н. Либа В.П.

Надійшла 13.2.2012 р.

УДК 628.314.2

Е.Г. КУЗНЕЦОВА, Ю.Г. САРИБЕКОВА

Херсонский национальный технический университет

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ПОЛИАКРИЛАМИДНЫХ ФЛОКУЛЯНТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ПОСЛЕ ПРОМЫВКИ ШЕРСТИ

В работе исследована эффективность катионных и анионных производных полиакриламидных флокулянтов для очистки сточных вод после промывки шерсти. Показано влияние на очистку воды концентрации, времени дозировки флокулянта.

The efficacy of cationic and anionic is derived polyacrylamide flocculants for wastewater treatment of wool scouring. Shows the effect of concentration water treatment and dosage and dosing unit, time.

Ключевые слова: флокулянт, коагулянт, сточные воды, очистка.

Введение

Очистка природных и сточных вод тесно связана с охраной окружающей среды и является актуальной проблемой современности. В последние десятилетия отмечено значительное повышение в сточных водах текстильных предприятий содержания синтетически поверхностно-активных веществ (ПАВ), нефтепродуктов, тяжелых металлов и других загрязнений [1]. Сточные воды фабрик первичной обработки шерсти (ПОШ) содержат загрязнения, которые удаляются из волокон шерсти, а также реагенты, используемые при промывке. Наиболее распространенной технологией очистки сточных вод является реагентная очистка коагулянтами и флокулянтами [2–4].

Постановка проблемы

Очистка сточных вод флокулянтами и коагулянтами характеризуется низкими капитальными и эксплуатационными затратами по сравнению с другими методами очистки. Так, в результате их применения на фабриках ПОШ достигается эффективность удаления взвешенных веществ более 80%, органических веществ более 75%, а также наблюдается снижение величины ХПК до 1200 мг/л [5].

Механизм действия коагулянтов и флокулянтов основан на извлечении из воды стабилизированных и нестабилизированных поверхностно-активными веществами коллоидных и тонкодисперсных загрязнений дисперсностью менее 100 нм. К ним относятся гидрофобные (жиры, масла) и гидрофильные (белки) органические соединения и минеральные примеси (глинистые частицы). Одновременно происходит извлечение растворенных органических и минеральных загрязнений, которые адсорбируются продуктами гидролиза коагулянтов или вступают в химическое взаимодействие с реагентами, образуя труднорастворимые соединения. К таким веществам относятся анионные и катионные ПАВ, комплексные анионы металлов [6].

Многочисленные исследования [7, 8], проведенные в нашей стране и за рубежом, показали, что процесс флокуляции определяется целым рядом факторов. К ним относятся: характеристики дисперсной фазы и среды, свойства коагулянтов и флокулянтов, их концентрация, условия введения, температура среды, а также состав исходной сточной воды. Влияние этих факторов на очистку сточных вод подробно охарактеризовано в монографии Абрамова Л.И. и Запольского А.К. [9], где представлены основные закономерности очистки природных и сточных вод полиакриламидом и его анионными и катионными производными в отсутствие и в присутствии минеральных коагулянтов, а также рассмотрены наиболее эффективные способы интенсификации водоочистки.

В опытах поставленных Вейцером Ю.И. и Минцом Д.М [5] были рассмотрены теоретические основы процесса флокуляции неионными флокулянтами в комплексе с коагулянтами, что в свою очередь позволяет решить практические вопросы по повышению эффективности очистки сточных вод от высокодисперсных загрязнений.

Однако, несмотря на то, что минеральные коагулянты и полимерные флокулянты уже давно применяются в процессах очистки воды, а также флокулирующие свойства их водных растворов

недостаточно изучены. Это, прежде всего, связано с наличием широкого ассортимента полимерных флокулянтов, что в свою очередь требует проведения длительных и трудоемких исследований.

Таким образом, обзор научно-технической литературы, свидетельствует в пользу продолжения работ по поиску флокулянта и оптимальных параметров его применения для очистки сточных вод с целью повышения эффективности процесса.

Целью работы является обоснование выбора полиакриамидных флокулянтов для очистки сточных вод после промывки шерстяного волокна.

Результаты исследований

Одной из основных задач в технологии очистки сточных вод является выбор эффективных видов реагентов, определение условий их применения и оптимальных концентраций. Как известно большинство предприятий текстильной промышленности для очистки сточных вод от взвешенных и коллоидно-дисперсных веществ в основном применяют в качестве коагулянта – сульфат алюминия, а флокулянта – полиакриламид.

Использование вслед за коагуляцией флокулянтов максимизирует захват частиц, ускоряет процесс образования хлопьев и делает эти хлопья более плотными, что приводит к ускорению процесса осаждения. Выбор полиакриламида в качестве флокулянта обусловлен его доступностью и низкой стоимостью, однако степень очистки сточных вод при его использовании невысокая. Это объясняется тем, что неионные полиэлектролиты, к которым относится полиакриламид, закрепляются на частицах с помощью полярных групп (чаще всего гидроксильных) благодаря образованию водородных связей между водородом гидроксила и кислородом, азотом и другими атомами, находящимися на поверхности частиц [7]. Более эффективным является применение анионных и катионных производных полиакриламида. Так, анионные флокулянты, полученные сополимеризацией акриламида и соли карбоновой или сульфокислоты, способны закрепляться на поверхности частиц не только с помощью водородных связей, но и благодаря химическому взаимодействию (хемосорбции) анионов с катионами, находящимися на поверхности частиц, представлены на рис. 1.

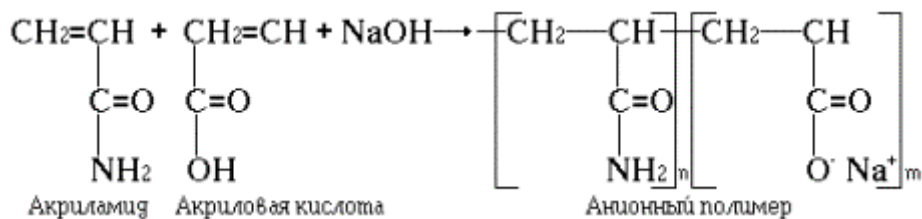


Рис. 1. Анионная производная полиакриламида

Катионные полиэлектролиты получают полимеризацией солей четвертичного аммониевого или третичного аминного основания диметиламиноэтилметакрилата (акрилата) или их сополимеризацией с акриламидом, рис. 2.

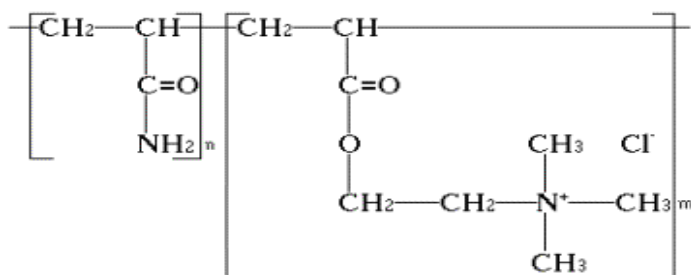


Рис. 2. Катионная производная полиакриламида

Катионные флокулянты, помимо образования агрегатов по механизмам, аналогичным вышеизложенным, способствуют флокуляции благодаря нейтрализации отрицательного заряда частиц.

Для выбора эффективного флокулянта нами были изучены производные катионные и анионные производные полиакриламида, характеристика которых представлена в таблице 1.

На эффективность процесса очистки сточных вод оказывает влияние целый ряд факторов:

- температура сточных вод;
- концентрация вводимых коагулянта и флокулянтов;
- интервал времени между введением коагулянта и флокулянтов.

Ранее проведенными исследованиями [1, 10] установлено, что при температуре $t = 15-20^{\circ}\text{C}$ оптимальная концентрация коагулянта (сульфата алюминия) составляет 40 мг/л. Снижение температуры обрабатываемой воды требует увеличения концентрации коагулянта, что приводит к ухудшению качества очищенной воды за счет повышения в ней гидролизованного алюминия и большого количества водного осадка.

Характеристика применяемых флокулянтов

№	Полимер	Вид	Молекулярная масса, млн	Заряд, %	Вязкость, см ³ -г-1
1	Полиакриламид F94 HMW	Катионный	4	20	1,8
2	Полиакриламид F96 HMW	Катионный	5-6	35	1,62
3	HENGFLOC 83912	Катионный	5	20	0,864
4	Полиакриламид FA 10/S	Анионный	4	10	3,051
5	Полиакриламид FA 30	Анионный	5	10	1,944
6	Полиакриламид FA 20	Анионный	5	10	1,62
7	Полиакриламид FA 10	Анионный	5	10	1,539

Для определения наиболее эффективного флокулянта, а также его оптимальной концентрации было изучено влияние концентрации исследуемых флокулянтов на прозрачность обрабатываемой сточной воды. Введение флокулянтов в сточные воды происходило через 60 с после введения коагулянта (сульфата алюминия) при концентрации 40 мг/л. Прозрачность обработанных сточных вод определялась при помощи шрифта (по Снеллену) [11]. Результаты исследований представлены на рис. 3.

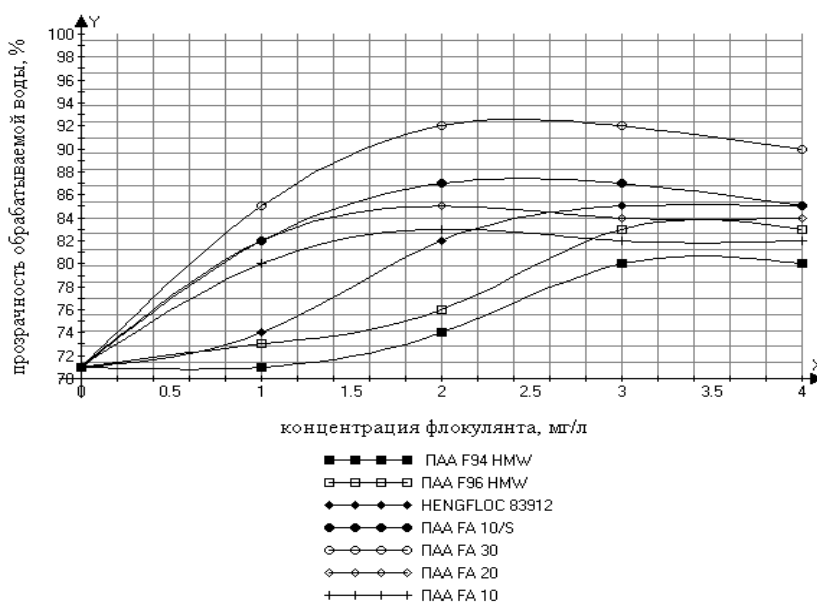


Рис. 3. Влияние концентрации флокулянтов на показатели прозрачности сточных вод

Как свидетельствуют данные, приведенные в рис. 3, наиболее эффективным флокулянтом катионного типа является HENGFLOC при концентрации 3 мг/л, а анионного типа – ПАА F 30 с концентрацией 2 мг/л, о чем свидетельствует повышение прозрачности на 13% и 9% соответственно. Остальные исследуемые флокулянты обеспечивают меньшую прозрачность обрабатываемых сточных вод, что позволяет предполагать о нецелесообразности их применения.

На следующем этапе работы был определен оптимальный интервал времени между введением коагулянта и флокулянта по таким показателям очищенных сточных вод как время осаждения, мутность и остаточное содержания ионов алюминия. Интервал времени введения флокулянта варьировался от 0 до 60 с. Результаты исследований представлены в таблице 2.

Данные, представленные в табл. 2, свидетельствуют о том, что для коагулянта сульфата алюминия и катионного флокулянта HENGFLOC при найденной концентрации 0,03 мг/л оптимальным интервалом времени введения является 30 с. Об этом свидетельствует снижение мутности в 4,5 раза, сокращение времени осаждения и незначительное снижение содержания ионов алюминия на 0,8%. Введение флокулянта ПАА FA 30 анионного типа при концентрации 2 мг/л с интервалом в 30 с после коагулянта способствует снижению показателя мутности более чем в 5 раз и повышению скорости процесса осаждения водного осадка – время осаждения сокращается в 2,5 раза. Увеличение интервала времени нецелесообразно.

Вывод

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующий вывод: среди исследуемых флокулянтов производных полиакриламида наиболее эффективными оказались катионный HENGFLOC с концентрацией 3 мг/л и анионный ПАА FA 30 с концентрацией 2 мг/л. При этом прозрачность обрабатываемых сточных вод повышается на 13% и 9% соответственно. Оптимальный интервал времени между введением коагулянта сульфата алюминия и выбранных флокулянтов составляет 30 с, о чем свидетельствует сокращение времени осаждения, снижение мутности и остаточного содержания ионов

**Влияние интервала времени между введением коагулянта
и флокулянта на качество очистки сточных вод**

Флокулянт	Интервал времени, с	Время осаждения, мин	Очищенная вода	
			Мутность мг/л	Остаточное содержание Al, мг/л
HENGLOC 83912	0	24	1,8	2,9
	10	18	0,4	2,9
	20	14	0,4	2,75
	30	11	0,4	2,6
	60	12	0,4	2,6
ПАА FA 30	0	20	1,6	2,9
	10	16	0,3	2,7
	20	12	0,3	2,5
	30	8	0,3	2,5
	60	8	0,3	2,5

Литература

1. Кузнецова Е.Г. Исследование влияние электроразрядной обработки на степень очистки сточных вод в процессах коагуляции и флокуляции / Е.Г. Кузнецова, Ю.Г. Сарибекова // Восточно-европейский журнал передовых технологи. – 2011. – № 4. – С. 50–53.
2. Пушкарев В.В. Физико-химические особенности очистки сточных вод от поверхностно-активных веществ / В.В. Пушкарев, И.Д. Трофимов. – М. : Химия, 1975. – 144 с.
3. Кульский Л.А. Технология очистки природных вод / Л.А. Кульский, П.П. Строкач. – К. : Вища школа, 1981. – 328с.
4. Бабенков Е.Д. Очистка воды коагулянтами / Е.Д. Бабенков. – М. : Знание, 1983. – 64 с.
5. Вейцер Ю.И. Высокомолекулярные флокулянты в процессах очистки природных и сточных вод / Ю.И. Вейцер, Д.М. Минц. – М. : Стройиздат, 1984. – 202 с.
6. Небера В.П. Флокуляция минеральных суспензий / Небера В.П. – М. : Недра, 1983. – 288 с.
7. Гандурина Л.В. Совершенствование технологии очистки сточных вод с применением флокулянтов: дис. ... д-ра технических наук : 05.23.04 / Гандурина Людмила Васильевна. – М., 2005. – 338 с.
8. Ярошевская Н.В. Метод расчета водоочистки фильтра с учетом гранулометрического состава загрузки / Н. В. Ярошевская // Химия и технология воды. – 2007. – Т. 29. – № 3. – С. 275–293.
9. Запольский А.К. Коагулянты и флокулянты в процессах очистки воды: Свойства. Получение. Применение / А.К. Запольский, А.А. Баран. – М. : Химия, 1987. – 208 с.
10. Кузнецова Е.Г. Оценка влияния электроразрядной обработки на изменение свойств и структуры воды / Е.Г. Кузнецова, Ю.Г. Сарибекова // Восточно-европейский журнал передовых технологи. – 2012. – № 1. – С. 50–55.
11. Руководство по химическому и технологическому анализу воды / [под ред. Е.А. Мельникова]. – М. : Стройиздат, 1973. – 273с.

Рецензент: д.т.н. Сарибеков С.Г.
Надійшла 6.2.2012 р.

УДК 66.067.12:624.78

Л.В. ПЕЛИК
Львівська комерційна академія

ЗНОШУВАННЯ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ЗМІНУ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ

Досліджено зношування фільтрувальних текстильних матеріалів у виробничих умовах. Проаналізовано його вплив на механічні властивості рукавних фільтрів в умовах високих температур.

The wear of filtration textile materials is investigational in productive terms. His influence is analysed on mechanical properties of baghoses in the conditions of high temperatures.

Ключові слова: розривальне навантаження, видовження на момент розірвання, жорсткість.

Вступ

У процесі фільтрування промислового газу матеріали в рукавному фільтрі піддаються складному комплексу механічних впливів, зокрема постійним розтягуючим навантаженням. Висока міцність

фільтрувальних матеріалів не є визначальним фактором для встановлення придатності рукавів до подальшої експлуатації. Зношування цих матеріалів характеризується поступовою динамічною втомою в результаті багаторазових циклів механічних дій.

Термін експлуатації кожного рукавного фільтра визначається часом із моменту пуску фільтрувальної установки до утворення першого розриву, оскільки до цього часу важко виявити зношені місця. На довговічність матеріалу в рукавному фільтрі може впливати ряд факторів: температура газів; величина зусиль розтягу, яка залежить від гідравлічного опору запиленого матеріалу; вміст у газах різноманітних хімічно агресивних компонентів; пил, що осідає на волокнах у процесі фільтрування; хімічний склад та будова матеріалу; попереднє оброблення [1, 2].

Постановка завдання

Метою роботи являлось дослідження зношування фільтрувальних текстильних матеріалів та їх вплив на зміну механічних властивостей.

Об'єкти та методи дослідження

Дослідна експлуатація рукавних фільтрів з тканих фільтрувальних матеріалів проводилась на Актюбінському заводі феросплавів (Республіка Казахстан) та з нетканих фільтрувальних матеріалів на Алчевському металургійному комбінаті (Україна) і Аксуському заводі феросплавів (Республіка Казахстан). Випробування рукавних фільтрів із тканих матеріалів проводилися на фільтрах ФРЗП (фільтр рукавний відкритого типу з системою регенерації – зворотна продувка), а для нетканих матеріалів проводилися на фільтрах ФРІР (фільтр рукавний з імпульсною системою регенерації).

Фільтри рукавні зі зворотною продувкою, пошиті з досліджуваних тканин (вар. 1, вар. 9, вар. 10) та з імпульсною системою регенерації, пошиті з досліджуваних нетканих матеріалів (вар. 11, вар. 13, вар. 14), забезпечували очистку пилогазового потоку з гранично допустимою залишковою запиленістю не більше $0,01 \text{ г/м}^3$. Технологічне обладнання газоочистки працювало безперервно 8 годин на зміну, 3 зміни на добу, 7 днів на тиждень. У такому режимі фільтрувальні рукави працювали протягом встановлених термінів експлуатації.

Результати дослідження

У результаті дослідження встановлено, що тривала експлуатація (18 місяців – для матеріалів із термостійких волокон, 12 місяців – для поліефірних матеріалів) фільтрувальних матеріалів призводить до змін показників їх будови, а також механічних і теплофізичних властивостей. Руйнування фільтрувальних матеріалів відбувається в результаті розриву хімічних і міжмолекулярних зв'язків під дією теплових енергетичних взаємодій та механічної напруги [3]. Процес руйнування матеріалу починається з моменту виникнення найменшого навантаження.

Таблиця 1

Дослідження механічних властивостей фільтрувальних матеріалів з термостійких волокон у процесі експлуатації

Варіант досліджуваного зразка	Розривальне навантаження, Н			Видовження на момент розривання, %			Жорсткість, $\text{мкН}\cdot\text{см}^2\cdot 10^3$		
	до випробування	після експлуатації		до випробування	після експлуатації		до випробування	після експлуатації	
		значення	%		значення	%		значення	%
Поліефірна тканина (вар. 1)	2900/ 1231	1633/ 619	56,3/ 50,3	38/ 21	22/ 11	57,8/ 52,4	23,9/ 21,6	30,7/ 27,9	128,5/ 129,2
Арселінова тканина (вар. 9)	1520/ 1000	1195/ 758	78,6/ 75,8	30/ 22	24/ 17	80,0/ 77,2	8,3/ 7,8	9,3/ 8,8	112,0/ 112,8
Склотканина (вар. 10)	3210/ 2000	2923/ 1810	91,1/ 90,5	15/ 11	14/ 10	93,3/ 90,9	32,3/ 30,1	34,5/ 31,4	106,8/ 104,3
Нетканий поліефірний матеріал (вар. 11)	1800/ 1800	986/ 911	54,8/ 50,6	20/ 26	11/ 14	55,0/ 53,8	387,9/ 369,4	516,3/ 482,4	133,1/ 130,6
Нетканий арселіновий матеріал (вар. 13)	801/ 700	612/ 511	76,4/ 73,0	10/ 10	7/ 8	70,0/ 80,0	379,9/ 372,3	436,2/ 429,6	114,8/ 115,4
Нетканий матеріал із волокон номексу (вар. 14)	450/ 1250	398/ 1111	88,4/ 88,9	22/ 40	19/ 35	86,4/ 87,5	381,4/ 370,1	436,4/ 426,5	114,5/ 115,2

Примітка: у чисельниках умовних дробів наведені значення за основою/довжиною, а у знаменниках – значення за утком/шириною.

Аналізуючи дані табл.1, можна відзначити, що під час експлуатації утворюється новий тип фільтрувального матеріалу з підвищеною зв'язаністю і напруженістю будови.

Структурні зміни обумовлюються зміною основних механічних властивостей досліджуваних матеріалів, а також будовою самих волокон. Так, міцність термостійкої арселенової тканини (вар. 9) за основою після 18 місяців експлуатації знизилась до 1195Н порівняно з початковим 1520 Н, що складає всього 78,6 % від початкового значення, а за утком – 75,8 % (758 Н зі 1000 Н). Оцінюючи показник розривального навантаження для поліефірної тканини (вар.1), яка пропрацювала у фільтрувальній установці 12 місяців, спостерігаються ще суттєвіші зміни – за основою вона зберегла 56,3 % початкової міцності (1633 Н зі 2900 Н), а за утком – 50,3 % (619 Н зі 1231 Н відповідно). В умовах експлуатації у склотканині (вар.10) не відбулося явних змін у показниках розривального навантаження. Так, показник розривального навантаження у вар. 10 знизився найменше, і протягом 18 місяців роботи у фільтрувальній установці він становить за основою 91,1 % початкової міцності (2923 Н зі 3210 Н), а за утком – 90,5 % (1810 Н зі 2000 Н відповідно). Склотканини, крім високих механічних властивостей характеризуються високою хімічною стійкістю і не піддаються дії кислот та лугів. Фтористі з'єднання, які містять фтористий водень, фтористий кремній і фтористий бор, можуть руйнувати скло тільки за наявності вологи, яка відсутня при робочих температурах. Поверхня склотканини не адсорбує ні воду, ні інші розчини, ні газ.

Досліджено, що після 18 місяців експлуатації показник розривального навантаження термостійкого нетканого арселенового матеріалу (вар. 13) за довжиною знизився до 612 Н порівняно з початковим 801 Н, що складає 76,4 % від початкового значення, а за шириною – 73,0 % (511 Н зі 700 Н). Показник розривального навантаження для нетканого матеріалу з волокон номексу (вар.14) є найвищим і за довжиною становить 88,4 % початкової міцності (398 Н зі 450 Н), а за шириною – 88,9 % (1111 Н зі 1250 Н). Найменшим розривальним навантаженням після 12 місяців експлуатації характеризується поліефірний нетканый матеріал (вар. 11), який за довжиною становить 54,8% початкової міцності (986 Н зі 1800 Н), а за шириною – 50,6 %.

Встановлено, що зниження показників розривального навантаження обумовлене структурними змінами фільтрувальних текстильних матеріалів після певного періоду експлуатації, які залежать від природи волокна та умов експлуатації рукавних фільтрів. Разом з тим, відзначені зміни безпосередньо торкаються тільки поверхневих шарів структури самого волокна. Волокна у нетканому матеріалі змінюють свою поверхневу структуру несуттєво, адже процес регенерації відбувається імпульсним методом, а фільтрування відбувається в об'ємі самого матеріалу. У фільтрувальній тканині процес регенерації відбувається зворотною продувкою, в якій волокна зазнають механічних навантажень. Нанесення політетрафторетиленового оброблення зміцнило структуру волокна, тим самим покращило механічні властивості фільтрувальних матеріалів.

Аналізуючи результати проведених нами досліджень, можна зробити висновок, що політетрафторетиленове оброблення, нанесене на склотканину та неткані матеріали із волокон арселону та номексу, під час промислових випробувань на початкових етапах експлуатації відіграло важливу роль. Це оброблення дозволило підвищити хімічну стійкість, стійкість до іскор при пікових температурах, полегшило процес регенерації пилового шару зі стінок фільтрувальних рукавів та підвищило довговічність при високих температурах.

Видовження на момент розірвання для досліджуваних поліефірних матеріалів зменшилося практично вдвічі в обох напрямках: для тканини (вар. 1) за основою воно становить 22 %, за утком – 11 %, а для нетканого полотна (вар. 11) – 11% та 14 % відповідно. Це зумовлено тим, що частинки пилу потрапили всередину матеріалу, утворили механічний бар'єр, розташувались між волокнами і ущільнили його структуру, а також через тривалу дію підвищеної температури на поліефірні волокна. У фільтрувальних матеріалах із термостійких волокон видовження на момент розірвання знаходилось у межах 70,0 – 93,3%.

Під час промислової експлуатації відбувається збільшення маси фільтрувального матеріалу за рахунок накопиченого пилу, що призводить до підвищення жорсткості та зниження еластичності. Так, найбільшою жорсткістю характеризуються поліефірні матеріали (вар. 1 та вар. 11), у яких за 12 місяців експлуатації цей показник знаходиться у межах 128,5% – 133,1% початкової жорсткості. У фільтрувальній склотканині цей показник підвищився найменше і становить 106,8% за основою і 104,3% за утком. Жорсткість арселенових матеріалів за 18 місяців експлуатації підвищилася незначно і знаходилась у межах 112,0 – 115,4% від початкової жорсткості.

Як і всі механічні властивості, жорсткість фільтрувальних тканин залежить від їх волокнистого складу, будови, властивостей волокон та ниток, а також від структури та оброблення самого матеріалу. Незначне підвищення жорсткості термостійких фільтрувальних матеріалів після експлуатації пояснюється високим модулем пружності волокон. Чим більше розпрямлені та орієнтовані ланцюгові молекули полімеру, тим більше внутрішнє тертя, що обмежує можливість переміщення ланцюгів молекул, тим менша гнучкість волокон і більший модуль їх пружності.

Основним завданням при регенерації є підтримування режиму, який забезпечує максимальне зниження гідравлічного опору фільтра при збереженні високої ефективності самого процесу фільтрації. Слід також відзначити, що інтенсивність регенерації запиленого фільтрувального матеріалу прямо залежить від величини адгезії пилу, тому для зниження гідравлічного опору необхідно більше турбуватися про

руйнування шару пилу, ніж про його видалення з матеріалу. Підтримання технологічних параметрів роботи рукавного фільтра в оптимальних межах призводить до високої ефективності газоочистки. Результати дослідження представлені у табл. 2.

Таблиця 2

Ефективність газоочистки текстильних рукавних фільтрів

Варіант зразка	Ефективність вловлювання (протягом всієї плавки), %				
	1 замір	2 замір	3 замір	4 замір	5 замір
Поліефірна тканина (вар.1)	92,7	95,58	93,82	94,98	94,32
Арселінова тканина (вар.9)	98,81	99,21	99,76	99,13	98,89
Склотканина (вар.10)	99,21	99,51	99,25	99,29	99,15
Нетканий поліефірний матеріал (вар. 11)	95,64	94,32	91,95	94,17	95,59
Нетканий арселіновий матеріал (вар. 13)	98,66	99,07	99,23	97,88	99,11
Нетканий матеріал із волокон номексу (вар. 14)	98,47	98,62	99,01	99,06	99,26

Аналізуючи результати, встановлено, що у фільтрах із поліефірного матеріалу (вар. 1 та вар. 11) після 12 місяців експлуатації ефективність пиловловлювання була нижчою і становила 91,95 – 95,64 %, ніж в установках із використанням арселінового матеріалу (вар. 9 та вар. 13) – 98,66 – 99,76% відповідно. У досліджуваному фільтрувальному нетканому матеріалі волокна номексу (вар. 14) після 18 місяців експлуатації ефективність вловлювання вихідних газів знаходилася у межах 98,47 – 99,26 % протягом плавки, а у склотканині (вар. 10) за весь період плавки вона становила 99,51%. Це свідчить про оптимально підібраний волокнистий склад полотен та їх спосіб виробництва, які зумовлюють структуру фільтрувального текстильного матеріалу.

Висновки

Встановлено, що в умовах експлуатації утворюється новий тип фільтрувального матеріалу з підвищеною зв'язаністю і напруженістю структури. Структурні зміни обумовлюються зміною основних механічних властивостей досліджуваних матеріалів, а також будовою самих волокон. У фільтрувальних термостійких матеріалів після 18 міс. експлуатації зниження показника розривального навантаження лежить у межах від 8,9% до 23,6%. В умовах експлуатації у склотканині не відбулося явних змін у показниках розривального навантаження. Оцінюючи механічні властивості для поліефірних матеріалів, які пропрацювали у фільтрувальній установці 12 міс., спостерігаються суттєвіші зміни – показник розривального навантаження знизився на 43,7%.

Досліджено, що під час промислової експлуатації відбувається збільшення маси фільтрувального матеріалу за рахунок накопиченого пилу, що приводить до підвищення жорсткості та зниження еластичності. Так, найбільшою жорсткістю характеризуються поліефірні матеріали, у яких за 12 місяців експлуатації цей показник підвищився на 33,1%. У фільтрувальній склотканині цей показник підвищився найменше на 6,8%. Жорсткість арселінових матеріалів за 18 місяців експлуатації підвищилась незначно і знаходилась у межах 12,0% – 15,4%.

Література

1. 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.
2. Беликов Е. И. Новые нетканые материалы технического назначения / Е. И. Беликов // Нетканые материалы. Продукция, оборудование, технологии. – 2009. – № 4 (9). – С. 16.
3. Гурова Е. Ю. Влияние термического старения на механические свойства нитей на основе ароматических полимеров : автореф. дис. на соискание науч. степени к. т. н. / Е. Ю. Гурова. – Л. : СГУТД, 2005. – 20 с.

Рецензент: д.т.н. Симак Б.Д.
Надійшла 13.2.2012 р.

УДК 004.42

О.В. ПОМОРОВА, С.О. ПАРФЕНОВ

Хмельницький національний університет

О. О. ІЛЛЯШЕНКО

Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «ХАІ», м. Харків

ВИКОРИСТАННЯ СЕРЕДОВИЩА IBM RATIONAL RHAPSODY DEVELOPER ДЛЯ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ

У статті описується процес розробки моделі програмного забезпечення у середовищі IBM Rational Rhapsody Developer відповідно до поставлених вимог, тестування моделі на відповідність вимогам та верифікація автоматично згенерованого коду засобами Understand Source Code Analysis and Metrics та PVS-Studio.

This article describes the process of software model development using IBM Rational Rhapsody Developer according to requirements, model testing for requirements compliance and automatically generated code verification using Understand Source Code Analysis and Metrics and PVS-Studio.

Ключові слова: моделювання, вимоги, верифікація, тестування на відповідність вимогам.

Вступ

Якість майбутнього програмного забезпечення можна прогнозувати ще на етапі розробки вимог. Неправильне формулювання або протиріччя у вимогах призводять до помилок у ПЗ та його невідповідності очікуванням замовника. Статистика показує, що витрати на усунення помилок у визначенні вимог до ПЗ у процесі розробки, в залежності від етапу життєвого циклу проекту, можуть досягати від 30 до 50% загального бюджету [1]. Для запобігання цьому створено правила розробки вимог та роботи із ними, що регламентуються міжнародними стандартами [2–5].

IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology [12] визначає вимоги як:

- 1) умови чи можливості, необхідні користувачу для вирішення проблем або досягнення цілей;
- 2) умови чи можливості, якими повинна володіти система або системні компоненти щоб виконати контракт або задовольняти стандартам, специфікаціям чи іншим формальним документам;
- 3) документоване представлення умов чи можливостей для п. 1 та 2.

Виділяють три види вимог: функціональні, не функціональні та вимоги до предметної галузі [13, 14]. Функціональні вимоги визначають поведінку ПЗ та задачі, які воно вирішуватиме [14]. Не функціональні вимоги описують такі характеристики ПЗ, як надійність, ефективність, продуктивність та ін. До не функціональних вимог також відносять обмеження, які накладаються на ПЗ та окремі потреби користувачів [14]. Вимоги до предметної галузі характеризують галузь використання ПЗ. Такі вимоги можуть бути функціональними та не функціональними [14].

При розробці складних програмних систем проєктувальник повинен мати можливість створити програмну модель для дослідження модульності, об'єктів системи та зв'язків між ними, процесів, які виконуються під час функціонування моделі та провести тестування на відповідність вимогам. Для даної мети широко використовуються засоби візуального моделювання, серед яких Enterprise Architect [6], IBM Rational Rhapsody [7], Eclipse UML [8], SpringRoo [9], Grails [10] та ін. Перелічені засоби вирішують задачі створення UML-моделей, автоматичної генерації коду, виконання тестування та створення документації. Для досліджень було обрано середовище IBM Rational Rhapsody Developer версії 7.6, оскільки, згідно з [11, 16], це середовище є лідером на ринку UML 2.1 Model Driven Development рішень та використовує ряд перспективних технологій, які забезпечують користувачам найбільш ефективні засоби розробки систем та програмного забезпечення.

Постановка задачі

Метою роботи є дослідження послідовності розробки моделі програмного забезпечення системи автоматичного захисту потяга у середовищі IBM Rational Rhapsody Developer згідно з вимогами, тестування моделі на відповідність вимогам та верифікація автоматично згенерованого коду.

Вимоги до кінцевого продукту

Система автоматичного захисту потяга (САЗП) – це складний комплекс програмних засобів для залізничної сигнальної системи [15]. Вона складається з двох частин: зовнішнього обладнання, розташованого вздовж залізниці, та бортового обладнання, розміщеного в кабіні машиніста (рис. 1). Зовнішнє обладнання – це ядро системи, що виконує усі логічні функції. Воно обчислює можливість подальшого руху потяга за маршрутом на основі отриманих даних про його місцезнаходження, маршрут, даних про залізничну лінію та стану обладнання. Бортове обладнання слугує для керування потягом та передачі даних про його місцезнаходження та стан.

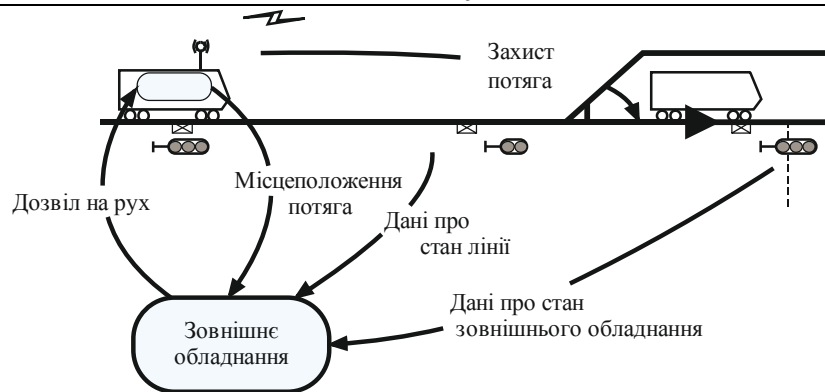


Рис. 1. Структура та принцип роботи системи автоматичного захисту потяга

Складовою бортового обладнання є кнопка підтвердження про отримання обмежувального сигналу семафора (далі «кнопка»). Призначення кнопки наступне: після того, як машиніст побачив сигнал певного роду (наприклад, жовтий сигнал залізничного семафора), він повинен натиснути кнопку для підтвердження. Кнопка може бути натиснута та відпущена лише двічі. У випадку, коли потяг минув семафор та кнопка не була натиснута і відпущена, система повинна активувати гальма до моменту повної зупинки потяга. Нижче наведено вимоги до САПЗ:

1. Кнопка повинна бути натиснута, а потім відпущена протягом 12 секунд до досягнення обмежувального сигналу.
2. Якщо кнопка була натиснута протягом часового інтервалу, більшого ніж 12 секунд, система повинна активувати гальма до моменту повної зупинки потяга.
3. Якщо швидкість потяга рівна нулю та гальма не активовані, система не повинна активувати гальма.
4. Якщо швидкість потяга рівна нулю та гальма активовані, система повинна деактивувати гальма.
5. Процедура натискання та відпускання кнопки повинна бути виконана в інтервалі між двоохсот п'ятдесятьма та нулем метрів до обмежувального сигналу
6. Якщо обмежувальний сигнал пройдено і кнопка не була натиснута та відпущена, система повинна активувати гальма до моменту повної зупинки потяга.
7. Якщо обмежувальний сигнал не досягнуто протягом двоста п'ятдесяти метрів після останньої процедури натискання та відпускання кнопки, система повинна активувати гальма до моменту повної зупинки потяга.
8. Коли кнопка була натиснута, система повинна активувати сигналізатор натискання на одну секунду.
9. Кількість процедур натискання та відпускання кнопки обмежена двома. Коли процедура повторюється, система повинна обнулити лічильник дистанції до очікуваного обмежувального сигналу.
10. Якщо процедура натискання та відпускання кнопки повторюється третій раз, система повинна ігнорувати цю подію.
11. Якщо після процедури натискання та відпускання кнопки було пройдено обмежувальний сигнал, система не повинна активувати гальма.
12. У будь-якому разі, коли будь-який сигнал було пройдено, система повинна обнулити лічильник натискань кнопки та лічильник, що вимірює дистанцію до очікуваного сигналу.
13. Кожного разу, коли система активує гальма, вона повинна скидати усі лічильники.

Моделювання кнопки підтвердження про отримання обмежувального сигналу семафора

Основними компонентами моделі є компоненти «кнопка» (button), «гальма» (brakes) та «обмежувальний сигнал» (Restrictive Signal). Тому до складу моделі увійшли три програмних модулі: модуль кнопки (button), модуль гальм (brakes) та модуль, який описує систему відслідковування обмежувального сигналу (RSsystem). Початкова модель зображена на рис. 2.

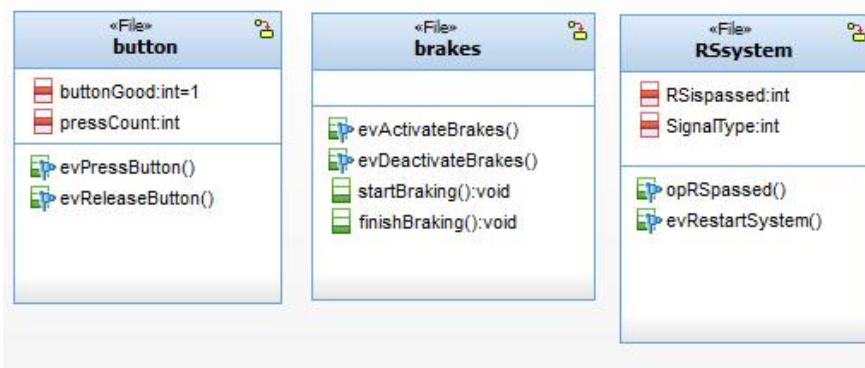


Рис. 2. Компоненти початкової моделі

Кожен програмний модуль містить процедури та змінні, за допомогою яких можна описати поведінку відповідних компонентів реальної системи. Модель, зображена на рис. 2 містить 1221 рядок коду.

На наступному етапі відбувалось доповнення моделі для задоволення усім поставленим вимогам. Аналіз показав, що виконання вимог №12 та №13 не потребує великих змін у моделі програмного продукту, тому їх реалізація виконувалась в першу чергу. Доповнення моделі для задоволення цих вимог обмежилось додаванням функцій `ResetRSsystem()`, та `resetButtonPress()` у програмні модулі «RSsystem» та «button».

Наступним етапом було розширення моделі для задоволення вимог №3, №4, №6 та №10. Для задоволення вимозі №6 додано функцію `WhenPassed()` та декілька додаткових умов. Для задоволення вимог №3 та №4 створено окремий програмний модуль `OUTside`, в якому визначені зовнішні змінні, видимі в межах усієї системи керування потягом. Для задоволення вимозі №10 додано одну умову в опис поведінки програмного модуля «кнопка». В загальному, реалізація цих умов не призвела до значного збільшення об'єму генерованого програмного коду.

Для задоволення вимог №1 та №2 створено окремий програмний модуль «timer», який описує поведінку компонента САПЗ «таймер натиснення кнопки». Модуль містить п'ять процедур та одну змінну. Також вносились певні зміни у вже існуючі файли для взаємодії інших програмних модулів з модулем «timer». Після усіх вищеписаних дій код моделі збільшився на 456 рядків. Таким чином, після внесених змін для задоволення вимог №1, №2, №3, №4, №6, №10, №12, №13 модель містила п'ять модулів (рис. 3.), та її код збільшився від 1221 рядка до 1972 рядків (разом із програмним модулем `OUTside`, який описує змінні та функції зовнішніх компонентів).

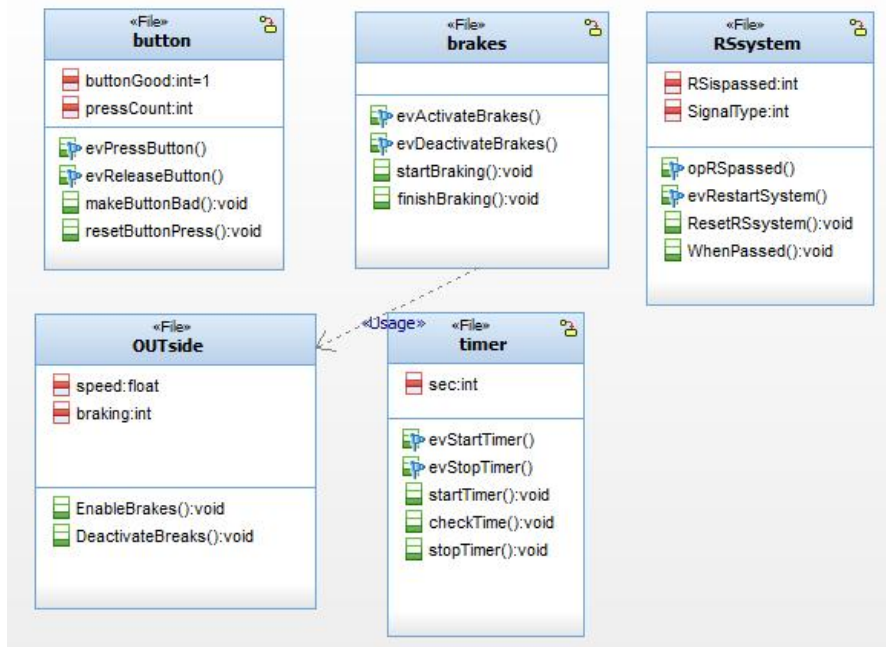


Рис. 3. Компоненти удосконаленої моделі

Для задоволення вимог №5 та №7 створено окремий модуль «Лічильник дистанції», який відповідає за вимірювання дистанції до очікуваного обмежувального сигналу. Для його опису створено файл `Distance2RS`, що містить дві змінні та шість функцій. Модуль «Лічильник дистанції» взаємодіє з модулем «кнопка» (після «відпускання» кнопки відбувається скидання та повторний запуск лічильника) та використовує змінну «speed», що відповідає за швидкість, та знаходиться у модулі `OUTside`. Генерований код для програмного модуля «Лічильник дистанції» складає 433 рядка.

Задоволення вимог №9 та №11 обмежилось додаванням декількох умов до вже існуючих функцій програмних модулів, що призвело до незначного збільшення генерованого програмного коду.

Для задоволення останній вимозі №8 створено окремий програмний модуль «Сигналізатор натиснення кнопки», що описаний у модулі `ButtonAlarm`. Хоча, для взаємодії модулів «кнопка» та «Сигналізатор натиснення кнопки» не вносились суттєві зміни в існуючу модель, опис цього модуля збільшив генерований програмний код на 407 рядків.

Для дослідження підходу до наповнення моделі функціональністю відповідно до поставлених вимог 1–13 оцінимо динаміку зростання об'єму програмного коду у програмних модулях, що описують компоненти моделі при доповненні її функціональності. На початковому етапі модель містила 1221 рядок програмного коду. Задоволення вимог №1, №2, №3, №4, №6, №10, №12, №13 призвело до збільшення об'єму програмного коду на 751 рядок. Задоволення вимог №5 та №7 призвело до збільшення об'єму програмного коду на 433 рядка. Задоволення вимозі №8 призвело до збільшення об'єму програмного коду моделі на 407 рядків. Таким чином, кінцева модель програмного продукту, що задовольняє усім вимогам (рис. 4) містить 2822 рядки генерованого програмного коду, що понад вдвічі більше від початкової моделі.

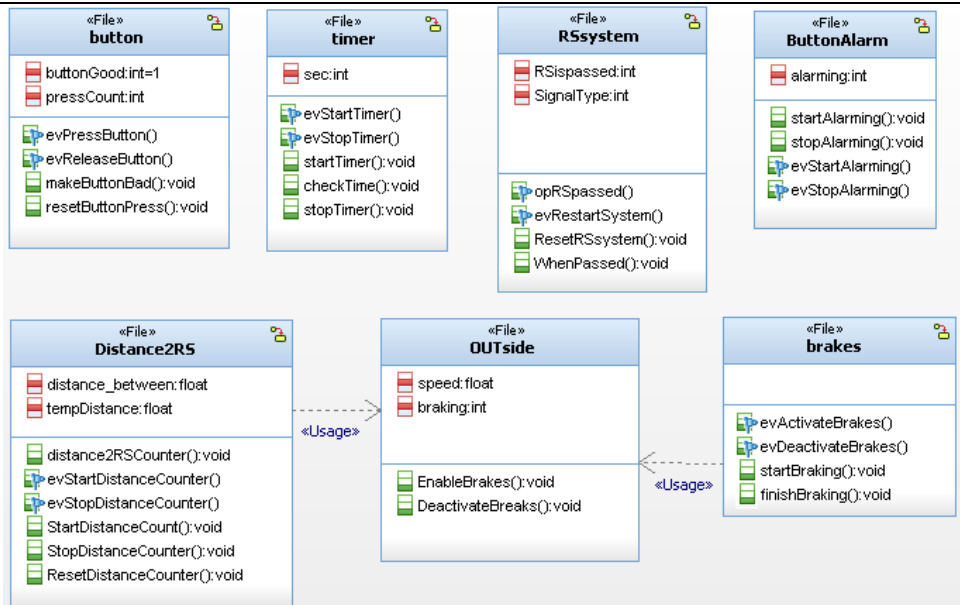


Рис. 4. Компоненти кінцевої моделі ПЗ

- Проведемо аналіз відповідності моделі, представленої на рис. 4 переліку вимог до САПЗ. Для цього розроблено прототип панелі керування потягом (Рис. 5.), який містить наступні елементи:

- *кнопка натиснута (сек.) (Buttonispressed (sec))* – рахує час (в секундах) протягом якого натиснута кнопка;
- *лічильник натискань кнопки (Buttonpressingcounter)* – лічильник, що рахує кількість натиснень кнопки;
- *сигнал пройдено (Signalpassed)* – сигналізатор проходження сигналу;
- *тип сигналу (Signaltype)* – вказівник (присутній лише під час моделювання) на тип пройденого сигналу;
- *КНОПКА (натиснути, відпустити) (BUTTON (Press, Release))* – комплекс для моделювання натиснення та відпущення кнопки (присутній лише під час моделювання);
- *кнопка справна (Buttonisgood)* – індикатор справності кнопки;
- *сигналізатор натиснення кнопки (Buttonalarm)* – сигналізатор натиснення кнопки;
- *швидкість потяга (Trainspeed)* – аналоговий тахометр швидкості потяга;
- *швидкість (Speed)* – регулятор швидкості (присутній лише під час моделювання);
- *гальма (Braking)* – сигналізатор процесу гальмування потяга;
- *швидкість (км/год) (Speed (km/h))* – цифровий тахометр швидкості потяга;
- *пройдений шлях (м) (Passeddistance (m))* – лічильник дистанції до очікуваного обмежувального сигналу;

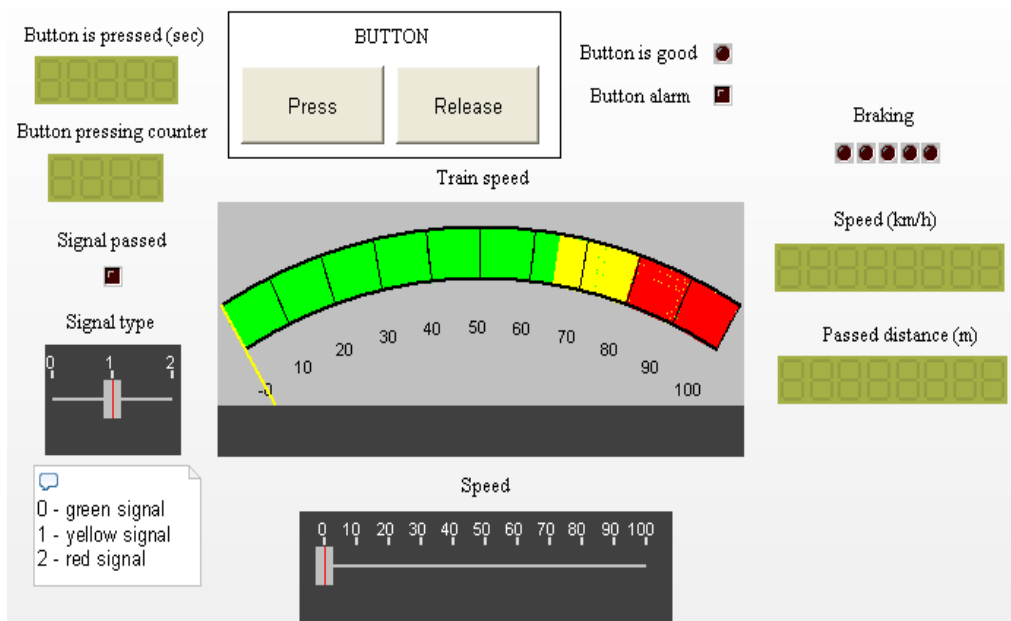


Рис. 5. Прототип панелі керування потягом

Тести для визначення покриття вимог

Номер вимоги	Опис вимоги	Тест	Покриття
1	2	3	4
1	Кнопка повинна бути натиснута, а потім відпущена протягом 12 секунд до досягнення обмежувального сигналу	<ul style="list-style-type: none"> - Початкова швидкість потяга більше 0 - Кнопка нажата та відпущена за час, менший ніж 12 секунд - Лічильник дистанції активований, лічильник натиснень кнопки збільшився на 1 	+
2	Якщо кнопка була натиснута протягом часового інтервалу, більшого ніж 12 секунд, система повинна активувати гальма до моменту повної зупинки потяга	<ul style="list-style-type: none"> - Початкова швидкість потяга більше 0 - Кнопка «зажата» на час, більший ніж 12 секунд - Стан кнопки змінено на «зламана» - Система активувала гальма до моменту повної зупинки потяга (швидкість == 0) 	+
3	Якщо швидкість потяга рівна нулю та гальма не активовані, система не повинна активувати гальма	<ul style="list-style-type: none"> - Швидкість потяга рівна нулю - Гальма не активовані - Система не активувала гальма при надходженні відповідного сигналу 	+
4	Якщо швидкість потяга рівна нулю та гальма активовані, система повинна деактивувати гальма	<ul style="list-style-type: none"> - Початкова швидкість потяга більше нуля - Гальма активовані (надійшов сигнал активації гальм) - Швидкість потяга зменшилась до нуля (зупинка потяга) - Гальма деактивовані (надійшов сигнал деактивації гальм) 	+
5	Процедура натиснення та відпускання кнопки повинна бути виконана в інтервалі між двохсот п'ятдесятьма та нулем метрів до обмежувального сигналу	<ul style="list-style-type: none"> - Вимога уточнює вимоги №6 та №7 і не може бути протестована як окрема вимога. Вона виконується у випадку виконання вимог №6 та №7 	+
6	Якщо обмежувальний сигнал пройдено і кнопка не була натиснута та відпущена, система повинна активувати гальмо до моменту повної зупинки потяга	<ul style="list-style-type: none"> - Початкова швидкість потяга більше нуля - Процедура натиснення та відпускання кнопки не відбувалась - Сигнал пройдено (відповідний тригер змінив значення) - Гальма активовано (отримано сигнал активації гальм) - Швидкість знизилась до нуля - Гальма деактивовано (отримано сигнал деактивації гальм) 	+
7	Якщо обмежувальний сигнал не досягнуто протягом двоста п'ятдесяти метрів після останньої процедури натиснення та відпускання кнопки, система повинна активувати гальма до моменту повної зупинки потяга.	<ul style="list-style-type: none"> - Початкова швидкість потяга більше нуля - Кнопка була натиснута та відпущена - Лічильник дистанції до очікуваного сигналу налічив 250 метрів від моменту останньої процедури натиснення та відпускання кнопки - Активовано гальма потяга 	+
		<ul style="list-style-type: none"> - Початкова швидкість потяга більше нуля - Кнопка була натиснута та відпущена - Сигнал пройдено (відбулась зміна значення відповідного тригера) до моменту, коли лічильник дистанції до очікуваного сигналу налічив 250 метрів - Гальма не активовано, лічильник обнулено 	+
8	Коли кнопка була натиснута, система повинна активувати сигнал натиснення на одну секунду	<ul style="list-style-type: none"> - Кожного разу, коли кнопка натиснута, система активує сигналізацію - Після секундної сигналізації, система деактивує останню 	+

1	2	3	4
9	Кількість процедур натиснення та відпускання кнопки обмежена двома. Коли процедура повторюється, система повинна обнулити лічильник дистанції до очікуваного обмежувального сигналу.	- Початкова швидкість потяга більше нуля - Кнопка натиснута та відпущена вперше - Активовано лічильник дистанції до очікуваного сигналу - Кнопка натиснута та відпущена вдруге (показники лічильника дистанції менші за 250 метрів) - Лічильник дистанції обнулено та запущено повторно	+
10	Якщо процедура натиснення та відпускання кнопки повторюється третій раз, система повинна ігнорувати цю подію	- Початкова швидкість потяга більше нуля - Кнопка натиснута та відпущена вперше - Лічильник дистанції активовано - Кнопка натиснута та відпущена вдруге (пройдена дистанція менше 250 метрів) - Лічильник дистанції обнулено та запущено повторно - Кнопка натиснута і відпущена втретє - Лічильник дистанції продовжує підрахунок дистанції без скидання.	+
11	Якщо після процедури натиснення та відпускання кнопки було пройдено обмежувальний сигнал, система не повинна активувати гальма	- Початкова швидкість потяга більше нуля - Кнопка була натиснута і відпущена - Протягом 250 метрів отримано сигнал, відмінний від обмежувального - Сигнал активації гальм не отримано, гальма не активовані	+
12	У будь-якому разі, коли будь-який сигнал було пройдено, система повинна обнулити лічильник натискань кнопки та лічильник, що вимірює дистанцію до сигналу	- Початкова швидкість потяга більше нуля - Кнопка була натиснута і відпущена двічі - Сигнал пройдено (відбулась зміна значення відповідного тригера) - Усі лічильники скинуто	+
13	Кожного разу, коли система активізує гальма, вона повинна скидати усі лічильники	- Початкова швидкість потяга більше нуля - Отримано сигнал активації гальм - Усі лічильники скинуто	+

З результатів наведених тестів слідує, що розроблена модель в повній мірі задовольняє усім висунутим вимогам. На цьому етапі проектування моделі завершено.

Верифікація моделі

Верифікація програмного забезпечення виконувалась засобами Understand Source Code Analysis and Metrics [17, 18] та PVS-Studio[17,19]. Understand Source Code Analysis and Metrics виконує перевірку на відповідність стандартам EffectiveC++ (3rdEdition) Scott Meyers, MISRA-C 2004 та MISRA-C++ 2008 [18].

PVS-Studio – статичний аналізатор, який виявляє помилки у вихідному коді додатків на мовах C/C++/C++11[19]. Виділяють 3 набори правил, що входять до складу PVS-Studio:

- 1) діагностика 64-бітних помилок (Viva64);
- 2) діагностика паралельних помилок (VivaMP);
- 3) діагностика загального призначення;

Інструмент PVS-Studio інтегрується в середовище Visual Studio 2005/2008/2010. Повний перелік помилок, що відслідковуються цим аналізатором наведено в [19].

Обидва статичні аналізатори не виявили помилок в програмному коді моделі. Це вказує на відповідність коду стандартам EffectiveC++ (3rdEdition) Scott Meyers, MISRA-C 2004 та MISRA-C++ 2008 та відсутність помилок, описаних в [19].

Висновки

1. Дослідження послідовності розробки моделі програмного забезпечення згідно з вимогами показало, що при розподілі проектування на етапи, на кожному з яких виконується доповнення моделі для задоволення однієї або декількох вимог, не є оптимальним рішенням. Найчастіше це призводить до необхідності внесення змін у вже існуючі компоненти моделі або їх властивості, що, в свою чергу, може бути причиною втрати відповідності вимогам, що були задоволені на попередніх етапах. Для запобігання цьому слід ретельно планувати проектування ПЗ та групувати вимоги за їх впливом на окремі компоненти моделі.

2. Тестування моделі показало, що існують вимоги, для яких розробити набір тестів неможливо або

досить складно. В загальному, ці вимоги наводяться для уточнення інших вимог. Без таких вимог інші вимоги стають незрозумілими або невичерпними. При тестуванні такі вимоги слід об'єднувати з тими вимогами, які вони уточнюють.

3. Засобами Understand Source Code Analysis and Metrics та PVS-Studio проведено верифікацію автоматично згенерованого коду. Результати верифікації утилітою Understand Source Code Analysis and Metrics вказали на відповідність програмного забезпечення стандартам EffectiveC++ (3rd Edition) Scott Meyers, MISRA-C 2004 та MISRA-C++ 2008. Результати верифікації утилітою PVS-Studio вказали на відсутність помилок, описаних в [19].

Література

1. Леффингуэлл Д., Уидриг Д. Принципы работы с требованиями к программному обеспечению. Унифицированный подход / Д. Леффингуэлл, Д. Уидриг ; пер. с англ. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2002. – 448 с.
2. ISO/IEC TR 90005:2008 Software engineering – Guidelines for the application of ISO 9001:2000 to system life cycle processes
3. ISO/IEC 25051:2006 Software engineering – Software product Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) – Requirements for quality of Commercial Off-The-Shelf (COTS) software product and instructions for testing.
4. ISO/IEC 90003:2004 Software engineering – Guidelines for the application of ISO 9001:2000 to computer software.
5. ISO/IEC 12207:2008 System and software engineering – Software life cycle processes.
6. <http://www.sparxsystems.com/products/ea/index.html>
7. http://www-01.ibm.com/software/rational/products/rhapsody/developer/features/?S_CMP=rnav
8. http://www.forum-omondo.com/documentation_eclipseuml_2008/eUML_EclipseUML_features_chart.html
9. <http://www.springsource.org/spring-roo>
10. <http://grails.org/doc/latest/guide/single.pdf>
11. Губский А.Е. Использование Rational Rhapsody для эффективной разработки и тестирования моделирующих систем на базе UML. Информатика и компьютерные технологии / А.Е. Губский, А.И. Андрюхин. – 2011. – С. 214–217.
12. IEEEStd 610.12-1990, IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology, ISBN 1-55937-067-X.
13. FP6-027685 MESH D6.3, User and System Requirements, 2006, WP6 System Architecture and Integration.
14. Коммервилл И. Инженерия программного обеспечения / Коммервилл И. ; [пер. с англ.]. – М. : Вильямс. 2002.
15. Haifeng Wang, Chunhai GAO, Shuo LIU, Model-based Software Development for Automatic Train Protection, 2009 Second Asia-Pacific Conference on Computational Intelligence and Industrial Applications.
16. Tom Rittenbach, Hiroshi Satake, Eric Redding, Karen Perry, Mahendra Thawani, Dr. Carl Dietrich, Rithrong Thandee, GRA Model Driven Design Process, The 2010 Military Communications Conference – Unclassified Program – Systems Perspective Track.
17. Ivo Gomez, Pedro Morgado, Tiago Gomes, Rodrigo Moreira, An overview on the Static Code Analysis approach in Software Development, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2009.
18. <http://www.scitools.com/features/codeCheck.php>
19. <http://www.viva64.com/ru/d/full/>

Статтю представляє: д.т.н. Поморова О.В.
Надійшла 12.2.2012 р.

ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТРИК ЯКОСТІ НА ЕТАПІ ПРОЕКТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

У статті виділено метрики якості ПЗ етапу проектування з точними та прогнозованими значеннями, досліджено діапазони значень метрик якості, а також визначено значущість, кількість інформації та ефективність кожної метрики якості ПЗ етапу проектування.

In article the design stage software quality metrics with the exact and predicted values were chosen, ranges of quality metrics have been researched, the significance, the quantity of information and the efficiency of each quality metric have been determined.

Ключові слова: програмне забезпечення (ПЗ), етап проектування ПЗ, метрики якості ПЗ на етапі проектування, діапазони значень метрик якості ПЗ, ефективність метрик якості ПЗ.

Вступ

Ключовим фактором забезпечення ефективного застосування програмних продуктів є ретельне оцінювання та досягнення високих значень показників якості. Постійне підвищення складності функцій, реалізованих програмами в інформаційних системах, безпосередньо призводить до збільшення їх обсягу та трудомісткості створення. Відповідно до змін складності програм зростає кількість виявлених та залишених в них дефектів та помилок, що відображається на їх якості. Програма обсягом в мільйони рядків тексту в принципі не може бути безпомилковою. Проблема виявлення та усунення помилок загострюється по мірі збільшення складності задач та програм, які їх вирішують, і загрожує катастрофами в галузях, що використовують програмне забезпечення (ПЗ) [1–3].

Якість програмного забезпечення – це характеристика ПЗ, яка відображає ступінь його відповідності вимогам. При цьому вимоги можуть трактуватись досить широко, що породжує цілий ряд незалежних визначень поняття якості. Якість можна трактувати також як ступінь відповідності присутніх характеристик вимогам. Також якість – це повнота властивостей і характеристик продукту, процесу або послуги, які забезпечують здатність задовольняти оголошеним або передбачуваним потребам.

Проблема полягає у забезпеченні потрібної якості функціонування ПЗ з врахуванням того, що деяка невідома кількість помилок та дефектів завжди залишається в складних комплексах програм, і повинна бути блокована або скорочена їх негативна дія до допустимого рівня. В зв'язку з цим стратегічна задача в життєвому циклі сучасного ПЗ – забезпечення якості програмних продуктів [4].

Забезпечення якості – це сукупність планованих та систематичних заходів, необхідних для впевненості в тому, що продукція або процеси задовольняють певним вимогам до якості. Система забезпечення якості застосовно до програмних засобів – це сукупність методів та засобів організації керуючих та виконавчих підрозділів підприємства, які беруть участь в проектуванні, розробці та супроводженні комплексів програм з метою надання їм властивостей, що забезпечують задоволення певних потреб замовників та споживачів при мінімальних або допустимих витратах ресурсів [4].

Якість ПЗ визначається якістю методів та інструментальних засобів, які застосовувались для забезпечення всього їх життєвого циклу. На практиці важливо оцінювати якість програм не лише в завершеному вигляді, але й в процесі їх проектування і розроблення.

На сьогодні, ПЗ є визначальною складовою багатьох систем, серед яких системи критичного застосування, вбудовані та спеціалізовані системи різноманітного призначення. Для зазначених систем наявність помилок та низька якість ПЗ загрожує катастрофами, які призводять до людських жертв, екологічних катаклізмів, економічних втрат. Проблема виявлення та усунення помилок загострюється по мірі збільшення складності ПЗ. Розвиток сучасних технологій розроблення ПЗ вимагає динамічного розвитку засобів оцінки якості ПЗ, причому вже на етапі проектування (з точки зору економічної та часової доцільності).

Для одержання оцінки значень показників якості за стандартом [5] використовуються такі методи:

1) вимірювальний – базується на використанні інструментальних, вимірювальних та спеціальних програмних засобів для одержання інформації про властивості та характеристики ПЗ (обсяг ПЗ, кількість рядків коду, кількість операторів, кількість гілок в програмі, кількість точок входу/виходу та ін);

2) реєстраційний – заснований на одержанні інформації під час випробувань або функціонування ПЗ, коли реєструються або підраховуються певні події (час і кількість збоїв та відмов, час передачі керування від одного модуля до іншого, час початку і завершення роботи ПЗ);

3) органолептичний – заснований на використанні інформації, одержаної в результаті аналізу сприйняття органів чуття, і застосовується для визначення таких показників як зручність застосування, ефективність;

4) розрахунковий – базується на використанні теоретичних та емпіричних залежностей (на ранніх етапах розробки), статистичних даних, зібраних при проведенні випробувань, експлуатації та супроводженні ПЗ. Розрахунковими методами оцінюються показники надійності, точності, стійкості, час реакції, необхідні

ресурси та ін.;

5) експертний – здійснюється групою експертів. Їх оцінка базується на досвіді та інтуїції, а не на безпосередніх результатах розрахунків або експериментів. Цей метод реалізується шляхом перегляду програм, кодів, супровідних документів, описів вимог до ПЗ групою експертів. Для цього встановлюються контрольовані ознаки, корельовані з одним або декількома показниками якості і включені в карти опитування експертів. Метод застосовується при оцінці таких показників, як наочність, повнота та доступність програмної документації, легкість засвоєння, аналізованість, документованість, структурованість ПЗ та ін.

З опису методів вимірювання показників (метрик) якості зрозуміло, що на етапі проектування ПЗ неможливо виміряти жодної характеристики ще не розробленого ПЗ, неможливо реєструвати моменти процесу виконання ще не існуючого ПЗ і неможливо сприйняти органами чуття інформацію щодо нерозробленого ПЗ. Отже, на етапі проектування є можливість визначити якість ПЗ лише із застосуванням розрахункових та експертних методів.

Згідно [6], метрика визначається як міра ступеня володіння властивістю, яка має числове значення. Взагалі, метрика ПЗ – це міра, яка дозволяє одержати числове значення деякої властивості ПЗ або його специфікації.

У галузі дослідження програмних метрик залишається *ряд невирішених питань*:

1) технологія вимірювання якості ще не досягла зрілості – лише 1.5% софтверних організацій намагаються оцінити якість процесів і готового продукту кількісно, за допомогою метрик, і лише 0.5% софтверних організацій намагаються покращити роботу, керуючись кількісними критеріями якості з метою випуску бездефектних продуктів;

2) відсутні єдині стандарти на метрики – створено більше тисячі метрик, кожен постачальник "вимірювальної" системи пропонує власні способи оцінки якості і відповідно метрики;

3) існує проблема складності інтерпретації величин метрик – значення метрик, одержані за допомогою "вимірювальних систем", неінформативні або малоінформативні для користувача, замовника, а часто і для програміста;

4) метрики розраховуються лише для готового ПЗ – всі "вимірювальні" системи орієнтовані на розрахунок метрик для програмного коду, але часто є необхідність у розрахунку метрик вже на етапі проектування – метрик якості з точними значеннями для проекту ПЗ і метрик якості з прогнозованими значеннями для розроблюваного за проектом програмного забезпечення;

5) низький рівень автоматизації аналізу та опрацювання метрик якості програмного забезпечення – на сьогодні автоматизовано лише процеси збирання, реєстрації та обчислення метричної інформації;

6) відсутня можливість порівняння принципово нового проекту з попередніми, що призводить до неможливості інтерпретації одержаних метрик для нового проекту;

7) основними параметрами при виборі варіанту реалізації ПЗ є вартість та тривалість розроблення і репутація фірми-проектувальника, але рішення, прийняті на основі цих параметрів, не завжди гарантують належну якість ПЗ.

Саме через невирішеність цих питань поки що неможливо створити бездефектне високоякісне ПЗ. Складність обґрунтування вибору та інтерпретації метрик в процедурах прийняття виробничих рішень та ігнорування етапів життєвого циклу ПЗ не дозволяють повноцінно використовувати метрики для підвищення якості ПЗ.

1. Метрики якості програмного забезпечення

У роботах [7–9] були визначені метрики якості етапу проектування ПЗ з точними значеннями:

1) *метрики зв'язності* (зв'язність (cohesion) – внутрішня характеристика програмного модуля) – залежать від типу модуля або проекту. Правила визначення рівня зв'язності модуля та сили зв'язності (СЗ):

- якщо модуль – одинична проблемно-орієнтована функція, то рівень зв'язності – функційний (частини модуля разом реалізують одну функцію) і СЗ=10;

- якщо дії всередині модуля зв'язані даними, і порядок дій всередині модуля важливий, то рівень зв'язності – інформаційний (вихідні дані однієї частини використовуються як вхідні дані в іншій частині модуля) і СЗ=9;

- якщо дії всередині модуля зв'язані даними, і порядок дій всередині модуля не має жодного значення, то рівень зв'язності – комунікативний (частини модуля зв'язані даними – працюють з однією структурою даних) і СЗ=7;

- якщо дії всередині модуля зв'язані потоком керування, і порядок дій всередині модуля важливий, то рівень зв'язності – процедурний (частини модуля зв'язані порядком виконуваних ним дій, які реалізують деякий сценарій поведінки) і СЗ=5;

- якщо дії всередині модуля зв'язані потоком керування, і порядок дій всередині модуля не має жодного значення, то рівень зв'язності – часовий (частини модуля не зв'язані, але необхідні в один і той же момент роботи системи) і СЗ=3; недоліком такого типу зв'язності є сильний взаємний зв'язок з іншими модулями, через що проект стає дуже чутливим до внесення змін;

- якщо дії всередині модуля жодним чином не зв'язані, але належать до однієї категорії, то рівень зв'язності – логічний (частини модуля об'єднані за принципом функційної подібності) і СЗ=1; недоліками логічної зв'язності є складне спряження та велика ймовірність внесення помилок при зміні спряження заради

однієї з функцій;

- якщо дії всередині модуля жодним чином не зв'язані, а також не належать до однієї категорії, то рівень зв'язності – за співпадінням (в модулі відсутні явно виражені внутрішні зв'язки) і $C3=0$.

Можливі більш складні випадки, коли з модулем асоціюються декілька рівнів зв'язності. В такому випадку, враховуючи статистичну та експертну інформацію про тип та область застосування розроблюваного ПЗ, модулю присвоюють найсильніший рівень зв'язності або найслабший рівень зв'язності.

Чим вище зв'язність модуля, тим кращий результат проектування, тобто чим "чорніша" скринька проекту (захисна оболонка модуля), тим менше "важелів керування" на ній знаходиться і тим вона простіша. Такі типи зв'язності, як зв'язність за співпадінням, логічна зв'язність та часова зв'язність – результат невірною планування архітектури, а процедурний тип зв'язності – результат недбалого планування архітектури додатку;

2) *метрики зчеплення* (зчеплення (coupling) – зовнішня характеристика модуля, яку бажано і слід зменшувати) – міра взаємозалежності модулів за даними. Кількісно зчеплення вимірюється ступенем зчеплення ($C3ч$). Виділимо наступні типи зчеплення:

- зчеплення за даними ($C3ч=1$) – один модуль викликає інший модуль, всі вхідні і вихідні параметри модуля, що викликається, – прості елементи даних;

- зчеплення за зразком ($C3ч=3$) – в якості вхідних і вихідних параметрів використовуються структури даних;

- зчеплення за керуванням ($C3ч=4$) – один модуль явно керує функціонуванням іншого модуля за допомогою прапорців або перемикачів і надсилає йому керуючі дані;

- зчеплення за зовнішніми посиланнями ($C3ч=5$) – модулі посилюються на один і той же глобальний елемент даних;

- зчеплення за спільною областю ($C3ч=7$) – модулі поділяють одну й ту ж глобальну структуру даних;

- зчеплення за вмістом ($C3ч=9$) – один модуль прямо посилюється на вміст іншого модуля не через його точку входу.

3) *метрика звертання до глобальних змінних* – пара (модуль, глобальна змінна) – пара (p, r), де p – модуль, який має доступ до глобальної змінної r . В залежності від наявності реального звертання до змінної r формуються 2 типи пар (p, r) – фактичні і можливі. Характеристика A_{up} показує, скільки разів модуль дійсно одержить доступ до глобальної змінної, а характеристика R_{up} – скільки разів він міг би одержати такий доступ. Тоді наближену ймовірність посилання довільного модуля на довільну глобальну змінну можна обчислити як відношення:

$$R_{up} = \frac{A_{up}}{P_{up}}. \quad (1)$$

Чим вище така ймовірність, тим вище ймовірність "несанкціонованої" зміни певної глобальної змінної, що призводить до ускладнення модифікації програми;

4) *час модифікації моделей* – метрика процесу розробки ПЗ;

5) *кількість знайдених помилок при інспектуванні моделей та прототипів підсистем, модулів, функцій, вимог та густота помилок* (кількість помилок на одну підсистему, модуль, функцію, вимогу) – вказує на проблемну підсистему, модуль, функцію, вимогу. Це метрика процесу розробки ПЗ.

У роботах [7–9] також були визначені метрики якості етапу проектування ПЗ з прогнозованими значеннями:

1) *загальний час розроблення ПЗ* – метрика процесу розробки ПЗ, вимірюється у робочих днях;

2) *час виконання робіт процесу проектування* – метрика процесу розробки ПЗ, вимірюється у робочих днях;

3) *очікувана вартість розроблення ПЗ:*

$$ВАРТІСТЬ_i = LOC_{оч_i} \times ВАРТІСТЬ_{рядка_i}; \quad (2)$$

вартість рядка є константою і не змінюється від реалізації до реалізації; вимірюється у гривнях або доларах США;

4) *прогнозована вартість перевірки якості* – метрика процесу розробки ПЗ; вимірюється у гривнях або доларах США;

5) *прогнозована продуктивність розроблення ПЗ* – вимірюється у хвилинах на один рядок коду;

6) *прогнозовані витрати на реалізацію програмного коду* – вимірюється у гривнях або доларах США;

7) *прогнозований функційний розмір FP* – вимірює суть можливостей майбутньої програми. Для обчислення функційного розміру: ідентифікуються очікувані від програмного додатку функції за критеріями International Function Point Users Group (IFPUG). Метод визначення функційного розміру опишемо покроково наступним чином:

- виділити функції додатку;

- для кожної потенційної виділеної функції слід поррахувати кількість зовнішніх входів EI , які по-різному впливають на виконувану функцію; кількість зовнішніх виходів EO , для істотно різних

алгоритмів і нетривіальної функційності; кількість зовнішніх запитів EIN ; кількість внутрішніх логічних файлів або унікальних логічних груп користувачьких даних ILF ; кількість зовнішніх логічних файлів або унікальних логічних груп користувачьких даних ELF ;

- кожен з визначених на попередньому кроці факторів множиться на коефіцієнт, який визначається складністю даного фактору в програмному проекті ($EI - 3$ або 4 або 6 (від простого до складного), $EO - 4$ або 5 або 7 , $EIN - 3$ або 4 або 6 , $ILF - 7$ або 10 або 15 , $ELF - 5$ або 7 або 10). Ці добутки додаються за кожною функцією;

- визначити ваги для 14 загальних характеристик проекту (від 0 до 5); ваги вказуються в формі діапазонів, що відображає невпевненість відносно функцій; призначення ваг вимагає певного досвіду у використанні методу функційного розміру;

- обчислити уточнений функційний розмір за формулою:

$$\text{Уточн.функц.розмір} = \text{Наближений_функц_розмір} \times [0.65 + 0.01 \times (\text{Сума_загальних_характеристик})] \quad (3)$$

Якщо до проекту не висувається жодних спеціальних вимог (всі загальні характеристики дорівнюють 0), то не уточнений функційний розмір слід зменшити на 35%, інакше слід збільшити на 1% на кожну одиницю значень загальних характеристик.

Функційний розмір використовується як відносна метрика для порівняння з попередніми проектами, за його допомогою можна обчислити кількість рядків коду, що дозволяє визначити загальну трудомісткість та терміни проекту. Є вільно поширювані інструменти для обчислення функційного розміру;

8) прогнозована оцінка трудовитрат за моделлю Боєма трудовитрати на розробку програмних додатків зростають швидше, ніж розмір додатків. Для представлення даного співвідношення використовується експоненційна функція зі значенням показника, близьким до 1.12:

$$\text{Трудовитрати} = a \times KLOC^b, \quad (4)$$

де $KLOC$ – кількість тисяч рядків коду, a, b – коефіцієнти СОСОМО. Для органічного (самостійного) програмного проекту: $a = 2,4; b = 1,05$. Для вбудованих програмних проектів (інтеграція апаратного та програмного забезпечення): $a = 3,6; b = 1,20$. Для проміжних програмних проектів (не органічні, але й не жорстко вбудовані): $a = 3,0; b = 1,12$.

9) прогнозована оцінка тривалості проекту за моделлю Боєма – тривалість проекту за моделлю Боєма зростає експоненційно разом з докладеними до проекту зусиллями. Однак в даному випадку значення експоненти менше 1 і складає близько 0.35:

$$\text{Тривалість} = c \times \text{Трудовитрати}^d = c \times (a \times KLOC^b)^d = c \times a^d \times KLOC^{b \times d}, \quad (5)$$

де c, d – коефіцієнти СОСОМО. Для органічного (самостійного) програмного проекту: $c = 2,5; d = 0,38$. Для вбудованих програмних проектів (інтеграція апаратного та програмного забезпечення): $c = 2,5; d = 0,32$. Для проміжних програмних проектів (не органічні, але й не жорстко вбудовані): $c = 2,5; d = 0,35$.

2. Діапазони значень метрик якості програмного забезпечення

Для розрахунку максимальних значень метрик якості ПЗ слід ввести певні обмеження на проекти та ПЗ, метрики якості яких аналізуватимуться.

Розрахуємо максимальні значення метрик якості ПЗ при використанні наступних обмежень:

1) кожен модуль реально одержує доступ до глобальної змінної стільки разів, скільки може одержати такий доступ;

2) ПЗ містить не більше 50000 рядків вихідного коду;

3) тип проекту не задано;

4) постановка задачі займає 10% загального часу розроблення ПЗ і проектної вартості; проектування – 35% загального часу і проектної вартості; програмування – 35% загального часу і проектної вартості; тестування, налагодження і перевірка якості – 20% загального часу і проектної вартості;

5) 25% часу проектування займає побудова та модифікація моделей;

6) максимальна кількість помилок моделей та прототипів одного модуля не повинна перевищувати 100;

7) ПЗ має не більше 50 модулів;

8) 50% часу та вартості, відведених на тестування, налагодження і перевірку якості, займає перевірка якості ПЗ;

9) кількість зовнішніх входів кожного модуля – 49, кількість зовнішніх виходів кожного модуля – 49, кількість зовнішніх запитів до кожного модуля – 49;

10) кожен модуль має максимум 50 внутрішніх логічних файлів та використовує 50 зовнішніх логічних файлів.

Використовуючи формули (1)–(5) та введені обмеження для розрахунку метрик, отримаємо наступні діапазони значень метрик якості етапу проектування програмного забезпечення (таблиця 1).

Інтервали значень метрик якості ПЗ етапу проектування

№	Метрики з точними значеннями	Метрики з прогнозованими значеннями
1	Метрика зв'язності: 0..10	Загальний час розроблення ПЗ: 0..520 (робочих днів)
2	Метрика зчеплення: 0..9	Час етапу проектування: 0..182 (робочих днів)
3	Метрика звертання до глобальних змінних: 0..1	Продуктивність розроблення ПЗ: 0..5 (хвилин на один рядок коду)
4	Час модифікації моделей: 0..46	Вартість перевірки якості ПЗ: 0..20000 (грн)
5	Кількість виявлених помилок при інспектуванні моделей та прототипів: 0..5000	Вартість розроблення ПЗ: 0..200000 (грн)
6		Вартість реалізації коду програми: 0..70000 (грн)
7		Функційний розмір (FP): 0..2945
8		Оцінка трудовитрат за моделлю Боєма: 0..394 (людиномісяців)
9		Оцінка тривалості проекту за моделлю Боєма: 0..520 (робочих днів)

3. Визначення ефективності метрик якості програмного забезпечення

Аналіз діапазонів значень метрик якості ПЗ показує, що існує великий розкид діапазонів значень вхідних даних – значення вхідних векторів розрізняються в десятки, сотні, тисячі, десятки та сотні тисяч разів. Опрацювання метрик якості з такими діапазонами значень призведе до того, що впливовими при визначенні якості проектів та ПЗ є метрики з великими діапазонами значень (метрики очікуваної вартості розроблення ПЗ, прогнозованих витрат на реалізацію коду, прогнозованої вартості перевірки якості ПЗ, загальної кількості знайдених помилок при інспектуванні моделей та прототипів), а метрики з малими діапазонами значень (метрики зв'язності, зчеплення, звертання до глобальних змінних, часу модифікації моделей, продуктивності розроблення ПЗ) взагалі не впливають на якість ПЗ, тобто частина метричної інформації не буде враховуватись при визначенні якості проекту та ПЗ.

Оцінимо інформацію, яку містять метрики якості ПЗ на етапі проектування. Критерії оцінювання інформації [10]: 1) релевантність – наявність зв'язку з проблемою (відповідність інтересам та проблемі) та здатність інформації внести ясність у процес розуміння проблеми; 2) достовірність – наскільки представлений опис відповідає дійсності; 3) значущість – розуміння інформації, повнота висвітлення предмету інтересу, своєчасність інформації та її достатність для прийняття рішень, а також кількість інформації [11]:

$$I = H(\text{апріорна}) - H(\text{апостеріорна}), \quad (6)$$

де $H(\text{апріорна})$ – ентропія системи (показник незнання системи) до експерименту, $H(\text{апостеріорна})$ – ентропія системи після експерименту, тоді, якщо $I > 0$, то в результаті експерименту одержано нову інформацію, показник незнання системи зменшився.

Щодо релевантності метрик якості ПЗ, то рівень релевантності дорівнює 1, оскільки саме метрики якості дають уявлення про якість проекту і ПЗ. Достовірність метрик якості ПЗ дорівнює 1, оскільки використовуються лише класичні метрики якості, описані в галузевій літературі.

Оскільки релевантність і достовірність метрик якості ПЗ є сталими величинами, то основним критерієм оцінювання інформації, який впливатиме на оцінку ефективності метрик якості ПЗ, є саме значущість інформації.

Сформуємо підсумковий критеріальний показник ефективності для кожної метрики якості за адитивним критерієм.

Адитивний критерій A формується шляхом ділення на число показників ефекту n суми добутоків часткових показників ефекту l_i на коефіцієнти значущості i -го показника g_i [12]:

$$A = (1/n) \cdot \sum_{i=1}^n (l_i \cdot g_i). \quad (7)$$

Значущість, а відтак і ефективність, кожної метрики якості ПЗ етапу проектування залежить від 4-х показників ефекту ($n = 4$): розуміння інформації, повнота висвітлення предмету інтересу, своєчасність інформації та її достатність для прийняття рішень, кількість інформації. Кожен показник ефекту розглядатимемо для спрощення розрахунків як значення з інтервалу $[0, 1]$, де 0 – мінімальне значення показника, 1 – максимальне значення. Значущості показників ефекту для кожної метрики рівні, причому

$\sum_{i=1}^n g_i = 1$, отже, $g_i = \frac{1}{4} = 0,25$. Потрібно тепер розрахувати 4 часткових показники ефекту l_i для кожної метрики якості ПЗ етапу проектування і відповідно ефективність кожної метрики за адитивним критерієм.

Показник "розуміння інформації" l_1 дорівнює 1 для кожної з метрик, оскільки метрики якості

розраховані вірно, з повним розумінням. Показник "повнота висвітлення предмету інтересу" l_2 залежить від повноти висвітлення метрикою оброблюваної інформації, функцій обробки інформації та переліку модулів, режимів роботи ПЗ. Показник "своєчасність інформації та її достатність для прийняття рішень" l_3 залежить від достатності інформації про оброблювану інформацію, функцій обробки інформації та перелік модулів, а також про режими роботи ПЗ. Для розрахунку показника "кількість інформації" l_4 вважатимемо, що після опрацювання всіх метрик якості є повна інформація про якість проекту та ПЗ, тому кількість інформації I , яку містять всі 14 метрик якості разом, згідно формули (6) дорівнює 1. Вважатимемо також, що показник незнання якості ПЗ зменшується в рівному ступені після опрацювання кожної метрики якості, тому кількість інформації кожної метрики якості $I_m = \frac{1}{14} = 0,072$.

Для визначення показників "повнота висвітлення предмету інтересу" та "своєчасність інформації та її достатність для прийняття рішень" виділимо інформаційні потоки метрик якості: *метрика зв'язності* враховує оброблювану інформацію та режими роботи проекту або ПЗ; *метрика зчеплення* приймає до уваги оброблювану інформацію, функції оброблення інформації і кількість модулів та режими роботи проекту або ПЗ; *метрика звертання до глобальних змінних* враховує оброблювану інформацію, а також функції оброблення інформації; *метрики часу модифікації моделей, кількості виявлених помилок при інспектуванні моделей та прототипів, загального часу розроблення ПЗ, часу етапу проектування, продуктивності розроблення ПЗ, вартості розроблення ПЗ, вартості перевірки якості ПЗ, вартості реалізації коду програми* приймають до уваги функції оброблення інформації та перелік модулів; *метрика функційного розміру* враховує оброблювану інформацію, функції оброблення інформації та перелік модулів, а також режими роботи ПЗ; *метрики оцінки трудовитрат та тривалості проекту за моделлю Боєма* приймають до уваги функції оброблення інформації та перелік модулів, а також режими роботи ПЗ.

Представимо перелік метрик із значеннями 4-х показників ефекту та визначеною за формулою (7) ефективністю у таблиці 2.

Таблиця 2

Ефективність метрик якості програмного забезпечення на етапі проектування

№	Метрика якості ПЗ	Показник l_1	Показник l_2	Показник l_3	Показник l_4	Ефективність A
1	Метрика зв'язності	1	0,666	0,666	0,072	0,150
2	Метрика зчеплення	1	1	1	0,072	0,192
3	Метрика звертання до глобальних змінних	1	0,4995	0,4995	0,072	0,129
4	Час модифікації моделей	1	0,333	0,333	0,072	0,109
5	Загальний час розроблення ПЗ	1	0,333	0,333	0,072	0,109
6	Кількість виявлених помилок при інспектуванні моделей та прототипів	1	0,333	0,333	0,072	0,109
7	Час етапу проектування	1	0,333	0,333	0,072	0,109
8	Продуктивність розроблення ПЗ	1	0,333	0,333	0,072	0,109
9	Вартість перевірки якості ПЗ	1	0,333	0,333	0,072	0,109
10	Вартість розроблення ПЗ	1	0,333	0,333	0,072	0,109
11	Вартість реалізації коду програми	1	0,333	0,333	0,072	0,109
12	Функційний розмір	1	1	1	0,072	0,192
13	Оцінка трудовитрат за моделлю Боєма	1	0,666	0,666	0,072	0,150
14	Оцінка тривалості проекту за моделлю Боєма	1	0,666	0,666	0,072	0,150

Отже, порівняно високу ефективність (значущість) мають метрики: зчеплення, функційного

розміру, зв'язності, оцінки трудовитрат та тривалості проекту за моделлю Боема, звертання до глобальних змінних; порівняно низьку ефективність мають метрики: часу модифікації моделей, кількості виявлених помилок при інспектуванні моделей та прототипів, загального часу розроблення ПЗ, часу етапу проектування, продуктивності розроблення ПЗ, вартості розроблення ПЗ, вартості перевірки якості ПЗ, вартості реалізації коду програми. Отже, очевидно, що неможливо не враховувати метрики з малими діапазонами значень тому, що ефективність багатьох з них достатньо висока, тобто їх неврахування призведе до істотного зниження ефективності оцінювання якості проекту та ПЗ.

Оцінимо кількість інформації, яка втрачається при неврахуванні 5-и метрик з малими діапазонами значень (метрики зв'язності, зчеплення, звертання до глобальних змінних, часу модифікації моделей, продуктивності розроблення ПЗ). Якщо кількість інформації кожної метрики якості $I_M = 0,072$, то кількість інформації п'яти метрик: $I_{втр} = 5 \cdot 0,072 = 0,36$. Отже, при неврахуванні впливу на якість проекту та ПЗ метрик якості ПЗ з малими діапазонами значень втрачається 36% значущої інформації.

Висновки

У статті визначено метрики якості ПЗ етапу проектування, досліджено діапазони значень метрик якості, проведено оцінювання показників ефекту та визначення ефективності кожної метрики якості ПЗ етапу проектування з точки зору оцінювання значущості її інформації за адитивним критерієм ефективності.

Виявлено, що через великий розкид діапазонів значень метрик якості відбувається втрата інформації, яку надають метрики якості ПЗ етапу проектування з малими діапазонами значень (метрики зв'язності, зчеплення, звертання до глобальних змінних, часу модифікації моделей, продуктивності розроблення ПЗ).

Оцінка кількості значущої інформації, яка втрачається при неврахуванні метрик з малими діапазонами значень, та оцінки ефективності метрик якості ПЗ етапу проектування показали, що неможливо не враховувати метрики з малими діапазонами значень через їх високу ефективність та через втрату значної кількості (36%) значущої інформації.

Отже, на основі проведених досліджень зроблено висновок, що необхідне попереднє опрацювання метричної інформації з метою рівнозначного врахування метрик з великими і з малими діапазонами значень для запобігання втрати значущої інформації та ефективності оцінювання якості проекту та ПЗ.

Література

1. Скляр В.В. Оценка качества и экспертиза программного обеспечения / Скляр В.В. – Харьков : НАУ "ХАИ", 2008. – 204 с.
2. Майерс Г. Надежность программного обеспечения / Майерс Г. ; пер. с англ. – М. : Мир, 1980. – 360 с.
3. Myers G.J. The Art of Software Testing. – New York: John Wiley and Sons, 1979. – 312 pp.
4. Липаев В.В. Программная инженерия. Методологические основы / Липаев В.В. – М. : ТЕИС, 2006. – 608 с
5. ГОСТ 28195-89. Оценка качества программных средств. Общие положения
6. IEEE Standard Glossary of Software Engineering Terminology / IEEE Std 610.12-1990
7. Поморова О.В. Интеллектуальный метод оцінювання результатів проектування та прогнозування характеристик якості програмного забезпечення / О.В. Поморова, Т.О. Говорущенко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи – Харків : НАУ "ХАИ", 2010 – № 6. – С. 211–218.
8. Поморова О.В. Оцінювання результатів проектування та прогнозування характеристик якості програмного забезпечення / О.В. Поморова, Т.О. Говорущенко, О.С. Онишук // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький : ХНУ, 2011. – № 2. – С. 168–178.
9. Поморова О.В. Аналіз методів та засобів оцінки якості програмних систем / О.В. Поморова, Т.О. Говорущенко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків : НАУ "ХАИ", 2009 – № 6. – С. 148–158.
10. Нежданов И. Критерии оценки информации (важность, точность, значимость) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.police-russia.ru/showthread.php?t=44683>
11. Значимость информации: определение [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://otvet.mail.ru/question/2703994>
12. Белик Т.В. Принципы формирования критериев эффективности [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://lego.biuss.ru/paragraf/742>

Рецензент: д.т.н. Поморова О.В.
Надійшла 20.2.2012 р.

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИБОРУ СПОСОБІВ ІНФОРМАЦІЙНОГО ОБМІНУ В СИСТЕМІ УНІФІКОВАНИХ КОМУНІКАЦІЙ

У роботі запропоновано спосіб задіявання системи підтримки прийняття рішень в структурі системи уніфікованих (поєднаних) комунікацій та механізм оптимізації способів інформаційного обміну, що базується на використанні штучної нейронної мережі. Оптимізація вибору способу інформаційного обміну між користувачами здійснюється шляхом врахування інформації щодо попередніх успішних і неуспішних сеансів зв'язку.

In this paper we propose an approach to using the decision support system in the structure of unified (combined) communication mechanism and optimization of information exchange based on the use of artificial neural network. Optimization of the choice of information exchange between users is done by taking into account information about previous successful and unsuccessful sessions.

Ключові слова: системи уніфікованих (поєднаних) комунікацій, штучна нейронна мережа, інформаційний обмін, телекомунікаційні послуги.

Вступ

Динамічний розвиток економіки диктує комерційним підприємствам прагнення до постійного прогресу і вдосконалення, оптимізації бізнес-процесів. Потреба в дешевих комунікаціях і різноманітних сервісах змушує компанії використовувати альтернативні канали зв'язку, наприклад, на базі інтернет-протоколу (IP). Найбільш яскравим прикладом оптимізації технологічних процесів телекомунікаційних технологій, як основного атрибуту сучасної інформаційної інфраструктури, є система уніфікованих (поєднаних) комунікацій (СУПК).

СУПК – це система, що об'єднує усі комунікаційні засоби в універсальну систему зв'язку, котра забезпечує надійне з'єднання будь-яких користувачів даної системи в будь-який час і з будь-якого місця для обміну різноплановою (голосовий зв'язок, E-mail, передача даних, відео) інформацією [1].

Метою СУПК є підвищення ефективності бізнес-процесів шляхом оптимізації способів спілкування між людьми. Характерною рисою СУПК є здатність, що дозволяє двом і більше користувачам використовувати кілька альтернативних способів встановлення зв'язку й передачі інформації.

Співробітники, партнери й клієнти фірм для спілкування використовують ряд комбінацій каналів зв'язку: телефон, голосова й електронна пошта, обмін факсимільними й миттєвими повідомленнями, спілкування через Інтернет, мультимедійні конференції, SMS, MMS і т.і. [2].

СУПК є розподіленою системою, що підтримує різні середовища доступу. Однак, сучасний стан комунікаційного середовища можна охарактеризувати як деякий комунікаційний хаос. Користувачам постійно доводиться вибирати пристрої та типи зв'язку, і такий вибір не завжди є оптимальним. Інколи відповіді на відправлене повідомлення голосовою поштою можна чекати набагато довше, ніж електронного листа, і т.і. Деякі користувачі активніше працюють не з електронною, а з голосовою поштою.

Коли користувачу потрібно зателефонувати, у нього зазвичай виникає питання: на який номер телефонувати – фіксований чи мобільний? Варіантів комунікацій безліч, і вибір залежить від особистих переваг кожного. Зазвичай люди здійснюють вибір засобів спілкування інтуїтивно. При цьому потрібно встигати слідкувати за асортиментами засобів і технологій зв'язку, що постійно оновлюються [3].

Дослідження показують, що половина співробітників регулярно має потребу у зв'язку із колегами, проте в кожному п'ятому випадку їм не вдається уникнути затримок і запізнь. До того ж у більшості компаній, як і раніше, зберігаються різноманітні комунікаційні системи, які використовуються для внутрішнього і зовнішнього зв'язку. Ряд компаній використовує ізольовані комунікаційні системи, не пов'язані між собою. Наприклад, одна система використовується для голосового зв'язку, а інша – для електронної пошти.

У випадку, якщо зі співробітником хоче зв'язатися колега або клієнт, він повинен [4]:

- вибрати відповідний вид зв'язку - наприклад, телефон;
- застосувати свої знання та вміння для того, щоб цим засобом зв'язку скористатися (типова для офісу, обладнаного міні-АТС, ситуація – підняти трубку або задіяти гучний зв'язок, набрати "9" для виходу на міську лінію);
- знайти в записній книжці і ввести ідентифікатор абонента для вибраного виду зв'язку – набрати телефонний номер послідовним натисканням кнопок;
- переконатися, що по даному виду зв'язку в даний час абонент недоступний, наприклад, уже спілкується або відсутній на робочому місці;
- почати все спочатку для іншого виду зв'язку.

Ця ситуація є неефективною для користувачів, також вона має високу вартість для компаній, яким доводиться підтримувати ряд різних мережних платформ.

Одним із шляхів вирішення даної задачі є розробка системи, яка б у певний момент часу визначала для пари (чи групи) абонентів оптимальний спосіб інформаційного обміну. Наприклад, коли в певний час користувачі задіяні в відео чи аудіо конференції, вхідні телефонні дзвінки не бажані, а в деяких ситуаціях і

не допустимі. Це ж стосується й обідньої перерви, коли працівник недостатньо сконцентрований на виробничому процесі. Така система мала б враховувати індивідуальний розклад роботи кожного користувача, виходячи з якого, відбувався б вибір оптимального виду комунікацій для інформаційного обміну в певний момент часу.

Аналіз відомих рішень

Сучасні офісні телекомунікаційні системи, котрі побудовані на основі комп'ютерних систем, можна з певними застереженнями вважати „примітивними” моделями СУПК з реалізацією найпростіших функцій. Користувач самостійно може перевести вхідний дзвінок на мобільний телефон, або на інший номер, де він в даний час знаходиться, активізувати голосову пошту з автовідповідачем, перевести вхідні повідомлення на E-mail, і т.і. Індивідуальний розклад роботи в таких системах реалізується шляхом введення індивідуальних користувацьких профілів.

При цьому важливо розуміти, що уніфіковані комунікації найчастіше мають на увазі не об'єднання в один комплекс засобів від різних постачальників, а можливість використання різних засобів комунікацій від одного постачальника. На сьогодні основними напрямками розвитку уніфікованих комунікацій є:

- голосовий зв'язок та телефонія (Voice & Telephony) включає фіксовану, мобільну, відео-і програмну телефонію. Значною мірою цей напрям є еволюцією засобів на базі протоколів PBX і IP-PBX;
- проведення конференцій (Conferencing), об'єднує різні види колективного спілкування, які використовуються окремо або спільно;
- обмін повідомленнями (Messaging) включає електронну пошту, яка зараз є обов'язковим бізнес-інструментом, голосову пошту та інші найрізноманітніші форми уніфікованих повідомлень;
- засоби виявлення і миттєвих повідомлень (Presence & IM). Даний напрямок відіграє все більшу роль на ринку в плані реалізації засобів комунікації наступного покоління. Зокрема, сервіси "присутності" можуть зараз об'єднувати інформацію і засоби різних служб та джерел;
- клієнти (Clients) – мова йде про уніфікованих клієнтів, які забезпечують доступ до наборів комунікаційної функціональності через єдиний зручний інтерфейс. Такими клієнтами можуть бути настільні ПК, тонкі клієнти з браузером, мобільні DPA-клієнти або спеціалізовані ділові пристрої чи бізнес-додатки;
- комунікаційні програми (Communication Applications) – велика група прикладних програм, що забезпечують інтеграцію комунікаційних засобів з діловими додатками.

Головною тенденцією ринку уніфікованих комунікацій є перехід від наборів широкого спектру розрізнених засобів до інтегрованих комплексів одного виробника. Іншою важливою тенденцією є зростаючий інтерес до Cloud-моделей, які часто використовуються в поєднанні з традиційним "інстальованим" варіантом застосування функціоналу уніфікованих комунікацій.

Розглянемо особливості реалізації окремих рішень напрямку уніфікованих комунікацій, що пропонуються провідними фірмами.

Система уніфікованого зв'язку Cisco (Cisco Unified Communications System). Cisco пропонуються закінчені рішення для компаній будь-якого розміру в точній відповідності до їхніх бізнес-потреб. Компанії можуть впроваджувати систему уніфікованих комунікацій у потрібному їм порядку, зберігаючи при цьому гнучкість і можливість наступної прозорої міграції на нові функціональні рівні.

Основні компоненти:

- телефонна станція для IP телефонії (IP PBX). Це програмний продукт, що функціонує на базі сервера й здійснює керування з'єднаннями аудіо- і відеотелефонії в конвергентній IP-мережі. Кластерна архітектура забезпечує безперебійну роботу на протязі року. З погляду масштабованості, розгортання Cisco Unified CallManager може починатися з кількості абонентів, що відповідає вимогам компанії з невеликим штатом надомних або мобільних співробітників, а закінчуватися відповідно до вимог великого розподіленого підприємства з 1 мільйоном користувачів у більш ніж 100 філіях;
- IP PBX, що вбудована безпосередньо в операційну систему різних моделей маршрутизаторів та здійснює управління телефонними дзвінками, підтримує типові телефонні сервіси. Реалізує додаткову функціональність: відеотелефонію, створення черг викликів, меню інтерактивного голосового автоінформатора, конференц-зв'язок за розкладом, пейджинг, інтерком, додатки XML та ін.;
- програмний мультимедійний клієнт Cisco Unified Personal Communicator, що функціонує у вигляді додатку для робочого столу комп'ютера. Забезпечує дружній та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача, надає абонентові миттєвий доступ до потужних мультимедійних служб.

Поєднані комунікації Microsoft (Microsoft Unified Communications). На основі серверів Exchange Server і Office Communications Server забезпечується висока продуктивність та безпека. Усі основні елементи вбудовано у звичну для багатьох користувачів систему Microsoft Office. У єдину структуру інтегровано ряд служб:

- Microsoft Office Communicator - забезпечує миттєвий обмін повідомленнями, аудіо-, відеоконференції;
- Microsoft Office Live Meeting – інструмент для реалізації web-конференцій із широким спектром додаткових можливостей;
- Microsoft Office Outlook – інтегрована компонента для керування електронними повідомленнями;
- Microsoft Office Communicator Mobile – додаток для дистанційного доступу до сервера;

- Outlook Web Access і Communicator Web Access - web- клієнти, призначені для надання доступу до серверів у випадку, якщо немає можливості використовувати клієнтське ПЗ для настільного комп'ютера.

Система універсальних поєднаних комунікацій Avaya. Базується на гнучкому наборі додатків, орієнтованих на різні комунікаційні потреби:

- Avaya one-x Communicator – програмний додаток, що забезпечує доступ користувачів до різних послуг корпоративного зв'язку (голосова й електронна пошти, телефонія, миттєві повідомлення, відеоконференції) через єдиний інтерфейс. Завдяки підтримці протоколів H.323 і SIP забезпечується взаємодія з неоднорідними комунікаційними системами;

- Avaya Unified Communications Essential Edition – основна версія реалізації удосконаленої IP-телефонії, підтримка обміну повідомленнями й базової функціональності для конференц-зв'язку;

- Avaya Unified Communications Standard Edition – реалізація інструментів мобільності, включаючи уніфікований офіс та мобільні комунікації для всіх основних мобільних платформ;

- Avaya Unified Communications Advanced Edition дозволяє організувати взаємодію великої кількості користувачів, використовуючи для цього інтегровану голосову пошту, відео- та конференц-зв'язок;

- Avaya Unified Communications Professional Edition – професійна версія вдосконалених відео- та аудіокомунікацій, включаючи відеоконференцзв'язок високої якості (HD), голосовий доступ до повідомлень та інші персональні додатки.

Сьогодні багато замовників розробляють плани впровадження уніфікованих комунікацій і розгортають тестувальні майданчики, однак лише деякі з них уже мають повноцінне інтегроване комунікаційне середовище. Приклад інтерфейсу комунікаційного середовища представлено на рис.1[4].

У найближчі кілька років кількість таких компаній буде зростати, оскільки системи уніфікованих комунікацій удосконалюються, а замовники обновляють основи своїх комунікаційних інфраструктур.

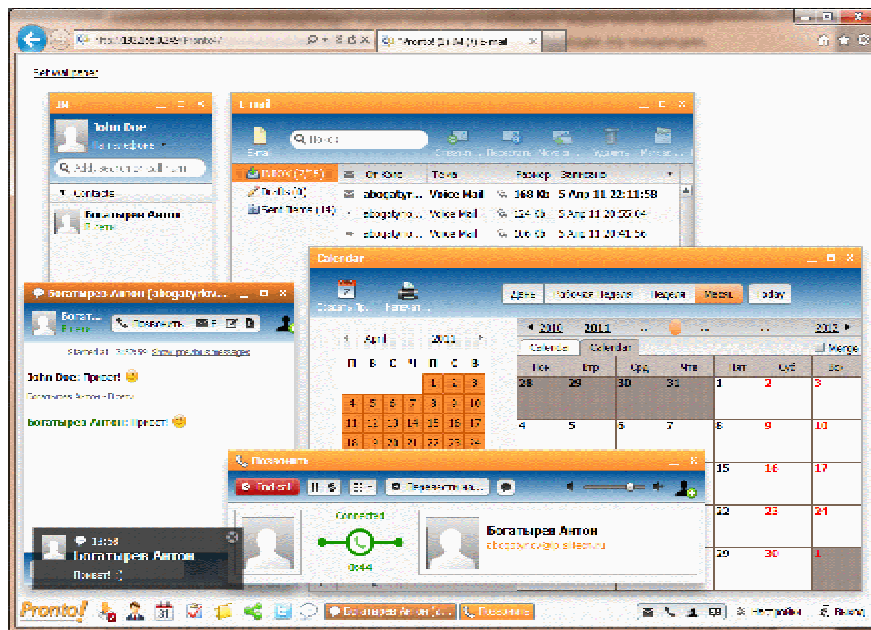


Рис. 1. Інтегрований клієнт «Pront!» версії 4.0e2 сервера уніфікованих комунікацій CommuniGate Pro з Adobe Flash-додатком, доступним з будь-якого сучасного браузера з підтримкою цієї технології

Актуальною залишається задача оптимізації вибору способу комунікацій між співробітниками підприємств і організацій з врахуванням переваг та графіку роботи користувачів.

Інтелектуалізація СУПК

Аналіз відомих рішень показує характерну особливість, притаманну усім сучасним проектам СУПК – вони надто громіздкі, вартість їхнього впровадження є значною, а інструменти визначення ефективності впровадження відсутні. Відтак, на сьогодні, при наявності ряду повідомлень про успішні впровадження, ринок СУПК усе ще перебуває на ранній стадії розвитку, а кількість проектів з високим ступенем інтеграції залишається недостатньою. Причин цьому декілька, а саме:

1) підприємства не поспішають впроваджувати СУПК, оскільки інвестували чималі засоби в працюючі комунікаційні інфраструктури і очікують повернення вкладених коштів. Підхід "знищити й замінити" ефективний, але для багатьох він є неприйнятним;

2) багато продуктів і додатків складні в розгортанні, тому їх впровадження може вимагати організаційних змін усередині компанії;

3) бізнес схильний робити, скоріш, "м'які" інвестиції з метою підвищення продуктивності, а ніж "жорсткі", спрямовані на зниження собівартості. У результаті, в умовах консервативної економіки, розгортання СУПК відбуваються повільно і, найчастіше, у рамках загального відновлення інфраструктури;

4) на сьогоднішній день на виробництві відсутній механізм ефективної візуалізації результатів задіявання СУПК, який би спонукав керівництво компанії до їхнього впровадження.

На думку авторів, використання інтелектуальних методів, зокрема штучних нейронних мереж, у складі СУПК дозволить активізувати процес задіявання поєднаних комунікацій в організації бізнес-процесів багатьох підприємств і організацій, особливо з розподіленою інфраструктурою.

На рис. 2 представлено спосіб задіявання системи підтримки прийняття рішень (СППР) в комплексі з системою управління універсальною комутаційною системою (УКС), як основного компонента уніфікованих комунікацій.

СППР на базі жорстко запрограмованого розкладу (ведення індивідуального розкладу кожного користувача) має свої переваги і недоліки. До переваг, перш за все, можна віднести простоту реалізації. Проте, даний підхід має ряд суттєвих недоліків, зокрема те, що система вимагає постійного моніторингу адміністратора для оновлення та погодження розкладів з абонентами. Якщо ж оновлення "віддати на відкуп" користувачам, то результат буде такий, як і при використанні РВХ.

Ефективним підходом є використання у складі СУПК системи підтримки прийняття рішень, побудованої на основі штучної нейронної мережі, в комплексі з системою управління універсальною комутаційною системою (УКС). Така система могла б "навчатись", виходячи зі статистики попередніх з'єднань – їх виду, тривалості, залежності виду та тривалості від часу доби, переваг користувача, тощо (рис. 3). Навчаючись, система через комунікатори може пропонувати оптимальний вид з'єднання для пари чи групи користувачів.

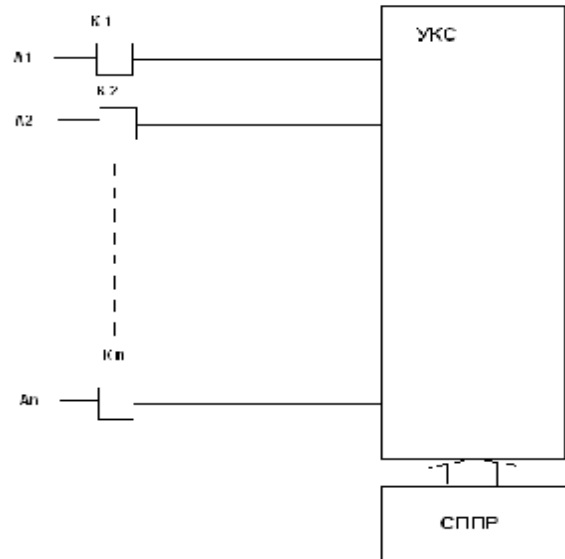


Рис. 2. Спосіб задіявання СППР в структурі СУПК: $A_1 - A_n$ – абоненти (користувачі); $K_1 - K_2$ – універсальні комунікатори; УКС – універсальна комутаційна система; СППР – система підтримки прийняття рішень

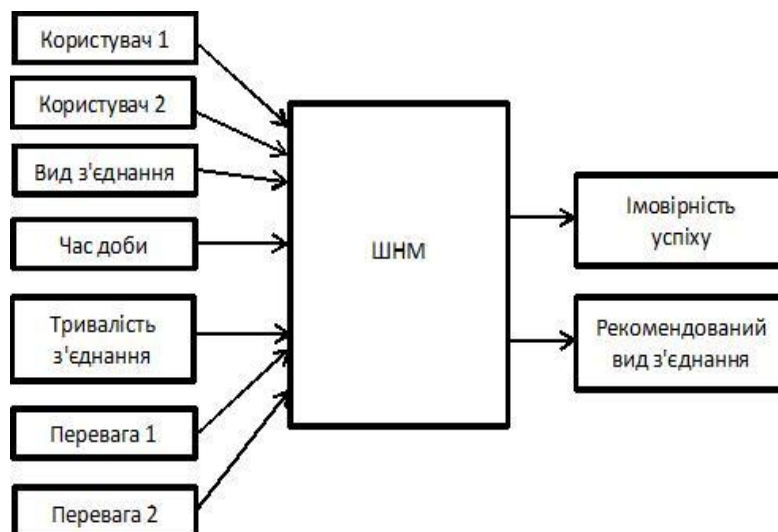


Рис. 3. Дані, що подаються на вхід штучної нейронної мережі (ШНМ) та результати її функціонування

Переваги такої системи – масштабованість, автономність і самонастроювання.

До недоліків можна віднести невисоку точність рішень на початку експлуатації, проте, дане питання лежить в площині технології налаштування та функціонування самої нейронної мережі [5].

Висновок

Запропонований підхід до побудови СУПК дозволяє за допомогою штучної нейронної мережі оптимізувати вибір СІО між користувачами шляхом врахування інформації щодо попередніх успішних і неуспішних сеансів зв'язку і є основою для розроблення інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень для визначення стратегій надання телекомунікаційних послуг.

Література

1. <http://www.unifiedcomms.com/products.php>
2. <http://www.nortel.com>

3. <http://www.cisco.com>
4. Унифицированные коммуникации [Электронный ресурс] – Режим доступа : <http://www.ixbt.com/comm/unicomm.shtml>
5. Люгер Д. Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Люгер Д. ; [4-е изд. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2003. – 864 с.

Статтю представляє: д.т.н. Поморова О.В.
Надійшла 14.2.2012 р.

УДК. 584. 326

М.П. ДИВАК, В.В ЧИЧА, Л.С. ОЛЯРНИК
Тернопільський національний економічний університет

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ГРАФІЧНОГО КОРИСТУВАЦЬКОГО ІНТЕРФЕЙСУ (GUI)

Розглянуто сучасні спеціалізовані засоби для тестування графічного користувацького інтерфейсу. Досліджено властивості існуючих систем, і на цій основі запропоновано та обґрунтовано власну автоматизовану систему тестування графічного користувацького інтерфейсу веб-додатків.

In the paper modern and specialized means for testing graphic user interface are analyzed. The properties of existing systems were investigated, and on this basis is proposed and proved the own automated system for testing graphical user interface of Web applications.

Ключові слова: графічний користувацький інтерфейс, тестовий сценарій, візуалізатор, ключове слово, покриття коду, діаграма компонент, програмне забезпечення (ПЗ).

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язки із важливими науковими і практичними завданнями. Останнім часом набули широкого поширення засоби автоматизованого тестування користувацького інтерфейсу, які знижують навантаження на тестувальника-оператора. Автоматизація тестування користувацького інтерфейсу – природний і необхідний спосіб тестування ПЗ (особливо на етапі регресійного тестування), оскільки скорочує витрати компанії-розробника.

Більшість відомих компаній, таких як SmartBear Software, HP, IBM, Telerik, ThoughtWorks, є розробниками спеціальних тестових «фреймворків», які імітують дії користувача, але вказані системи ще не достатньо відтестовані і мають не повний функціонал.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано розв'язання даної проблеми. Питання автоматизації тестування ПЗ у вітчизняній та зарубіжній літературі розглядалося багаторазово. Тема тестування програмного забезпечення одержала свій розвиток у працях відомих вітчизняних та іноземних вчених: Харченка В.С., Гуляєва В.А., Локазюка В.М., Савченка Ю.Г., Согомояна Е.С., Романкевича О.М., Кривул Г.Ф., Дрозда О.В., Ліпаєва В.В., Майерса Г., Канера Сема, Соммервіла І., Бейзера Б. Проблеми процесу автоматизованого тестування графічного користувацького інтерфейсу розглянуто у працях Калинова А.Я., Косачова А.С., Посипкіна М.А., Соколова А.А.[1], Р. Робінсона [2]. У статті [1] викладено метод автоматичної генерації набору тестів для графічного інтерфейсу користувача, модельованого детермінованим кінцевим автоматом за допомогою UML діаграм. Метод полягає у побудові обходу графа станів системи із застосуванням не надлишкового алгоритму обходу та компіляції побудованого обходу у тестовий набір. У статті [2] наведено основні порівняльні характеристики програмних продуктів для тестування GUI, а саме: WinRunner, QA Run, Silk Test, Visual Test та Robot.

Аналіз вище зазначених праць свідчить про те, що фахівці у своїх дослідженнях здебільшого розглядають окремі аспекти проблеми автоматизованого тестування GUI. Зокрема, у статті [1] процес автоматичної генерації тестів є трудомістким і передбачає використання двох програмних продуктів, а саме Rational Rose та Rational Robot. На даний час вказаний продукт є застарілим і не здатен підтримувати більшість сучасних браузерів. Що до засобів, зазначених у статті [2], то використання їх також є трудомістким – часові витрати на «прогон» тестів вручну співпадають із часом їх написання.

Вимоги до програмної системи. Метою досліджень сучасних систем для автоматизованого тестування GUI веб-додатків (Ranorex Studio 3.1.1, TestComplete 8, Teleric Test Studio 2011.2 та Selenium IDE) є встановлення їхніх основних особливостей функціонування і на цій основі створення власної тестової системи, яка відзначається підвищеною продуктивністю. Поряд із цим, однією із основних не функціональних вимог створюваної системи є «кросбраузерність».

Існує широкий спектр інструментів для автоматизованого тестування GUI веб-додатків. Оптимально організована система повинна відповідати таким вимогам:

1. Запис та відтворення тестів
2. Відлагодження помилок
3. Безоплатність
4. Підтримка тестування веб-додатків:
 - 1) Internet Explorer

- 2) Mozilla Firefox
- 3) Google Chrome
5. Наявність візуалізатора
6. Можливість використання ключових слів при написанні тесту
7. Інтеграція з Visual Studio
8. Генерація коду на C #[3].

Результати досліджень існуючих систем автоматизованого тестування наведено у табл.1., де «+» позначено наявність даної можливості у вказаній системі, а «-» - її відсутність.

Таблиця 1

Порівняльна характеристика сучасних систем автоматизованого тестування

Система тестування	TestComplete	Ranorex Studio	Test Studio	Selenium IDE
Характеристики				
Запис та відтворення тестів	+	+	+	+
Відлагодження помилки	-	+	+	+
Безоплатність	-	-	-	+
Підтримка тестування веб-додатків:	+	+	+	+
Internet Explorer	+	+	+	-
Mozilla Firefox	+	+	+	+
Google Chrome	-	-	+	-
Наявність візуалізатора	+	+	+	-
Можливість використання ключових слів при написанні тесту	+	+	+	-
Інтеграція з Visual Studio	-	+	+	-
Генерація коду на C #	-	+	+	-

Згідно із табл. 1, жодна із систем, що досліджувалися, не відповідає сформульованим вимогам. Вказані додатки корисні лише своєю універсальністю, тобто вони за достатньо короткий момент часу здатні створити велику кількість тестів за допомогою функції record&playback. Але отримані скріпти доволі часто мають проблеми зі стійкістю і є достатньо складними.

Тому метою даної роботи є розробка продукту, який би найкращим чином відповідав вимогам, наведеним у табл.1.

Кількісні характеристики якості програмної системи для автоматизованого тестування GUI. У стандарті ISO/IEC 9126 сформульовано вимоги щодо якості ПЗ. Проте, враховуючи специфіку вказаного ПЗ, необхідно сформулювати кількісні характеристики оцінки якості тестових систем цих оцінок якості:

1. Покриття тестових сценаріїв.
2. Покриття коду.
3. Досяжність завершеності тестування.

Показник покриття тестових сценаріїв характеризує кількість покритих елементів програмного забезпечення в результаті тестування. Найчастіше даний показник визначають у відсотках. Вказаний показник обчислюємо за формулою:

$$TV = (V - DV) / V \quad (1)$$

де TV – оцінка ступеня тестування (вимірюється у відсотках); V – максимальна кількість тестів, що покривають роботу усієї системи, що тестується; DV – максимальна кількість тестів, які залишилися не покритими після прогону усієї множини тестів $T = \{t_i; i=1, \dots, n\}$. Величина DV монотонно зменшується від 1 до 0 із збільшенням кількості тестів.

Показник покриття коду відображає відсоток вихідного коду програми, який був протестований, тобто це щільність покриття тестами коду, що виконується. Покриття коду включає в себе декілька видів, а саме: покриття операторів, умов, шляхів та функцій. У нашому випадку тестування сайту використовуватимемо покриття операторів, тобто чи кожен рядок коду був виконаним і відтестованим [3]. Даний показник обчислюємо лише тоді, коли є доступ до структури (коду) системи, що тестується.

Показник досяжності завершеності тестування обчислюємо з метою визначення коли потрібно припинити процес тестування, тобто чи програма є достатньо відтестованою й готовою до функціонування за призначенням. Критерій завершеності тестування має такий вигляд:

$$TV > L,$$

де L – рівень тестованості ($0 < L < 1$) [2].

Архітектура та алгоритм функціонування. Перш ніж ознайомитися з роботою системи, слід звернути увагу на сайт, який буде тестуватися з використанням даної програми.

Сайт являє собою MVC-додаток (фреймворк ASP.NET MVC 3). MVC спрямований на відділення бізнес-логіки від користувальницького інтерфейсу, щоб розробники могли легко змінювати окремі частини додатку, не вносячи зміни в інші. В архітектурі MVC модель надає дані і правила бізнес-логіки, представлення відповідає за користувальницький інтерфейс (наприклад, текст, поля вводу), а контролер забезпечує взаємодію між моделлю та представленням. Розуміння роботи сайту потрібно для розробки тестових сценаріїв та дослідження самого тестування.

Сайт продажу квитків «Event» реалізує наступні функції (в дужках позначено роль користувача):

- o Реєстрація користувача («User»)
- o Видалення користувача («Administrator»)
- o Створення події («Administrator»)
- o Редагування події («Administrator»)
- o Видалення користувача («Administrator»)
- o Резервування квитка користувачем («User»)

Перед виконанням будь-яких дій на сайті, необхідно авторизуватися.

Особливості роботи розробленої програми для тестування такі: програма при запуску виконує послідовність дій для перевірки користувацького інтерфейсу у трьох браузерах (Mozilla Firefox, Google Chrome, Internet Explorer). Крім технічного характеру, програма має також пізнавальний характер – дозволяє користувачу ознайомитися як працювати з сайтом. Особливістю даної програми є те, що усі дії виконуються автоматично. Користувачу потрібно лише перевірити доступ до Інтернет, запустити дану програму, і подивитися результати виконання. Блок-схему функціонування програми та її компонент наведено на рис. 1 та рис. 2.

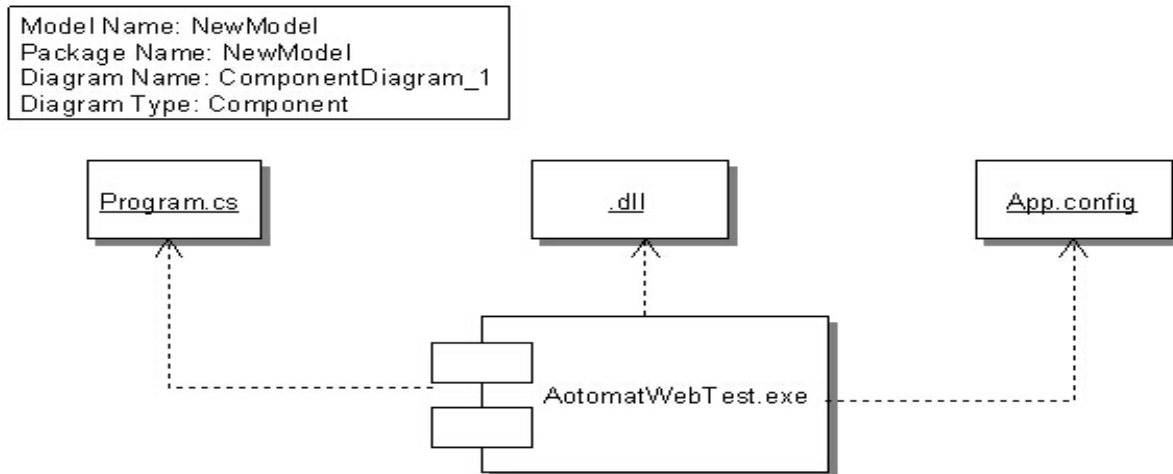


Рис. 1. UML-діаграма компонент

Діаграма компонентів описує особливості фізичного представлення системи. Вона визначає архітектуру розроблюваної системи, встановивши залежність між програмними компонентами [5]. Наявність подібної залежності (рис. 1) означає, що внесення змін до вихідного тексту програми, динамічної бібліотеки чи файлу конфігурації призводить до змін самої компоненти.

Блок-схема, яка представлена на рис. 2, представляє роботу системи автоматизованого тестування. Тестування відбувається у трьох браузерах і при виникненні помилки в тексті, система виводить текст помилки й припиняє свою роботу. У протилежному випадку система після виконання усіх тестів виводить результати й завершує свою роботу.

Дослідження ефективності запропонованої системи. Для тестування будь-якого програмного продукту для тестування важливо не лише наявність багатьох властивостей, які покращують його роботу, але й висока продуктивність даної системи – це можливість за найкоротший час виявити найбільшу кількість помилок.

Так, як згідно з табл. 1 кожна система має функцію запису й відтворення тестів, у ході виконання роботи у кожній системі було проведено запис тестових сценаріїв, і навмисно було зроблено помилки. Відсоток виявлення помилок кожною системою представлено на рис. 3.

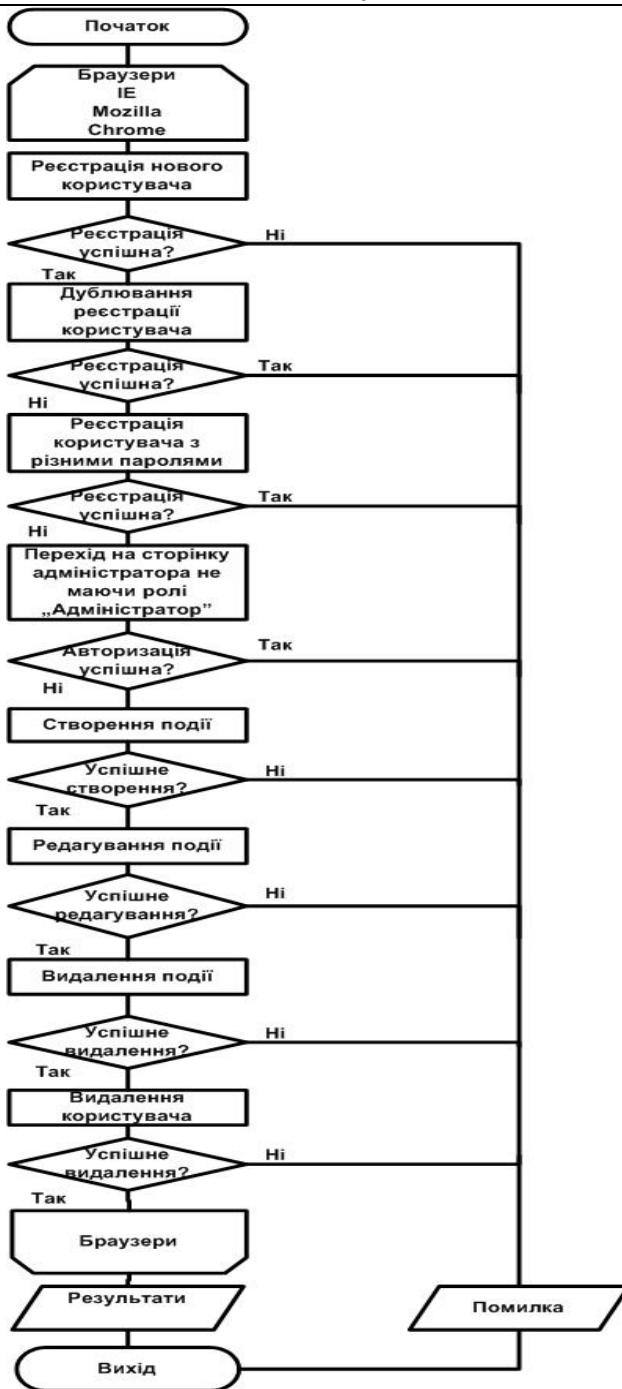


Рис. 2. Узагальнена блок-схема алгоритму програми

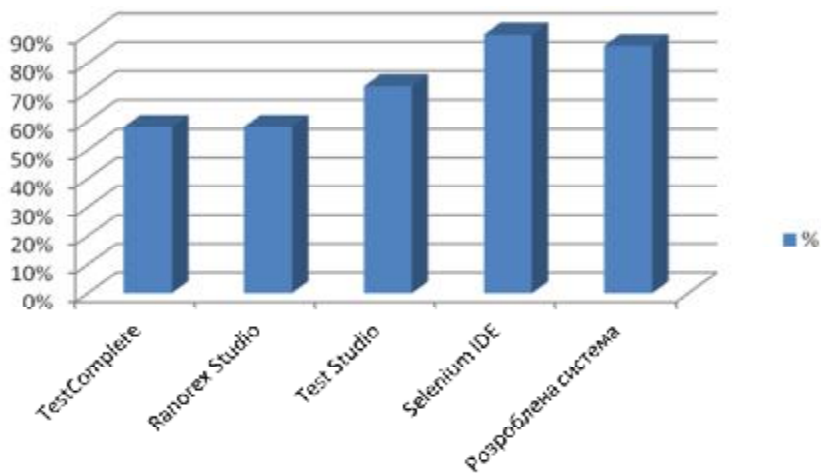


Рис. 3. Відсоток виявлення помилок кожною із досліджених систем

Згідно з проведеними дослідженнями, у кожній із систем було проведено запис дев'яти тестових сценаріїв ($V=9$). У семи сценаріях було навмисно зроблено помилки, тобто в семи випадках із дев'яти мало б виникнути «падіння» тесту. Система TestComplete виявила лише чотири помилки, Ranorex Studio – теж чотири, Test Studio – п'ять, Silenium IDE – усі сім помилок, але звіт по одній з них не відповідав дійсності «падіння» тесту. Що ж до розробленої системи, то вона виявила шість помилок із семи. У ході дослідження також обчислено показник покриття тестових сценаріїв, покриття коду та обраховано критерій завершеності тестування. Згідно з проведеними обчисленнями, автоматизоване тестування для даного сайту є доцільним: покриття майже усіх тестових сценаріїв ($DV=9-1$), Загальна кількість рядків коду – 472, з них протестовано 295. Показник покриття коду – 63% та показник завершеності тестування – близько 89%.

Висновки

У ході виконання роботи було досліджено чотири системи автоматизованого тестування GUI і створено нову систему, яка уможливує автоматичне виконання тестування сайту продажу квитків через Інтернет, тобто система автоматично виконує функції взаємодії через GUI користувача. Показано, що запропонована система за критеріями якості переважає існуючі системи тестування.

Література

1. Автоматическая генерация тестов для графического пользовательского интерфейса по UML диаграммам действий / А.Я. Калинов, А.С. Косачёв, М.А. Посыпкин, А.А. Соколов // Труды Института системного программирования РАН. – 2004. – Т. 8. – Ч. 1.
2. Robinson Ray, AUTOMATION TEST TOOLS, Date Created: 1st March 2001, Last Updated: 11th Sept 2001.
3. www.wikipedia.org
4. Котляров В.П. Основы тестирования программного обеспечения / В.П. Котляров, Т.В. Колякова. – М.: Бино, 2006. – 285 с.
5. Weikiens T. Systems Engineering with SysMLUML Modeling, Analysis, Design. – Denise E. M. Penrose, 2007. – 320.

Рецензент: дт.н. Троцишин І.В.
Надійшла 13.2.2012 р.

УДК 004.492.3

С.М. ЛИСЕНКО, А.В. КРАСІЙ, В.В. МЕЛЬНИК
Хмельницький національний університет

ПОБУДОВА ПРОЦЕСУ ВИЯВЛЕННЯ ТРОЯНСЬКИХ ПРОГРАМ

В роботі досліджено достовірність сучасних засобів антивірусного діагностування та виявлено недоліки їх функціонування. Розроблено модель життєвого циклу троянських. Розглянуто особливості побудови процесу діагностування комп'ютерних систем на наявність троянських програм у режимах монітора та сканера.

In the article the main principles of antiviral diagnosis are proposed. Life circle Trojans model was developed. Main ideas of Trojan detection in monitor and scanner modes are presented.

Ключові слова: троянські програми, антивірусне діагностування комп'ютерних систем.

Вступ

Об'єднання комп'ютерних систем (КС) в локальній мережі та підключення їх до глобальної мережі Internet породжує багато проблем, пов'язаних з їх функціонуванням та використанням. Досить значні проблеми для роботи КС в локальних мережах створюють комп'ютерні мережні віруси, зокрема, їх наявність приводить до неправильного функціонування програмного та апаратного забезпечення.

Проблеми антивірусного діагностування комп'ютерних систем, що функціонують у режимі віддаленого доступу, коли ймовірність проникнення в систему шкідливих програмних об'єктів з боку віддалених комп'ютерних систем особливо висока, приділяється значна увага. Аналіз останніх результатів антивірусного діагностування КС показує динамічний ріст кількості комп'ютерних вірусних програм – програм чи деякої сукупності виконуваного коду, які можуть створювати свої копії, впроваджувати їх у файли, системні області комп'ютерної системи, зберігати здатність до розповсюдження, виконувати деструктивні дії. Серед них особливе місце займає окрема множина вірусних програм – троянські програми, які на відміну від класичних вірусних програм проникають у комп'ютерні системи з метою викрадення конфіденційної інформації, що становлять особливу небезпеку [1] і при цьому не створюють своїх копій.

Проведений аналіз АПЗ показав, що усі вони мають засоби діагностування КС на наявність троянських програм з використанням ІТ на основі сигнатурного аналізу, контрольних сум та евристичних аналізаторів. Проте деталі евристичних аналізаторів діагностування нових ТП недоступні та закриті для дослідження та вивчення. З огляду на це оцінка достовірності та ефективності антивірусного діагностування може бути здійснена шляхом дослідження результатів їх тестування.

Для оцінки достовірності антивірусного діагностування сучасних АПЗ дослідження результатів

тестування роботи з використанням ІТ на основі сигнатурного аналізу, контрольних сум, закладених в АПЗ, є недоцільним. Це зумовлено тим, що дані ІТ діагностують лише відомі ТП і на їх достовірність роботи впливає лише затримка оновлення антивірусних баз. Проте важливим є аналіз результатів роботи евристичних аналізаторів, які виявляють нові ТП.

Для аналізу достовірності антивірусного діагностування розглянутих АПЗ дослідимо дані з відомого ресурсу Virus Bulletin, рейтинг VB100 якого відображає результати останніх порівняльних тестів АПЗ [2]. Результати тестування евристичних аналізаторів представимо таблицею 1.

Таблиця 1

Кількість виявлених нових троянських програм при тестуванні евристичних аналізаторів АПЗ

Засіб антивірусного діагностування	Виявлено троянських програм, %
Avira	70
Microsoft	69
AVG	43
BitDefender 2009	41
Sophos	62
Kaspersky	64
McAfee	55
Nod32 (Eset)	66
Norton 2009 (Symantec)	41
Norman	36
Avast!	59

Результати тестування евристичних аналізаторів на предмет можливості виявлення нових невідомих троянських програм антивірусними програмними засобами представимо гістограмою на рис 1.

Також розглянемо результати тестування АПЗ на предмет достовірності роботи евристичних аналізаторів іншим відомим ресурсом AV-Comparatives [3]. Для тестування АПЗ було згенеровано нові невідомі ТП різних класів (таблиця 2). Оскільки сьогодні найчисельніший клас ТП – Backdoor, тому було окремо згенеровано 4966 ТП даного класу.

Таблиця 2

Результати тестування достовірності евристичних аналізаторів АПЗ

Засіб антивірусного діагностування	Виявлено ТП класу backdoor зі згенерованих 4966	Виявлено ТП інших класів зі згенерованих 13555
Avira	3737 (75%)	9523 (70%)
Avast!	2677 (54%)	5288 (39%)
AVG	2656 (53%)	5823 (43%)
BitDefender 2009	3087 (62%)	6607 (49%)
Norman AV	1637 (33%)	3028 (22%)
Microsoft AVs	3172 (64%)	7850 (56%)
Kaspersky	2826 (57%)	6353 (47%)
McAfee	1686 (34%)	3242 (24%)
Eset Nod32)	2894 (58%)	7416 (55%)
Norton Symantec	1761 (35%)	4690 (36%)

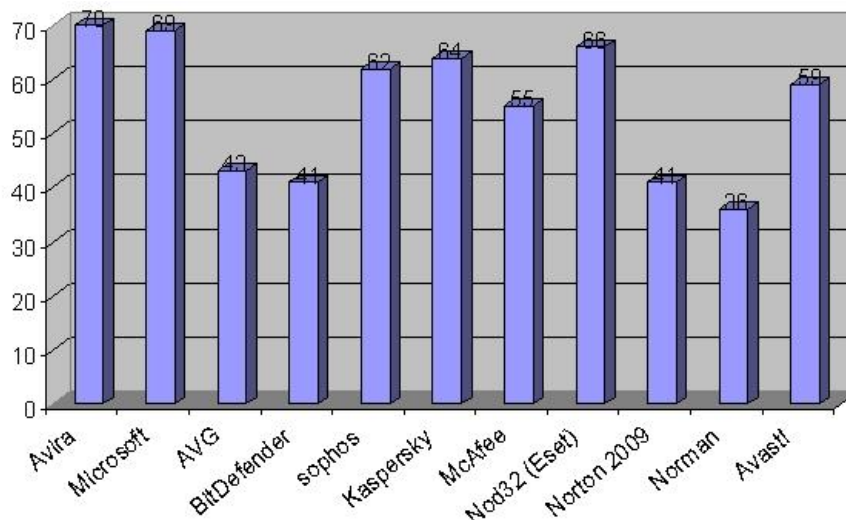


Рис. 1. Результати тестування АПЗ

Результати тестування евристичних аналізаторів на предмет можливості виявлення нових ТП антивірусними програмними засобами представимо гістограмою на рис. 2.

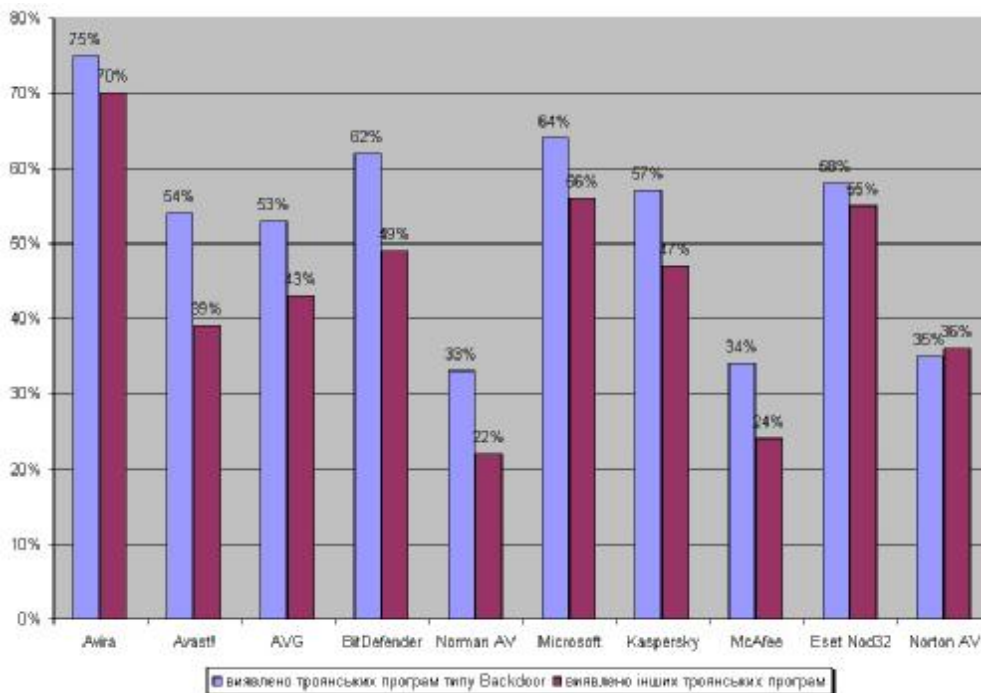


Рис. 2. Результати тестування АПЗ

Отримані дані відомих ресурсів тестування АПЗ, представлені у наведених таблицях, підтверджують факт низької достовірності діагностування КС на наявність троянських програм. АПЗ показали можливість виявлення лише 70% нових троянських програм.

Проведені дослідження програмних засобів діагностування КС на наявність троянських програм дозволяють зробити наступні висновки:

- сучасні програмні засоби діагностування КС не задовольняють вимогам ефективного антивірусного діагностування КС в умовах динамічного росту кількості ТП та росту рівня кваліфікації їх розробників, які швидко реагують на появу нових інформаційних технологій діагностування та добре знають класичні технології;
- тестування АПЗ показує низьку достовірність діагностування нових троянських програм засобами з використанням інформаційних технологій на основі евристичних аналізаторів;
- розробники АЗ приховують можливість виявлення нових троянських програм, наявні ж – демонструють низьку достовірність та ефективність;
- для підвищення ефективності антивірусного діагностування КС необхідним є розробка нової інформаційної технології діагностування КС на наявність ТП, яка б мала здатність виявляти відомі та невідомі ТП, розпізнавання здійснювалося б згідно життєвого циклу ТП, а інформаційна технологія діагностування мала б адаптивну основу.

Результати тестування свідчать про невисоку достовірність роботи АПЗ щодо діагностування нових ТП, що робить актуальною задачу розробки нової адаптивної інформаційної технології діагностування КС, яка б надала більшу достовірність діагностування КС на наявність нових невідомих ТП. Використання даної інформаційної технології дозволило б отримати нові програмні засоби, достовірність роботи яких була б вищою.

Постановка завдання

На основі проведеного аналізу сучасних інформаційних технологій діагностування КС на наявність ТП, недоліків їх роботи; та аналізу їх достовірності розробити основні принципи антивірусного діагностування КС в режимах монітора та сканера.

Дослідити структуру троянських програм та їх життєвий цикл.

Розробити поведінкову модель ТП та поведінкові моделі класів ТП із урахуванням їх функціонального навантаження. Розробити модель процесу діагностування комп'ютерних систем на наявність троянських програм.

Життєвий цикл троянських програм

Життєвий цикл (ЖЦ) троянських програм розділимо на три етапи: потрапляння на віддалену комп'ютерну систему, активізація та виконання закладених деструктивних дій в наборі функціональних можливостей троянської програми. Схему ЖЦ ТП зображено на рис.3.



Рис. 3. Схеми життєвого циклу троянської програми

Проте дослідження різновидів ТП [4], їх характеристик таких, як функціональне навантаження та можливість функціонування в певній операційній системі показало, що часто ЖЦ ТП може бути видозмінений шляхом перестановки певних його етапів, чи відсутності одного із них взагалі. Тобто в структурі ЖЦ повинно бути хоча б дві складові із наведених на рис.4, причому етап потрапляння ТП в КС повинен бути обов'язково.

Наприклад, розглянемо загальну схему функціонування ТП класу Trojan-Backdoor клієнт-серверного типу (рис. 4).

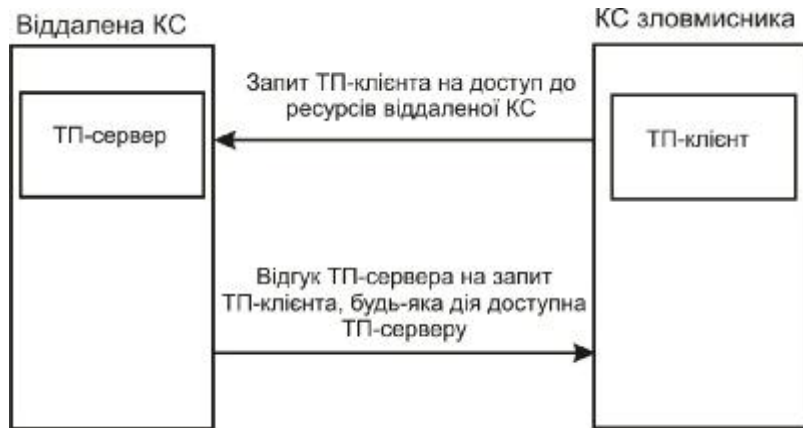


Рис. 4. Схема функціонування ТП типу клієнт-сервер

Дійсно, згідно з даною схемою троянська програма може пройти усі етапи свого ЖЦ, проте у різній послідовності. Наприклад, ТП проходить перший етап ЖЦ проникнення на віддалений КС шляхом маскуванню, де ТП видає себе за корисне програмне забезпечення, яке присутнє на web-ресурсі; шляхом прикріплення коду ТП до іншого файлу, що завантажується з мережі Internet; ТП завантажується шляхом активації скрипта, прикріпленого до певного посилання на web-ресурсі або шляхом кооперування з worm-вірусом, коли рух ТП мережею здійснюється в складі worm-вірусу. Далі присутня в КС ТП активізує себе шляхом додавання запису в системний реєстр ОС на автоматичний запуск свого тіла на виконання при кожному старті ОС. Третій етап ТП, що розглядається, характеризується діями, закладеними розробниками ТП.

Однак дана схема може підійти і до видозміненого ЖЦ, коли ТП потрапила в КС не через мережу, а шляхом запису з флеш-носія як корисне ПЗ (його серверна частина). Далі після свого запуску не прописується на автоматичне виконання, а відкрити будь-який системний порт на прослуховування сигналу від зломисника (клієнтської частини троянської програми), який при подоланні локального захисту ОС може здійснювати керування віддаленою КС.

Основною складовою троянської програми є модуль її проникнення у віддалену комп'ютерну систему. В структурі троянської програми присутні три модулі (рис. 5). ТП, що потрапила в КС, містить механізм реєстрації себе в системі. Велика кількість троянських програм містять модуль активізації.

Кожна ТП має підпрограму деструктивних дій, тобто модуль виконання деструктивних дій. Наприклад, це може бути реалізація системи віддаленого керування КС у мережі, викрадення інформації, інші шкідливі дії. Особливо небезпечними є ТП, які реалізовані з використанням rootkit-технології, що дозволяє зломиснику приховати присутність самої шкідливої програми в системі шляхом заміни системних бібліотек, перехоплення й модифікації низькорівневих API-функцій. Антивиявляючий модуль ґрунтується на використанні rootkit-технології.

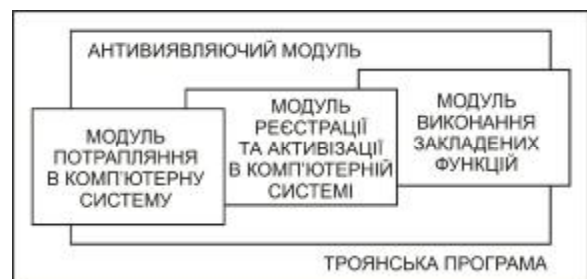


Рис. 5. Загальна структура троянської програми

Розглянуті життєвий цикл, загальна структура та характерні поведінки ТП в КС дозволяють виконати побудову їх поведінкових моделей. Нехай Θ – множина програмних об'єктів, що потенційно можуть бути троянськими програми n_n , де $n_n \in \Theta$, $n \in N$, тобто $\Theta = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$, де n – кількість троянських програм. Життєвий цикл троянської програми позначимо множиною S її етапів $s_i \in S$, $i = \overline{1,3}$. Нехай m – вектор дій та функцій, які реалізують способи та механізми здійснення потрапляння ТП на віддалену КС, p – вектор мережних протоколів, через системні порти яких здійснюється потрапляння ТП в КС. Приймемо a як вектор деструктивних дій троянської програми у віддаленій КС $a \in A$, та b – вектор структурних одиниць операційної системи комп'ютерної системи, які зазнають негативних впливів від деструктивних дій троянської програми $b \in B$. В поведінці ТП на етапі потрапляння ЖЦ такі поняття як дії, що дозволяють виконати потрапляння в КС, та системні порти, через які здійснюється таке потрапляння, знаходяться у бінарному відношенні. Оскільки таке бінарне відношення зручно подавати у вигляді двійкової

(булевої) матриці, у якій якщо i -тий елемент однієї множини відповідає j -му елементові другої множини, то введемо матрицю відношень способів потрапляння ТП в КС та портів $V = |V_{mp}|$ та матрицю відношень деструктивних дій ТП в КС і структурних одиниць ОС $L = |L_{ab}|$.

При такому способі представлення елементів поведінки троянських програм у випадку, якщо потрапляння ТП відбулося m -м способом через p -й системний порт, то при побудові матриці відношень V на перетині m -го стовпця та p -го рядка матриця має значення 1, та 0 у іншому випадку. Побудова матриці відношення L здійснюється аналогічно.

Введемо позначення \longrightarrow , суть якого полягає у заданні відношення між трьома поняттями, а саме: якщо $s_i \xrightarrow{a} s_{i+1}$, то дія $a \in A$ спричинює перехід із стану s_i в стан s_{i+1} , а результат має булевий тип 0 або 1 в залежності від того чи виконався перехід із стану інший стан чи ні.

Введемо функцію Aff , яка визначає взаємодію між об'єктами та троянськими програмами v_j , тоді множина $a \in Aff(e_i, v_j)$ є набором можливих дій, які троянська програма v_j завдає об'єкту (об'єктам) e_i . Номінально, $Aff(b_i, v_j)$ є множиною впливів, які ТП v_j завдає об'єкту b_i .

Нехай ε – відношення між ТП та її станами, тоді для $v \in \Theta$ та $s \in S$, відношення $v \varepsilon s$ означає, що троянська програма v перебуває в стані s ; відношення $v \bar{\varepsilon} s$ означає, що троянська програма v не перебуває в стані s . Приймемо шлях $s_i \xrightarrow{w} s_{i+1}$, де $w \in A^*$ ($A^* = \{a_1, a_2, \dots, a_k, m_1, m_2, \dots, m_n\}$), троянська програма $v \varepsilon s_i$ та $v \varepsilon s_{i+1}$ але $v \bar{\varepsilon} s_0$, де s_0 – стан троянської програми, яка ще не потрапила в КС і не є активізованою, стан s_0 не належить життєвому циклу ТП.

Додатково введемо поняття Z характеристичних параметрів відношень. Тоді $Z = \{z_k\}$ є вектором деструктивних дій об'єкта з нормованими пріоритетними вагами $P = \{p_k\}$, ($\sum p_k = 1$), що враховують рівень їхньої небезпеки для комп'ютерної системи [5].

Виходячи з вищеповисаних параметрів узагальнену поведінкову модель троянських програм представимо наступним чином:

$$M_v = \langle \Theta, S, V, L, Aff, \varepsilon, Z \rangle. \tag{1}$$

З огляду на узагальнену поведінкову модель троянська програма, життєвий цикл якої має усі етапи, проходить можливий шлях:

$$s_0 \xrightarrow{V,L} s_1 \xrightarrow{V,L} s_2 \xrightarrow{V,L} s_3, \tag{2}$$

де $s_i \xrightarrow{V,L} s_{i+1}$ означає можливість видозміненого життєвого циклу, коли, наприклад, етап потрапляння ТП в КС здійснюється не через мережу, або етап активізації виконується шляхом надходження сигналу через мережу, а не локально.

Оскільки об'єктом дослідження є процес діагностування КС на наявність ТП, то важливою задачею є розроблення його моделі, яка повинна включати здатність відображати особливості даного процесу та використовувати розроблені поведінкові моделі ТП.

Весь процес антивірусного діагностування КС на наявність ТП розділимо на два підпроцеси, які можуть працювати паралельно:

- 1) здійснення антивірусного моніторингу подій в КС;
- 2) виконання процедури антивірусного сканування КС на предмет виявлення факту підміни системних файлів троянськими версіями.

Здійснення антивірусного моніторингу повинно відбуватися в КС постійно з моменту запуску комп'ютерної системи.

Процедуру виконання антивірусного сканування КС на предмет виявлення факту підміни системних файлів троянськими версіями здійснюватимемо на вимогу користувача або через заданий квант часу.

Позначимо частини процесу антивірусного діагностування КС як Ω та Δ , де Ω – процес моніторингу, а Δ – сканування КС. Тоді формалізовану схему процесу діагностування КС на наявність ТП подамо як на рисунку 6.

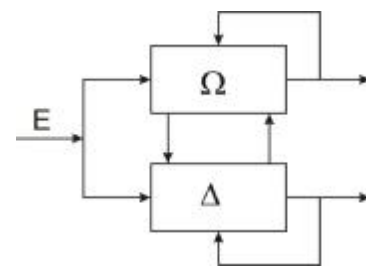


Рис. 6. Узагальнена схема процесу діагностування КС на наявність ТП

Розглянемо кожну частину процесу діагностування КС на наявність ТП.

Процес антивірусного моніторингу складається з етапів $\Omega = \{\Omega_1, \Omega_2, \Omega_3, \Omega_4, \Omega_5, \Omega_6\}$, а виконання процедури антивірусного сканування КС на предмет виявлення факту підміни системних файлів троянськими версіями включатиме етапи $\Delta = \{\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4\}$ (див. рис. 2.20): Ω_1 – процедура

відслідковування (моніторингу) потоків, що здійснюються через системні порти КС; Ω_2 – процедура відслідковування виконання системних функцій в КС; Ω_3 – процедура блокування виконання програмним об'єктом системних функцій або функцій троянської програми, підозрілість яких визначена на інших етапах процесу антивірусного діагностування; Ω_4 – виконання процедури фазифікації в межах системи нечіткого логічного висновку (НЛВ) для введення нечіткості шляхом задання ступенів підозрілості функціонування ПЗ та ступенів небезпеки інфікування КС; Ω_5 – робота машини логічного висновку в межах системи НЛВ; Ω_6 – виконання процедури дефазифікації в межах системи НЛВ для визначення ступеня небезпеки інфікування КС троянською програмою.

Для реалізації кожного етапу необхідні відповідні параметри, що представлені множиною векторів $\Phi_{mon} = \{\bar{j}_1, \bar{j}_2, \mathbf{K}, \bar{j}_6\}$, де кожен вектор складається з множини параметрів відповідного етапу: $\bar{\Phi}_i = \{j_1^i, j_2^i, \mathbf{K}, j_{n_i}^i\}$, де n_i – кількість параметрів i -го етапу, $i = \overline{1, 6}$ (рис. 7).

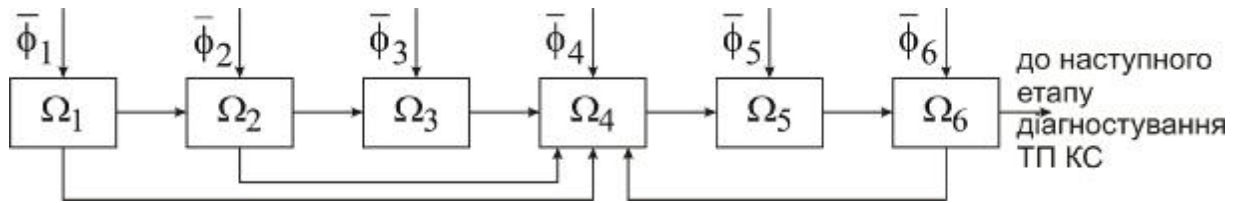


Рис. 7. Формалізована схема процесу моніторингу системних подій в КС

Процес сканування включає наступні етапи (див. рис. 8):

Δ_1 – виконання формування набору файлів, що підлягають процедурі створення набору захищених бінарних послідовностей; Δ_2 – виконання генерації набору шаблонів файлів, відібраних на попередньому етапі та виконання кодування даних у визначеному форматі; Δ_3 – виконання генерації детекторів; Δ_4 – виконання етапу сканування системи співставлення захищених двійковий послідовностей об'єктів антивірусного діагностування зі згенерованими на попередньому етапі детекторами.

Аналогічно процесу моніторингу, для реалізації кожного етапу процесу діагностування КС на наявність ТП для кожного етапу необхідні відповідні параметри, що представлені множиною векторів $\Phi_{scan} = \{\bar{j}_7, \bar{j}_8, \mathbf{K}, \bar{j}_{10}\}$, де кожен вектор складається з множини параметрів відповідного етапу: $\bar{\Phi}_i = \{j_1^i, j_2^i, \mathbf{K}, j_{n_i}^i\}$, де n_i – кількість параметрів i -го етапу, $i = \overline{1, 4}$.

Таким чином, формалізована схема процесу діагностування КС на наявність ТП включає дві основні частини: моніторинг системних подій в КС та сканування КС на виявлення факту підміни системних файлів троянськими версіями. З урахуванням зворотних зв'язків між етапами процесу діагностування, які полягають у здійсненні передачі даних від етапу Ω_6 до Δ_1 , схему процесу діагностування КС на наявність ТП представимо на рис. 9.

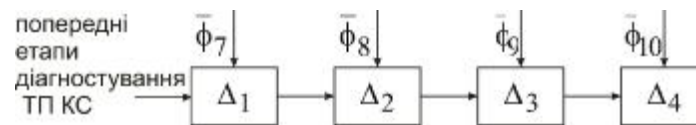


Рис. 8. Формалізована схема процесу сканування КС



Рис. 9. Формалізована схема процесу діагностування КС на наявність ТП

Для формалізації виконання етапів антивірусного діагностування подамо модель процесу діагностування КС на наявність ТП з урахуванням параметрів, які використовують вищевказані етапи у вигляді [7–9]:

$$M_u = \langle \{E, R, M_W, f_m\}, \{E, H, S, D, E_v, f_s\} \rangle, \quad (1)$$

де для етапів $\Omega_1 - \Omega_6$: E – множина об’єктів діагностування в режимі монітора $e_k \in E$, а саме множина файлів КС, причому $\Theta \in E$; R – результуюче число $R \in [0, 1]$, яке свідчить про ступінь небезпеки інфікування КС троянською програмою; відношення e між об’єктами та станами, причому для $p \in \Theta$ та $s \in S$; M_W – множина поведінкових моделей троянських програм; $f_m(I_m, I'_m, I''_m)$ – функція адаптивності діагностування КС в режимі монітора, параметри якої змінюються в залежності від вхідних даних, де I_m – набір діагностичної інформації, $I_m = \langle \Theta, V, L, R \rangle$; I'_m – вектор результатів антивірусного діагностування, $I'_m = \langle R_1, R_2, \dots, R_n \rangle$; I''_m – набір даних про виявлене шкідливе програмне забезпечення, які збираються і використовуються в майбутньому як знання, $I''_m = \langle E, R \rangle$; для етапів $\Delta_1, \Delta_2, \Delta_3, \Delta_4$: E – множина об’єктів діагностування в режимі сканера $e_k \in E$, H – множина об’єктів $h \in H$, що підлягають процедурі сканування на предмет можливого факту їх підміни; S – множина захищених двійкових послідовностей $s \in S$; D – множина детекторів, згенерованих для сканування системи $d \in D$, E_v – множина файлів КС, що були підмінені троянськими версіями; $f_s(I_s, I'_s, I''_s)$ – функція адаптивності діагностування КС в режимі сканера, де I_s – набір діагностичної інформації, $I_s = \langle H, S, D \rangle$; I'_s – результати антивірусного сканування представлені набором файлів, що були підмінені троянськими версіями, $I'_s = \langle E_1, E_2, \dots, E_n \rangle$; I''_s – вектор інформації про оновлення системних файлів та встановлення нового ПЗ, як компонентів об’єкта діагностування $I''_s = \langle E'_1, E'_2, \dots, E'_n \rangle$ (рис. 10).

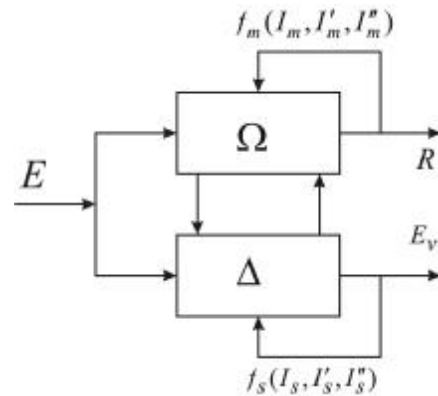


Рис. 10. Формалізована схема процесу діагностування КС на наявність ТП з урахуванням функцій адаптивності

Таким чином, троянська програма $v_n \in \Theta$, як і будь-який інший програмний об’єкт, що функціонує в КС, є скінченною послідовністю певних дій з множини $A^* = \{a_1, a_2, \dots, a_i, m_1, m_2, \dots, m_n\}$. Здійснення діагностування КС на наявність ТП за поведінкою програмних об’єктів виконуватиметься за допомогою постійного відслідковування та порівняння поведінки програмних об’єктів із поведінками відомих троянських програм. Множини поведінок бази на різних етапах ЖЦ ТП $T = \langle V^t, L^t \rangle$, $Q = \langle V^q, L^q \rangle$, $I = \langle V^i, L^i \rangle$ утворюють генеральну сукупність даних. Перевірка однорідності для різних поведінок не

потрібна, оскільки в процесі діагностування комп’ютерних систем на наявність троянських програм порівняння поведінки програмних об’єктів відбувається з усіма поведінками в базі, а тому вибірки немає.

Запропонована модель процесу діагностування комп’ютерних систем на наявність троянських програм включає в себе дві незалежно-функціональні частини, які дають можливість здійснити виявлення шкідливих програмних об’єктів шляхом відслідковування системних подій та сканування комп’ютерних систем. Кожна функціональна частина має усі необхідні параметри для ефективного діагностування комп’ютерних систем. Процес діагностування є адаптивним, оскільки враховує можливість автоматичної зміни параметрів діагностування в залежності від особливостей комп’ютерних систем та накопичення знань для подальшого їх використання.

Модель процесу діагностування комп’ютерних систем на наявність троянських програм є основою для побудови адаптивної інформаційної технології діагностування комп’ютерних систем на наявність нових троянських програм, та дозволяє підвищити достовірність діагностування.

Висновки

З’ясовано, що жодна із відомих ІТ діагностування КС на наявність ТП, що існують на сьогоднішній день, не діагностують КС з високою достовірністю.

Розроблено поведінкові моделі троянських програм та класів троянських програм комп’ютерних систем шляхом врахування особливостей функціонування троянських програм протягом їх життєвого циклу та деструктивного характеру дій в комп’ютерній системі, що уможливило підвищити достовірність їх виявлення в комп’ютерних системах.

Розроблено методику моделювання поведінки троянських програм та процес її занесення до антивірусної бази. Для перевірки вірності розроблених поведінкових моделей було доведено врахування в

розроблених поведінкових моделях усіх особливостей функціонування троянських програм в комп'ютерних систем шляхом порівняння реальних шкідливих програмних об'єктів із розробленими моделями.

Розроблено модель процесу діагностування комп'ютерних систем на наявність троянських програм, яка базується на залученні компонентів штучного інтелекту, зокрема нечіткої логіки та алгоритмів штучних імунних систем, і відрізняється від відомих тим, що використовує поведінкові моделі класів троянських програм, дозволяє адаптувати процес діагностування до окремо взятої комп'ютерної системи і не потребує побудови баз сигнатур.

Література

1. Савенко О. Дослідження методів антивірусного діагностування комп'ютерних мереж / Олег Савенко, Сергій Лисенко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – № 2. – Т. 2. – С. 120–126.
2. Williamson M. M. Virus throttling / M. M. Williamson, J. Twycross, J. Griffin, and A. Norman // Virus Bulletin. – 2009.
3. Proactive/Retrospective test. Anti-Virus comparative [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://av-comparatives.org>.
4. Савенко О. Модель процесу пошуку троянських програм в персональному комп'ютері / Олег Савенко, Сергій Лисенко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2008. – № 7. – С. 87–92.
5. Савенко О.С. Поведінкова модель троянських програм / О.С.Савенко, С.М. Лисенко // Комп'ютерні науки та інформаційні технології (CSIT-2007): міжнар. наук.-техн. конф., 27–29 вересня 2007 р. : тези доповідей. – 2007. – С. 129–132.
6. Система пошуку троянських програм з використанням нечіткого логічного висновку: зб. наук. праць міжнародної науково-практичної конференції [«Інтелектуальний аналіз інформації ІАІ-2008»], (Київ, 14-17 травня 2008 р.) / [редкол.: С.В. Сирота та ін]. – К.:Просвіта. – 2008. – С. 413–431.
7. Графов Р.П. Использование нечеткой логики для поиска троянских программных продуктов в вычислительных системах / Р.П. Графов, О.С. Савенко, С.М. Лисенко // Вісник Чернівецького національного університету. – 2009. – № 6. – С. 85–91.
8. Савенко О.С. Алгоритми пошуку троянських програм в персональних комп'ютерах / О.С. Савенко, С.М. Лисенко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2009. – № 5. – С. 120–126.
9. Савенко О. Розробка процесу виявлення троянських програм на основі використання штучних імунних систем / Олег Савенко, Сергій Лисенко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 5. – С. 183–188.

Рецензент: к.т.н. Косенков В.Д.
Надійшла 13.2.2012 р.

УДК 004.891.3: 004.3

Т.О. ГОВОРУЩЕНКО, А.В. БАЧИНСЬКИЙ
Хмельницький національний університет

ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТРИК СКЛАДНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Авторами статті обрано метрики складності ПЗ етапу проектування та досліджено граничні значення метрик складності, а також проведено оцінювання ефективності кожної метрики складності ПЗ етапу проектування з точки зору оцінювання значущості її інформації за адитивним критерієм ефективності.

The authors chose the design stage software complexity metrics, investigated the limits of complexity metrics, conducted the evaluating of the effectiveness of each design stage software complexity metric in terms of its information relevance assessment for additive criterion of efficiency.

Ключові слова: програмне забезпечення (ПЗ), етап проектування ПЗ, метрики складності ПЗ етапу проектування, граничні значення метрик складності ПЗ, значущість метрик складності ПЗ, кількість інформації метрик складності ПЗ, ефективність метрик складності ПЗ, адитивний критерій ефективності.

Вступ

Сучасна індустрія програмного забезпечення характеризується високою конкуренцією. Для успішної роботи на цьому ринку софтверна компанія повинна розробляти, впроваджувати та супроводжувати ПЗ швидко, вкладаючись в термін, та із задовільною складністю. Ряд софтверних компаній вкладають значні кошти в модернізацію процесів розроблення ПЗ з метою підвищення його якості.

За особливостями і властивостями життєвого циклу програм їх доцільно ділити на ряд класів і категорій, з яких найбільш розрізняються два великих класи – малі й великі, що визначаються кількістю рядків програмного коду [1].

До класу програм малого розміру належать програми, які створюються одним або декількома (3–5)

програмістами та мають відносно невелику кількість рядків. Малі програми створюються переважно для одержання конкретних результатів та аналізу відносно простих процесів. Вони не призначені для масового поширення, не мають конкретного незалежного замовника-споживача, не обмежуються замовником певною вартістю, трудомісткістю, вимогами заданої якості та термінами їх створення та не підлягають незалежному тестуванню, гарантуванню якості та сертифікації. До малих програм можна віднести програми, призначені для проміжних розрахунків, для потреб програміста і т.і.

Клас великих програм складають масштабні проекти для складних систем управління та обробки інформації, які оформляються у вигляді програмних продуктів з гарантованою якістю. Великі програми мають великий розмір та високу вартість. Від замовника великої програми або програмної системи розробники повинні одержати вимоги до характеристик та функційності продукту. Від розробників проектів вимагаються гарантії високої якості, надійності функціонування та безпеки застосування компонентів і програмних систем. До великих програм відноситься системне програмне забезпечення, а також деяке прикладне програмне забезпечення, наприклад, офісні пакети, графічні редактори і т.і. Великі програми називають ще програмними системами (ПС) або інформаційними системами (ІС).

Програмна складність характеризується довжиною програми або обсягом пам'яті ЕОМ, необхідної для розміщення ПЗ [2].

Структурна складність програм визначається кількістю взаємодіючих компонент, кількістю зв'язків між компонентами та складністю їх взаємодії [2].

Складність деякого міжмодульного зв'язку в процесі проектування можна характеризувати ймовірністю помилки при її формалізації та ступенем впливу цієї помилки на наступне функціонування модулів [2].

Складність програмних модулів характеризується конструктивною складністю створення оформленої компоненти програми і оцінюється з позиції складності внутрішньої структури та перетворення змінних в кожному модулі, а також інтегрально за деякими зовнішніми статичними характеристиками модулів [2].

Складність програми для систем реального часу переважно визначається допустимим часом відгуку, а для інформаційних систем – кількістю типів оброблюваних змінних [2].

Одним з основних засобів аналізу та оцінювання складності ПЗ є метричний аналіз. Метрика визначається як міра ступеня володіння властивістю, яка має числове значення [3]. Метрика ПЗ – це міра, яка дозволяє одержати числове значення деякої властивості ПЗ або його специфікацій. Сучасна програмна індустрія накопичила велику кількість метрик, які оцінюють окремі виробничі та експлуатаційні властивості ПЗ. Однак прагнення їх універсальності, неврахування типу та області застосування розроблюваного ПЗ, ігнорування етапів життєвого циклу ПЗ та необґрунтоване їх використання в процедурах прийняття виробничих рішень істотно підірвало довіру розробників та користувачів ПЗ до метрик. Ці обставини вимагають ретельного відбору метрик для певного типу та області застосування розроблюваного ПЗ, врахування їх обмежень на різних етапах життєвого циклу ПЗ, встановлення порядку їх сумісного використання, накопичення та інтеграції різномірної метричної інформації для прийняття своєчасних виробничих рішень.

Отже, методи оцінки складності ПЗ, особливо на етапі проектування, на сьогодні є суб'єктивно залежними, для знаходження значень метрик використовуються експертні вагові коефіцієнти; порівняння значень метрик поточних проектів з попередніми (постає проблема, що робити, якщо проект принципово новий); немає загальноприйнятої номенклатури метрик; відсутні точні значення метрик, з якими можна було б порівняти поточні одержані значення; при виборі проекту враховується не стільки інформація про складність проекту та майбутнього ПЗ, скільки інформація про тривалість, вартість, технології програмування та репутацію фірми-розробника.

1. Метрики складності програмного забезпечення

У роботах [3–5] були визначені метрики складності етапу проектування ПЗ з точними та прогнозованими значеннями (таблиця 1).

Таблиця 1

Метрики складності етапу проектування ПЗ з точними та прогнозованими значеннями

№ п/п	Метрики складності етапу проектування з точними значеннями	Метрики складності етапу проектування з прогнозованими значеннями
1	Метрика Чепіна	Очікувана LOC-оцінка
2	Метрика Джилба (абсолютна модульна складність програми)	Метрика Холстеда (складність програми)
3	Метрика Мак-Клура (загальна складність програмної системи)	Метрика Маккейба (цикломатична складність ПЗ в цілому)
4	Метрика Кафура (інформаційна складність модуля)	Метрика Джилба (відносна логічна складність програми)
5		Прогнозована кількість операторів програми
6		Прогнозована оцінка складності інтерфейсів ПЗ

Розглянемо методику розрахунку вищенаведених метрик складності ПЗ етапу проектування.

Метрика Чепіна аналізує характер використання змінних зі списку введення, тобто оброблювану інформацію. Множина змінних з врахуванням їх значущості обчислюється як:

$$Q = P + 2M + 3C + 0,5T, \quad (1)$$

де P – змінні для розрахунків і виведення;

M – модифіковані або створені в програмі змінні;

C – керуючі змінні;

T – не використовувані в програмі ("паразитні") змінні. Метрика Чепіна дає оцінку інформаційної міцності модуля.

Метрика Джилба (складова метрики – модульна складність програми) – на етапі проектування можна підрахувати кількість міжмодульних зв'язків N_{zv} (абсолютна модульна складність) та відношення

кількості міжмодульних зв'язків до кількості модулів L_{mod} : $f = \frac{N_{zv}^4}{L_{mod}}$ – відносна модульна складність.

Чим вище значення відносної модульної складності проекту, тим вищий ступінь має зчеплення модулів проекту, а, отже, й складнішим є програмний проект.

За іншою методикою кількість умовних операторів (L_{IF}) та операторів циклу (L_{LOOP}) складає абсолютну логічну складність програми

$$CL = L_{IF} + L_{LOOP}, \quad (2)$$

а відношення абсолютної логічної складності програми до загальної кількості операторів L складає відносну логічну складність програми

$$cl = \frac{CL}{L}. \quad (3)$$

Метрика Мак-Клура – метрика, спрямована на оцінювання архітектури системи; міра складності, заснована на кількості можливих шляхів виконання програми, кількості керуючих конструкцій і змінних. Обчислюється в 3 етапи:

1) для кожної керуючої змінної i обчислюється значення її функції складності

$$C(i) = (D(i) * J(i)) / n, \quad (4)$$

де $D(i)$ – величина, яка вимірює сферу дії змінної (для локальної змінної $D(i) = 0$, а для глобальної змінної – $D(i) = 1$);

$J(i)$ – міра складності взаємодії модулів через цю змінну (скільки разів модулі взаємодіяли з використанням цієї змінної);

n – кількість модулів;

2) для всіх модулів визначаються функції складності

$$M(P) = fp * X(P) + gp * Y(P), \quad (5)$$

де fp, gp – відповідно кількість модулів, безпосередньо передуючих і безпосередньо слідує за модулем P ;

$X(P)$ – складність звертання до модуля P (скільки разів відбувається звертання до модуля P);

$Y(P)$ – складність управління викликом з модулю P інших модулів (скільки разів модуль P викликає інші модулі);

3) загальна складність MP програмної системи:

$$MP = \sum_P M(P). \quad (6)$$

Дана метрика орієнтована на добре структуроване програмне забезпечення, для якого можна побудувати схему розбиття ПЗ на модулі. В кожному модулі передбачена одна точка входу і одна точка виходу, модуль виконує одну функцію, виклик модуля здійснюється відповідно до ієрархічної системи керування. Метрика Мак-Клура дозволяє обрати схему розбиття з меншою складністю ще до написання програми.

Метрика Кафура – метрика, заснована на врахуванні потоків даних. Для розрахунку цієї метрики вводяться поняття локального і глобального потоків даних. Якщо модуль А викликає модуль В, то це прямий локальний потік з А в В; якщо модуль В викликає модуль А, і модуль А повертає значення в модуль В – це непрямий локальний потік з А в В; якщо модуль С викликає модулі А і В та передає результат з модуля А в модуль В – це локальний потік з А в В. Глобальний потік з модуля А в модуль В крізь глобальну структуру даних D існує, якщо модуль А поміщає інформацію в структуру D, а модуль В використовує інформацію зі структури D. Тоді:

1) інформаційна складність процедури обчислюється за формулою:

$$I = length \times (fan_in \times fan_out)^2, \quad (7)$$

де $length$ – складність тексту процедури (вимірюється однією з метрик складності);
 fan_in – кількість локальних потоків всередину процедури плюс кількість структур даних;
 fan_out – кількість локальних потоків з процедури плюс кількість структур даних, які оновлюються процедурою;

2) інформаційна складність модуля відносно деякої структури даних обчислюється за формулою:

$$I = W \times R + W \times WrRd + WrRd \times R + WrRd \times (WrRd - 1), \quad (8)$$

де W – кількість процедур, які оновлюють структуру даних, R – кількість процедур, які читають інформацію зі структури даних, $WrRd$ – кількість процедур, які читають і оновлюють структуру даних.

Очікувана LOC-оцінка (експертна) – за кожною функцією експерти надають краще, гірше та імовірне значення, тоді очікувана LOC-оцінка (LOC – кількість рядків вихідного коду програми) обчислюється за формулою:

$$LOC_{оч_i} = (LOC_{кращ_i} + LOC_{гірш_i} + 4 \times LOC_{імов_i}) / 6. \quad (9)$$

Показник LOC залежить від мови програмування. Це оціночна і необов'язкова метрика. Вона може призвести до оптимізації кількості рядків коду, а не проекту в цілому. Дозволяє спрогнозувати трудовитрати, час і вартість розробки, а також необхідну кількість програмістів для виконання проекту. Є вільно поширювані інструменти очікуваної LOC-оцінки. LOC-оцінка впливає на оцінку величини змін обсягу коду в часі.

Метрики Холстеда:

1) міра довжини модуля

$$N = n_1 \log_2(n_1) + n_2 \log_2(n_2), \quad (10)$$

де n_1 – кількість різних операторів, n_2 – кількість різних операндів;

2) обсяг модуля як кількість символів для запису всіх операторів і операндів тексту програми

$$(V = N \times \log_2(n_1 + n_2)). \quad (11)$$

Метрики Холстеда обчислюються на основі аналізу кількості рядків та синтаксичних елементів вихідного коду програми.

Основа метрик Холстеда складають 4 вимірювані характеристики програми: $NUOprtr$ – кількість унікальних операторів програми включно з іменами підпрограм (словник операторів), $NUOprnd$ – кількість унікальних операндів програми (словник операндів), $NOprtr$ – загальна кількість операторів в програмі, $NOprnd$ – загальна кількість операндів програми.

На основі цих характеристик обчислюються наступні оцінки:

1) словник програми:

$$HPVoc = NUOprtr + NUOprnd; \quad (12)$$

2) довжина програми:

$$HPLen = NOprtr + NOprnd; \quad (13)$$

впливає на оцінку величини змін обсягу коду в часі;

3) обсяг програми:

$$HPVol = HPLen \times \log_2 HPVoc; \quad (14)$$

впливає на оцінку величини змін обсягу коду в часі;

4) складність програми:

$$HDiff = (NUOprtr / 2) \times (NOprnd / NUOprnd); \quad (15)$$

5) оцінка зусиль програміста при розробці програми:

$$HEff = HDiff \times HPVol \quad (16)$$

вказує, наскільки ефективна праця розробника. Використовується для визначення складності реалізації певної вимоги, функції, модуля, частини проекту. Впливає на точність прогнозів оцінки трудомісткості та на розуміння того, наскільки інтелектуально-витратною для розробника буде та чи інша функція.

Метрика Маккейба – цикломатична складність. Один з найбільш розповсюджених показників оцінки складності програмних проектів. Цикломатичне число Маккейба показує необхідну кількість проходів для покриття всіх контурів сильнозв'язаного графу керування програми, тобто кількість тестових прогонів програми, необхідних для проведення вичерпного тестування. Дозволяє провести оцінку трудомісткості реалізації окремих елементів програмного проекту, оцінку трудомісткості тестування програмного проекту, скоригувати загальні показники оцінки тривалості та вартості проекту, оцінити зв'язані ризики і прийняти необхідні управлінські рішення.

Метрика Маккейба обчислюється для оцінки складності ПС, виходячи з топології внутрішніх зв'язків. Обчислення метрики проводяться на основі графу керування програми (орграф, в якому обчислювальні оператори або вирази представляються вершинами, а передачі керування між вершинами представляються дугами). Спрощена оцінка цикломатичної складності

$$V(G) = E - N + 2, \quad (17)$$

де E – кількість дуг, а N – кількість вершин в керуючому графі ПЗ (логічні оператори не враховуються).

Автоматизоване обчислення метрики Маккейба зводиться до підрахунку кількості логічних операторів та можливої кількості шляхів виконання програми.

Метрика Маккейба може бути обчислена для модуля, методу та інших структурних одиниць програмного проекту. Вона впливає на оцінку змін складності в часі.

Прогнозована кількість операторів програми:

$$N_{\text{прогн}} = NF \times N_{\text{од}}, \quad (18)$$

де NF – кількість функцій або вимог в специфікації програми, $N_{\text{од}}$ – одиничне значення кількості операторів (середня кількість операторів які доводяться на одну функцію або вимогу).

Прогнозована оцінка складності інтерфейсів компонентів ПЗ:

$$C = \frac{NI}{NF \times NI_{\text{од}} \times K_{\text{скл}}}, \quad (19)$$

де NI – загальна кількість змінних, які передаються по інтерфейсах між компонентами програми, $NI_{\text{од}}$ – одиничне значення кількості змінних, які передаються по інтерфейсах між компонентами (середня кількість змінних, які передаються по інтерфейсах, що доводяться на одну функцію або вимогу); обирають на основі аналізу статистичних даних; $K_{\text{скл}}$ – коефіцієнт складності розроблюваної програми, який враховує ріст одиничної складності програми (складності, що доводиться на одну функцію або вимогу специфікації) в порівнянні з середнім показником складності; його слід обирати з врахуванням статистичних даних та характеристик розробленої ПЗ.

2. Розрахунок граничних значень метрик складності програмного забезпечення етапу проектування

Для розрахунку максимальних значень метрик складності ПЗ слід ввести певні обмеження на проекти та ПЗ, метрики складності яких аналізуватимуться. Введемо наступні обмеження:

1) у кожному модулі ПЗ є максимум 100 змінних для розрахунків і виведення, 100 модифікованих або створених в модулі змінних, 100 керуючих змінних, 100 не використовуваних в модулі ("паразитних") змінних – всього 400 змінних;

2) ПЗ має не більше 50 модулів;

3) кожен модуль ПЗ пов'язаний з іншими 49 модулями одним зв'язком;

4) в кожному модулі є не більше 50 процедур, які оновлюють структуру даних, не більше 50 процедур, які читають інформацію зі структури даних, та не більше 50 процедур, які читають і оновлюють структуру даних;

5) ПЗ містить не більше 50000 рядків вихідного коду;

6) кількість унікальних операторів програми включно з іменами підпрограм (словник операторів) не перевищує 25000 (кожен другий рядок коду – це унікальний оператор), загальна кількість операндів програми не перевищує 50000 (в кожному рядку коду є один операнд), кількість унікальних операндів програми (словник операндів) не перевищує 400;

7) кожен рядок програми – це логічний оператор або оператор циклу;

8) кожна змінна модуля передається по його інтерфейсу.

Тоді метрика Чепіна для одного модуля матиме максимальне значення $Q_m = 100 + 2 \cdot 100 + 3 \cdot 100 + 0,5 \cdot 100 = 650$ згідно формули (1). Максимальне значення метрики Чепіна для всього ПЗ становить $Q = 50 \cdot 650 = 32500$.

Максимальна кількість міжмодульних зв'язків (абсолютна модульна складність програми) за метрикою Джилба (формула (2)) становитиме $50 \cdot 49 = 2450$. Максимальна абсолютна логічна складність програми становить 50000, а максимальна відносна логічна складність програми в такому разі становить за

формулою (3) $CL = \frac{50000}{50000} = 1$.

Враховуючи вищевикладені припущення щодо кількості модулів та кількості міжмодульних зв'язків, функція складності кожного з модулів для метрики Мак-Клура матиме значення за формулою (4.2):

$$M(P_1) = 0 \cdot 49 + 49 \cdot 49 = 2401$$

$$M(P_2) = 1 \cdot 49 + 48 \cdot 49 = 2401$$

$$M(P_3) = 2 \cdot 49 + 47 \cdot 49 = 2401$$

$$\dots\dots\dots$$

$$M(P_{50}) = 49 \cdot 49 + 0 \cdot 49 = 2401$$

Тоді максимальне значення загальної складності програмної системи (метрика Мак-Клура) становить за формулою (4.3): $M(P) = 50 \cdot 2401 = 120050$.

За метрикою Кафура одержимо максимальне значення інформаційної складності одного модуля за

формулою (5.2) $I_m = 50 \cdot 50 + 50 \cdot 50 + 50 \cdot 50 + 50 \cdot (50 - 1) = 9950$. Максимальне значення інформаційної складності проекту становить $I = 50 \cdot 9950 = 497500$.

Максимальне значення очікуваної LOC-оцінки становить 50000 рядків коду, враховуючи вищевикладені припущення.

Максимальна складність програми за метрикою Холстеда згідно формули (7.6) становить

$$HDiff = \frac{25000}{2} \cdot \frac{50000}{400} = 1562500.$$

Максимальна цикломатична складність Маккейба за формулою (8): $V(G) = 2450 - 50 + 2 = 2402$.

Якщо кожен рядок коду – це один оператор, тоді максимальна прогнозована кількість операторів програми становить 50000.

Враховуючи припущення щодо кількості змінних в модулі, обчислимо максимальну прогнозовану оцінку складності інтерфейсів ПЗ за формулою (10): $C = \frac{20000}{50 \cdot 400 \cdot K_{скл}} = \frac{1}{K_{скл}}$. Оскільки

$$K_{скл} = 1 + \sum_{i=1}^n K_i, \text{ де } K_i - \text{приріст складності розроблюваної програми за } i\text{-ю характеристикою, } n -$$

кількість врахованих характеристик, то максимальна прогнозована оцінка складності інтерфейсів ПЗ становить 1.

3. Оцінювання ефективності використання метрик складності ПЗ на етапі проектування

Розрахунок максимальних значень метрик складності ПЗ етапу проектування показав, що існує великий розкид діапазонів значень вхідних даних – значення вхідних векторів розрізняються в десятки, сотні, тисячі та навіть мільйони разів, що ускладнює аналіз метрик складності ПЗ етапу проектування. Опрацювання метрик в природньому вигляді призводитиме до того, що визначальними при аналізі складності проектів та ПЗ є метрики з великими діапазонами значень (метрики Холстеда, Кафура, Мак-Клура), метрики з середніми діапазонами значень (метрика Чепіна, прогнозована LOC-оцінка, прогнозована кількість операторів програми) менше впливатимуть на результати оцінювання рівня складності проектів та ПЗ, а метрики з малими діапазонами значень (метрики Джилба, Маккейба, прогнозована оцінка складності інтерфейсів) взагалі не впливатимуть на оцінку рівня складності проекту та ПЗ, тобто відбувається втрата частини значущої інформації про складність проекту та ПЗ.

Проведемо оцінку ефективності метрик складності ПЗ з точки зору оцінювання їх інформації.

Критеріями оцінювання інформації є [6]:

1) релевантність – наявність зв'язку з проблемою (відповідність інтересам та проблемі) та здатність інформації внести ясність у процес розуміння проблеми. Для оцінювання релевантності інформації слід співставити її з інформаційними потребами та відповісти на питання, чи зможе ця інформація допомогти в найближчому майбутньому. Ознаки релевантності: наявність явної вказівки на сферу інтересів через наявність ключових слів; наявність непрямої, змістовної вказівки;

2) достовірність – на скільки представлений опис відповідає дійсності: або можна вірити інформації, або потрібне додаткове дослідження, або не можна довіряти в принципі. Достовірність перевіряється за наступними параметрами: наявність підтвердження з інших джерел; сумісність з іншою інформацією; знання джерела та його мотивів; авторитет або тривала позитивна історія роботи з джерелом; властивості каналу передачі інформації. Очевидно, що визначальне місце тут посідає знання про джерело інформації, тому важливо вести роботу по вивченню джерел, постійному збиранню інформації про них;

3) значущість – розуміння інформації, повнота висвітлення предмету інтересу, своєчасність інформації та її достатність для прийняття рішень.

Щодо релевантності метрик складності ПЗ проблемі оцінювання складності проектів та ПЗ, то висновок однозначний – інформація релевантна, причому рівень релевантності найвищий (дорівнює 1), оскільки саме метрики складності дають уявлення про рівень складності проекту і ПЗ.

Достовірність інформації про метрики складності ПЗ максимальна (дорівнює 1), оскільки використовуються лише класичні метрики складності, описані в різноманітних галузевих публікаціях.

Значущість інформації може визначатись кількістю інформації [7] – як зменшення ентропії джерела інформації:

$$I = \log_2 P(A), \quad (20)$$

де $P(A)$ – ймовірність настання однієї з подій після одержання інформації. Є ще один спосіб розрахунку кількості інформації:

$$I = H(\text{апостеріорна}) - H(\text{апостеріорна}), \quad (21)$$

де $H(\text{апостеріорна})$ – ентропія системи (показник незнання системи) до експерименту, $H(\text{апостеріорна})$ – ентропія системи після експерименту, тоді, якщо $I > 0$, то в результаті експерименту одержано нову інформацію, показник незнання системи зменшився.

Оскільки релевантність і достовірність метрик складності ПЗ є сталими величинами, то основним

критерієм оцінювання інформації, який впливатиме на оцінку ефективності метрик складності ПЗ, є саме значущість інформації.

Існують різні підходи до формування критеріїв ефективності [8]: 1) формування одного підсумкового критеріального показника за адитивним або мультиплікативним критерієм; 2) відношення частини параметрів ефекту, які потрібно збільшити, до частини параметрів ефекту, які потрібно зменшити; 3) максимізація або мінімізація одного з параметрів ефекту та накладання обмежень на інші параметри ефекту.

Для визначення ефективності метрик складності ПЗ етапу проектування використаємо перший підхід – формування підсумкового критеріального показника для кожної метрики за адитивним критерієм.

Адитивний критерій A формується шляхом ділення на число показників ефекту n суми добутків часткових показників ефекту l_i на коефіцієнти значущості i -го показника g_i :

$$A = (1/n) \cdot \sum_{i=1}^n (l_i \cdot g_i). \quad (22)$$

Оскільки ефективність кожної метрики складності ПЗ етапу проектування – це значущість інформації метрики, то вона залежить від 4-х показників ефекту ($n = 4$): розуміння інформації, повнота висвітлення предмету інтересу, своєчасність інформації та її достатність для прийняття рішень, кількість інформації. Кожен показник ефекту розглядатимемо для спрощення розрахунків як значення з інтервалу $[0, 1]$, де 0 – мінімальне значення показника, 1 – максимальне значення. Значущості показників ефекту для

кожної метрики рівні, причому $\sum_{i=1}^n g_i = 1$, отже, $g_i = \frac{1}{4} = 0,25$. Потрібно тепер розрахувати 4 часткових

показники ефекту l_i для кожної метрики складності ПЗ етапу проектування і відповідно ефективність кожної метрики за адитивним критерієм.

Для показника "розуміння інформації" приймемо максимальне значення для кожної з метрик, оскільки вважатимемо, що метрики розраховані вірно, з повним розумінням. Показник "повнота висвітлення предмету інтересу" може досягати максимального значення в залежності від повноти висвітлення складності ПЗ на етапі проектування. Інформаційні потоки етапу проектування ПЗ [9]: вимоги до ПЗ, представлені інформаційною, функційною та поведінковою моделями аналізу. Інформаційна модель описує інформацію, яку повинне обробляти ПЗ на думку замовника. Функційна модель визначає перелік функцій обробки інформації та перелік модулів програмної системи. Поведінкова модель фіксує бажану динаміку системи (режими її роботи). На виході етапу проектування – розробка даних, розробка архітектури та процедурна розробка ПЗ. Отже, повнота висвітлення складності ПЗ на етапі проектування залежить від повноти висвітлення метрикою складності: оброблюваної інформації, функцій обробки інформації та переліку модулів, режимів роботи ПЗ. Показник "своєчасність інформації та її достатність для прийняття рішень" може досягати максимального значення в залежності від достатності інформації про оброблювану інформацію, функції обробки інформації та перелік модулів, режими роботи ПЗ. Щодо кількості інформації, то вважатимемо, що після опрацювання всіх метрик складності показник незнання складності проекту та ПЗ стає рівним 0, тому кількість інформації I , яку містять всі метрики складності, згідно формули (12) дорівнює 1. Вважатимемо також, що показник незнання складності ПЗ зменшується в рівному ступені після опрацювання кожної метрики, тому кількість інформації кожної метрики складності $I_M = \frac{1}{9} = 0,111$.

Метрика Чепіна. Розуміння інформації $l_{11} = 1$, повнота висвітлення предмету інтересу $l_{21} = 0,333$ (аналізується лише оброблювана інформація), своєчасність інформації та її достатність для прийняття рішень $l_{31} = 0,333$, кількість інформації $l_{41} = 0,111$, тоді за формулою (13):

$$A_1 = (1/4) \cdot \sum_{i=1}^4 (l_{i1} \cdot 0,25) = 0,25 \cdot (1 \cdot 0,25 + 0,333 \cdot 0,25 + 0,333 \cdot 0,25 + 0,111 \cdot 0,25) = 0,111$$

Метрика Джилба (абсолютна). Розуміння інформації $l_{12} = 1$, повнота висвітлення предмету інтересу $l_{22} = 0,333$ (до уваги приймається кількість модулів та функції обробки інформації), своєчасність інформації та її достатність для прийняття рішень $l_{32} = 0,333$, кількість інформації $l_{42} = 0,111$, тоді за формулою (13): $A_2 = 0,111$

Метрика Джилба (відносна). Розуміння інформації $l_{13} = 1$, повнота висвітлення предмету інтересу $l_{23} = 0,333$ (до уваги приймається кількість модулів та функції обробки інформації), своєчасність інформації та її достатність для прийняття рішень $l_{33} = 0,333$, кількість інформації $l_{43} = 0,111$, тоді за формулою (13): $A_3 = 0,111$

Метрика Мак-Клура. Розуміння інформації $l_{1_4} = 1$, повнота висвітлення предмету інтересу $l_{2_4} = 1$ (аналізується оброблювана інформація, функції оброблення інформації та кількість модулів, а також архітектура та режими роботи ПЗ), своєчасність інформації та її достатність для прийняття рішень $l_{3_4} = 1$, кількість інформації $l_{4_4} = 0,111$, тоді за формулою (13): $A_4 = 0,194$

Метрика Кафура. Розуміння інформації $l_{1_5} = 1$, повнота висвітлення предмету інтересу $l_{2_5} = 0,333$ (враховуються потоки даних), своєчасність інформації та її достатність для прийняття рішень $l_{3_5} = 0,333$ (враховуються потоки даних), кількість інформації l_{4_5} , тоді за формулою (13): $A_5 = 0,111$

Очікувана LOC-оцінка. Розуміння інформації $l_{1_6} = 1$, повнота висвітлення предмету інтересу $l_{2_6} = 0,1665$ (метрика пов'язана з функціями оброблення інформації, але не враховує кількості модулів), своєчасність інформації та її достатність для прийняття рішень $l_{3_6} = 0,1665$, кількість інформації $l_{4_6} = 0,111$, тоді за формулою (13): $A_6 = 0,090$

Метрика Холстеда. Розуміння інформації $l_{1_7} = 1$, повнота висвітлення предмету інтересу $l_{2_7} = 0,1665$ (метрика пов'язана з функціями оброблення інформації, але не враховує кількості модулів), своєчасність інформації та її достатність для прийняття рішень $l_{3_7} = 0,1665$, кількість інформації $l_{4_7} = 0,111$, тоді за формулою (13): $A_7 = 0,090$

Метрика Маккейба. Розуміння інформації $l_{1_8} = 1$, повнота висвітлення предмету інтересу $l_{2_8} = 1$ (метрика враховує кількість модулів, функції оброблення інформації і кількість модулів та режими роботи ПЗ), своєчасність інформації та її достатність для прийняття рішень $l_{3_8} = 1$, кількість інформації $l_{4_8} = 0,111$, тоді за формулою (13): $A_8 = 0,194$

Прогнозована кількість операторів програми. Розуміння інформації $l_{1_9} = 1$, повнота висвітлення предмету інтересу $l_{2_9} = 0,1665$ (метрика пов'язана з функціями оброблення інформації, але не враховує кількості модулів), своєчасність інформації та її достатність для прийняття рішень $l_{3_9} = 0,1665$, кількість інформації $l_{4_9} = 0,111$, тоді за формулою (13): $A_9 = 0,090$

Прогнозована оцінка складності інтерфейсів ПЗ. Розуміння інформації $l_{1_{10}} = 1$, повнота висвітлення предмету інтересу $l_{2_{10}} = 0,4995$ (враховується оброблювана інформація та функції її оброблення, але не враховується кількість модулів), своєчасність інформації та її достатність для прийняття рішень $l_{3_{10}} = 0,4995$, кількість інформації $l_{4_{10}} = 0,111$, тоді за формулою (13): $A_{10} = 0,132$.

Отже, проведено оцінювання ефективності кожної з 10 метрик складності ПЗ етапу проектування з точки зору оцінювання значущості її інформації за адитивним критерієм ефективності.

Висновки

В ході дослідження обрано метрики складності ПЗ етапу проектування та досліджено граничні значення метрик складності, які розрізняються в десятки, сотні, тисячі та навіть мільйони разів, що призводить до визначальності впливу при аналізі складності проектів та ПЗ метрик з великими діапазонами значень (метрики Холстеда, Кафура, Мак-Клура), незначності впливу на результати оцінювання рівня складності проектів та ПЗ метрик з діапазонами значень середньої величини (метрики Чепіна, прогнозованої LOC-оцінки, прогнозованої кількості операторів програми) та відсутності впливу на оцінку рівня складності проекту та ПЗ метрик з малими діапазонами значень (метрики Джилба, Маккейба, прогнозованої оцінки складності інтерфейсів), тобто до втрати частини значущої інформації про складність проекту та ПЗ. Кількість втраченої інформації при неврахуванні трьох метрик з малими діапазонами значень становить $I = 3 \cdot 0,111 = 0,333$, тобто втрачається третина інформації про складність проекту та ПЗ.

Оцінки ефективності метрик складності ПЗ етапу проектування показали, що порівняно високу ефективність мають метрики Мак-Клура, Маккейба, оцінки складності інтерфейсів ПЗ; середню ефективність мають метрики Чепіна, Джилба (абсолютна, відносна), Кафура; низьку ефективність мають метрики очікуваної LOC-оцінки та прогнозованої кількості операторів програми. Отже, при оцінюванні складності ПЗ необхідно враховувати метрики з малими діапазонами значень, оскільки їх ефективність є значною.

Однак, необхідно попередньо опрацювати діапазони значень метрик. Перспективним є розроблення нового або модифікованого методу опрацювання інформації (масштабування, нормування,

факторного аналізу) що забезпечив би рівнозначне врахування метрик як з великими, так і з малими діапазонами.

Література

1. Липаев В.В. Программная инженерия. Методологические основы / Липаев В.В. – М. : ТЕИС, 2006. – 608 с
2. Ковалевская Е.В. Материалы к курсу "Метрология, качество и сертификация ПО" / Ковалевская Е.В. – М. : Московский государственный университет экономики, статистики и информатики, 2002. – 38 с.
3. Поморова О.В. Интеллектуальный метод оцінювання результатів проектування та прогнозування характеристик якості програмного забезпечення / О.В. Поморова, Т.О. Говорущенко // Радіоелектронні і комп'ютерні системи – Харків : НАУ "ХАІ", 2010 – № 6. – С. 211–218
4. Поморова О.В. Оцінювання результатів проектування та прогнозування характеристик якості програмного забезпечення / О.В. Поморова, Т.О. Говорущенко, О.С. Онищук // Вісник Хмельницького національного університету – Хмельницький : ХНУ, 2011 – № 2. С. 168–178
5. Поморова О.В. Аналіз методів та засобів оцінки якості програмних систем // Радіоелектронні і комп'ютерні системи / О.В. Поморова, Т.О. Говорущенко. – Харків : НАУ "ХАІ", 2009 – № 6. – С. 148–158
6. Нежданов И. Критерии оценки информации (важность, точность, значимость) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.police-russia.ru/showthread.php?t=44683>
7. Значимость информации: определение <http://otvet.mail.ru/question/2703994>
8. Белик Т.В. Принципы формирования критериев эффективности [Электронный ресурс] / Белик Т.В. – Режим доступа : <http://lego.biuss.ru/paragraf/742>
9. Орлов С.А. Технологии разработки программного обеспечения. Разработка сложных программных систем : [учебник для ВУЗов] / Орлов С.А. – СПб. : Питер, 2004. – 527 с.

Рецензент: д.т.н. Поморова О.В.
Надійшла 9.2.2012 р.

УДК 681.31

І.Б. АЛБАНСЬКИЙ, О.І. ВОЛИНСЬКИЙ
Інститут мікропроцесорних систем НАН України

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИФРОВИХ ПРИСТРОЇВ МНОЖЕННЯ РЕАЛІЗОВАНИХ В РІЗНИХ ТЕОРЕТИКО-ЧИСЛОВИХ БАЗИСАХ

Викладені основи теоретико-числових базисів (ТЧБ), які використані для кодування, перетворення та цифрового опрацювання інформації. Класифіковані критерії оцінки системних характеристик цифрового пристрою множення (ЦПМ). Проведені дослідження системних характеристик цифрових пристроїв множення, які реалізовані в різних ТЧБ.

Expounding the virtues of theoretical and numerical bases (TNB) that used for encoding transform and digital processing of information. Classified criteria for evaluating system characteristics digital multiplication equipment (DME). Conducted studies of system characteristics of digital devices multiplication, are implemented in different TNB.

Ключові слова: цифрові пристрої множення, теоретико-числові базиси, апаратна складність, часова складність.

Вступ

ЦПМ є важливими компонентами спецпроцесорів кореляційного опрацювання сигналів [1]. Особливо найбільш стандартними вимогами до системних характеристик таких компонентів є досягнення максимальної швидкодії операцій множення, зниження апаратної складності, високий рівень регулярності архітектур та глибокий ступінь розпаралелення обчислювальних операцій. В той же час при реалізації спецпроцесорів в різних ТЧБ крім найбільш відомого базису Радемахера суттєво розширює клас вимог та можливостей реалізації ЦПМ у сфері розширених застосувань [2].

Огляд літератури та постановка задачі дослідження

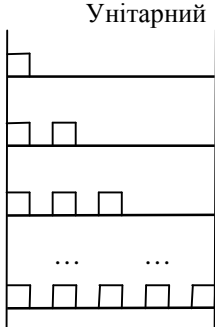
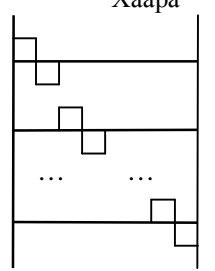
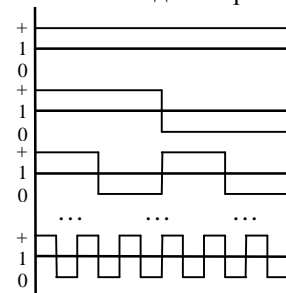
В роботах [3] викладені основи ТЧБ, які використовуються для побудови компонентів комп'ютерних систем табл.1.

З табл. 1 видно, що наступні ТЧБ: Унітарний та Хаара характеризуються надлишковістю представлених даних. Незважаючи на це при паралельних опрацюваннях даних у цифровій голографії, томографії, око-процесорах, побудові цифрових кореляторів [4] широко використовуються цифрові перемножувачі оскільки дозволяється глибоко розпаралелити обчислювальні процеси та спростити реалізацію пристроїв додавання, віднімання, множення та порівняння.

Більш ефективним по відношенню до унітарного базису Хаара при однаковому об'ємі кодової матриці по відношенню до унітарного базису характеризується більш ефективною у зв'язку з меншим числом активних елементів кодової матриці. Даний базис знаходить найширше застосування у системах

Таблиця 1

Систематизація характеристик та кодових матриць ТЧБ

Базис та його ортогональні функції	Базисна функція	Кодова матриця та її об'єм
<p>Унітарний</p>  <p>Uni(0) Uni(1) Uni(2) ... Uni(n)</p>	$Uni(n, q, i) = \text{sign}[\sin(2^n p(q + i \cdot 2^{-n}))]$	$M_{Uni} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} V = N^2$
<p>Хаара</p>  <p>Har(0) Har(1) ... Har(n)</p>	$Har(n, q, i) = \text{sign}[\sin(i2^n p, q)]$	$M_{Har} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} V = N^2$
<p>Радемахера</p>  <p>Rad(0) Rad(1) Rad(2) ... Rad(n)</p>	$Rad(n, q) = \text{sign}[2^n p \cdot q]$	$M_{Rad} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & \dots & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} V = N \cdot \log_2 N$

Базис Хаара широко застосовується для реалізації нелінійних цифрових кореляційних фільтрів, які широко застосовуються в промисловості для безконтактного вимірювання в агресивному середовищі, ультразвукових діагностичних системах, радіолокаційних системах.

Широке застосування в цифровій комп'ютерній техніці отримує базис Радемахера який породжує популярну двійкову систему числення. На основі ТЧБ Радемахера побудовані сучасні ПК, сигнальні процесори, процесори швидкого перетворення Фур'є, комунікаційні процесори цифрових систем.

В той же час, як показано рядом авторів [5], ТЧБ Радемахера характеризується значними функціональними обмеженнями і в багатьох випадках зумовлює низьку швидкість процесів опрацювання даних за рахунок міжрозрядних зв'язків та наскрізних переносів. Крім того, коди інформації в базисі Радемахера незахищені від помилок, що створює необхідність їх захисту на основі кодування коректуючими кодами.

Таким чином при дослідженні системних характеристик ЦПМ доцільно систематизувати та дослідити системні характеристики ЦПМ, які реалізовані крім базису Радемахера в Унітарному базисі та Хаара.

Критерії оцінки системних характеристик ЦПМ

Найважливішою системною характеристикою кореляційного спецпроцесора є функціонал поданий у вигляді кортежу:

$$S_x = F(*, W, k, n, m, V, M, S, N_K, K_e), \tag{1}$$

де * – аналітичний вираз операції множення, W – кодове представлення цифрового відліку, k – число рівнів квантування вхідних сигналів, n – об'єм вибірки, m – число точок кореляційної функції, V – швидкість, M – об'єм пам'яті, S – число інформаційних зв'язків, N_K – число каналів вихідних шин, K_e – коефіцієнт емерджентності.

Аналіз та практичне застосування ТЧБ згідно табл.1. показує, що всі базиси крім ТЧБ Уолша породжують системи числення на основі яких можна реалізовувати спецпроцесори кореляційного опрацювання сигналів з різними характеристиками системної складності, які можна обчислити на основі SH

– моделей запропонованих Н.В. Черкаським [6]. Даний клас моделей враховує п'ять характеристик складності, а саме: апаратної, часової, програмної, структурної, ємнісної (табл.2).

Таблиця 2

Характеристики складності цифрових процесорів

№	Характеристика складності SH-моделі	Аналітичне представлення складності SH-моделі
1.	Апаратна складність	$A = x $
2.	Часова складність	$L = \max x_i $
3.	Програмна складність	$P = -F \log_2 \frac{F}{n \cdot m}$
4.	Структурна складність	$S = -C \log_2 \frac{C}{r(r-1)}$
5.	Ємнісна складність	$E = \sum_{i=1}^k \prod_{l=1}^m E_{il} \cdot n_{il}$

В табл. 2. x – множина елементів схеми, $i=1,2,\dots$ – число елементів; F – кількість сигналів управління L -го фрагмента часової діаграми для вибраного рівня ієрархії побудови апаратних засобів; n – кількість входів управління; m – кількість дискретів часу (часової діаграми); L – кількість фрагментів часової діаграми, конфігурації яких не повторюються; C – кількість елементів матриці інцидентності системи; r – розмір матриці.

Перераховані оцінки складності доцільно використовувати для синтезу, аналізу та оптимізації процесів автокореляційного опрацювання потоків. При цьому апаратна складність визначається кількістю елементарних перетворювачів і елементів оперативної пам'яті; часова складність – визначається кількістю елементарних перетворювачів в максимальному шляху розповсюдження сигналу $L = |\max x_i|$; програмна складність – визначає число операторів для реалізації програми обчислення.

Дослідження системних характеристик ЦПМ процесорів, які обчислюють коваріаційну функцію

Аналітичний вираз коваріаційної функції має вигляд:

$$K_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \cdot x_{i+j}, \quad j \in \overline{0, m},$$

де n – об'єм вибірки, x_i, x_{i+j} – цифрові відліки вхідних сигналів у базисі Радемахера, j – дискретний часовий зсув, m – число точок кореляційної функції.

Реалізація операцій множення може виконуватися на основі різних аналітичних виразів [7]:

$$x \cdot y = \frac{(x+y)^2 - (x-y)^2}{4}.$$

Недоліком таких пристроїв є виконання різноманітних операцій включаючи додавання, віднімання, піднесення до квадрату і ділення. Тому такі спецпроцесори мають громізтку структуру і низьку швидкодію, яка обумовлена роботою по двох циклах. В першому циклі на інтервалі часу вимірювання параметрів x та y відбувається арифметичне додавання і віднімання кодів, а в другому циклі обчислення добутків в квадраторах.

Іншим ефективним рішенням реалізації унітарного перемножувального пристрою є застосування алгоритму піднесення до квадрату шляхом сумування непарних чисел:

$$x \cdot x = \sum_{i=1}^x (2i-1). \quad (2)$$

Наприклад: $x=7$; $x \cdot x = 1+3+5+7+9+11+13=49$.

На рис. 1 показана структура пристрою піднесення до квадрату, який реалізує піднесення до квадрату однакових значень унітарних кодів X .

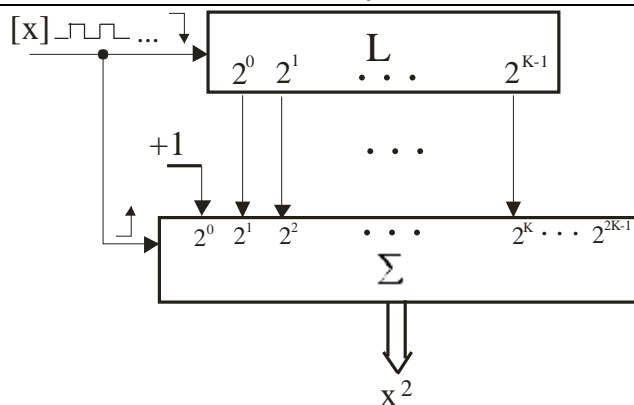


Рис.1. Структура перемножувача шляхом піднесення до квадрату унітарних кодів, де L, â – відповідно лічильник та суматор у базисі Радемахера

Робота пристрою тактується імпульсами вхідного унітарного коду, по фронту наростання яких відбувається сумування та запис суми кодів, які формуються на виході лічильника L в суматорі суми Σ, а по фронту спаду сумування та формування кодів вхідного числа імпульсів в базисі Радемахера. Перед початком обчислення лічильник та регістр накоплюючого суматора скидаються в нульовий стан.

В табл. 3 показано формування кодів унітарного квадратора в базисі Радемахера.

Таблиця 3

Формування кодів унітарного квадратора в базисі Радемахера (x=7)

x	L	(2x+1)	Σ
0	000...00	0000...00	000000...00
1	100...00	1100...00	100000...00
2	010...00	1010...00	001000...00
3	110...00	1110...00	100100...00
...
7	111...00	1111...00	100011...00
...

В той же час ці процесори мають обмежені функціональні можливості, оскільки обчислюють тільки квадрати цифрових відліків x, і можуть бути використані для обчислення дисперсії та нульової точки коваріаційної функції $K_{xx}(j)$, при $j=0$. Запропонований в роботі [4] алгоритм множення, який полягає в тому, що в унітарному коді y ($y^{\hat{z}x}$) додатково кожний i-й елемент ($i=x+1, x+2, \dots, y$) поданий кодом числа x у базисі Радемахера, який $|y-x|$ – разів сумується з раніше накопиченою сумою перетворених згідно виразу i-x елементів, в результаті цього сумування рівний добутку ($x \cdot y$).

Алгоритм такого виконання операції множення над унітарними кодами [x], [y] має аналітично описується з виразами:

$$[x] \cdot [y] = [x^2] + [y-x] \cdot [x], \quad x \cdot y = \sum_{i=1}^{\hat{z}} (2i-1) + \sum_{i=\hat{z}+1}^{\hat{z}} \hat{z}, \quad x \leq y; \quad \hat{z} = \begin{cases} x, & x \leq y \\ y, & x > y \end{cases}; \quad \hat{z} = \begin{cases} x, & x > y \\ y, & y \geq x \end{cases}$$

В табл. 1 наведена ортогональна функція формування унітарних кодів, які використовуються для реалізації алгоритму множення, структурна реалізація цього алгоритму представлена на рис.2.

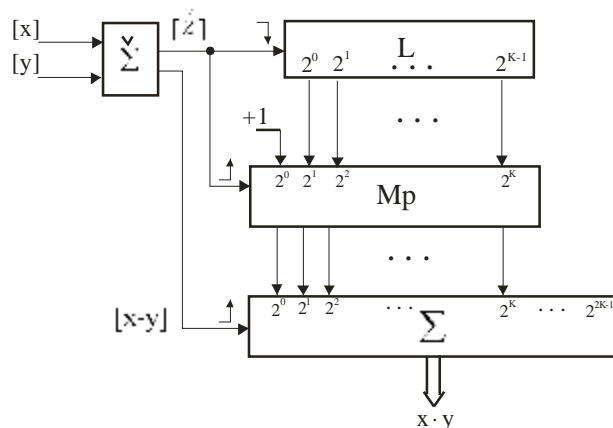


Рис. 2. Структура перемножувального пристрою унітарних кодів

Робота унітарного перемножувача відбувається наступним чином. На початку циклу формування унітарних кодів $[x]$, $[y]$ лічильник та регістр суматора скидаються в нульовий стан. У процесі формування унітарних кодів на виході переносу однорозрядного суматора $\overset{\vee}{\Sigma}$ формується унітарний код $[\overset{\vee}{Z}]$, який поступає в лічильник L і використовується для формування квадрату цього значення на основі мультиплексора у вигляді суми непарних чисел. Після цього на другому виході суматора $\overset{\vee}{\Sigma}$ формується $[x-y]$ – тактових імпульсів, які забезпечують сумування $[x-y]$ разів кодів $[\overset{\vee}{Z}]$. У результаті в регістрі накоплюючого суматора формується двійковий код результату множення $(x \cdot y)$ у базисі Радемахера.

Відома структура матричного перемножувача в базисі Радемахера на основі трьохходових суматорів рис. 3, яка широко використовується в якості сопроцесорів універсальних комп'ютерів. Дана структура характеризується ортогональною функцією представленою в табл.1.

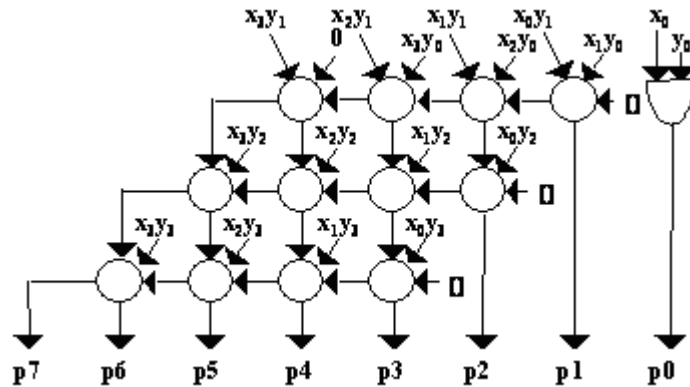


Рис. 3. Структура матричного перемножувача в базисі Радемахера

Операція множення в базисі Радемахера над двома числами $X = \sum_{j=0}^{k-1} x_j 2^j$, $x_i \in \overline{0,1}$ та $Y = \sum_{i=0}^{n-1} y_i 2^i$, $y_i \in \overline{0,1}$ описується наступним виразом:

$$P = XY = \sum_{j=0}^{k-1} (x_j 2^j \sum_{i=0}^{n-1} y_i 2^i).$$

При формуванні цифрових відліків у базисі Хаара та отримання результату множення у базисі Радемахера процедури множення виконуються згідно виразу:

$$(x \cdot y)(R) = x(H) \cdot y(H),$$

де $x \cdot y(R)$ – результат множення представлений у двійковому коді базису Радемахера $(a_{2k-1} \dots a_1 a_0)$, $a \in \overline{0,1}$; $x(H)$, $y(H)$ – відповідні коди у базисі Хаара $x(H) = (a_k \dots a_x \dots a_1)$, $a \in \overline{0,1}$, $y(H) = (a_{2k} \dots a_y \dots a_1)$, $a \in \overline{0,1}$.

На рис.4 показана структура матричного перемножувача в базисі Хаара на основі вентилів, який доцільно застосовувати у побудові спецпроцесорів на основі розмежованої системи числення для підвищення швидкодії виконання операцій [8].

Вхідні коди m -розрядних фрагментів двійкових чисел у базисі Хаара поступають на відповідні входи матриці, на пересіченні елементів якої розміщені двохходові вентиляльні елементи “І-НЕ”, виходи першої групи яких об’єднані через провідне “АБО”, відповідає сумі кодів Хаара по модулю m , а виходи другої групи вентиляльних елементів об’єднані між собою і є виходом наскрізного переносу.

Важливими системними характеристиками досліджуваних перемножувачів з точки зору їх реалізації в мікроелектронному виконанні є апаратна, часова та структурна складність. В табл. 4 наведені аналітичні вирази розрахунку названих критеріїв складностей для досліджуваних структур перемножувачів в Унітарному базисі, а також в базисі Радемахера та Хаара.

На рис. 5 а), б) показані характеристики апаратної та часової складностей досліджених перемножувачів, а на діаграмі рис. 6 показані оцінки їх структурної складності.

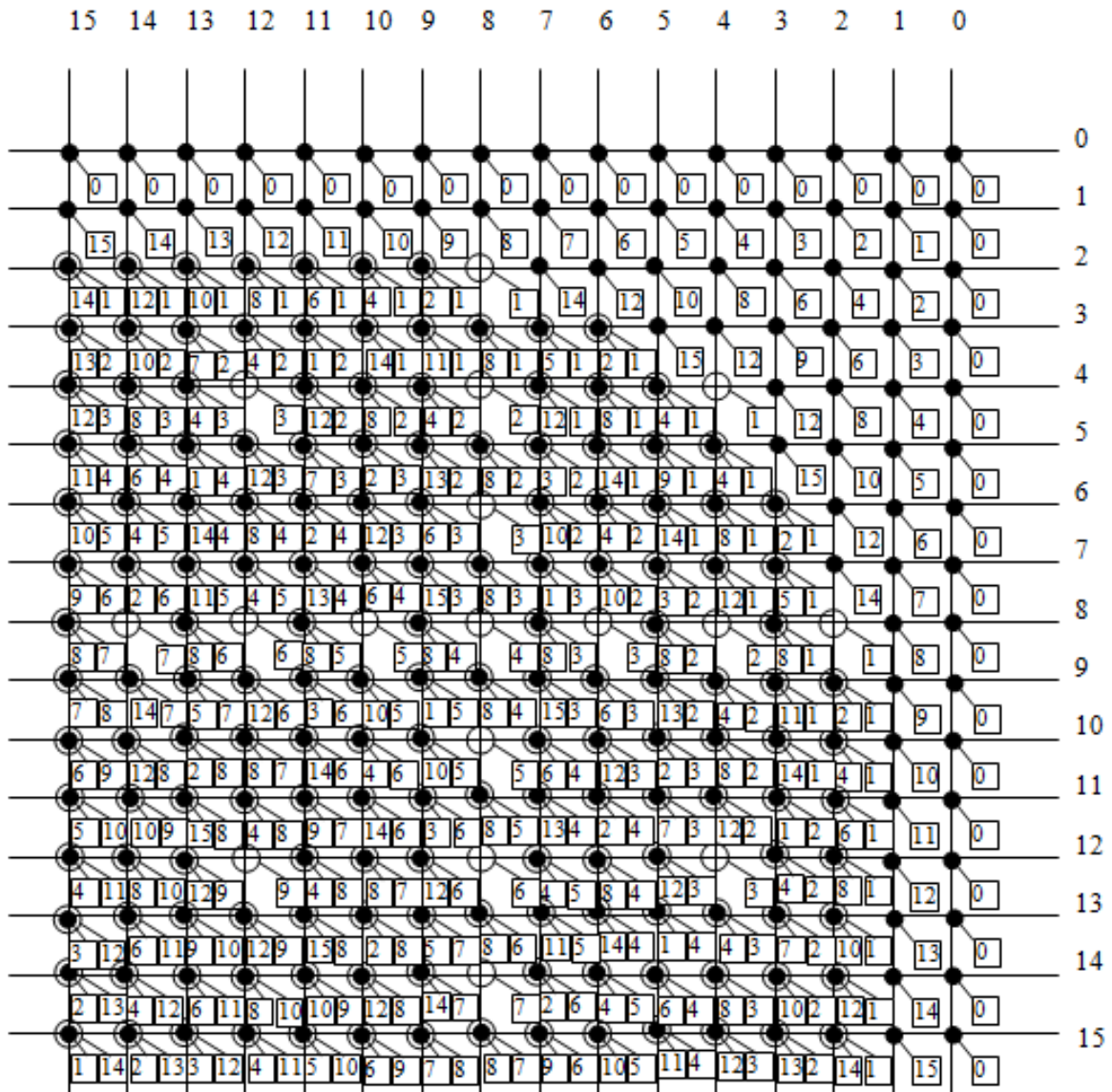


Рис. 4. Матричний перемножувач в базисі Хаара

Таблиця 4

Системні параметри компонентів цифрової згортки кореляційних процесорів

ТЧБ \ Системні параметри	Апаратна складність $A= x $	Часова складність $L= \max x_i $	Структурна складність $S=-C \log_2(e/(r(r-1)))$
Унітарний	$A_U = A_\Sigma + A_{LE} + A_{MP}$ $A_\Sigma = (2k+1) \cdot 4v$ $A_{LE} = k \cdot 2v$ $A_{MP} = (2k+k) \cdot v$	$L_U = L_{LE} + L_{MP} + 2k \cdot L_\Sigma$ $L_\Sigma = 4 \cdot L_v$ $L_{LE} = 2 \cdot L_v$ $L_{MP} = 2 \cdot L_v$	$C=4, r=4$ $S = -4 \log_2(4/(4(4-1))) = 1,9$
Радемахера	$A_R = A_\Sigma + A_{ЛПЧ}$ $A_\Sigma = (k^2-1) \cdot 4v$ $A_{LE} = (k^2-1) \cdot v + v$	$L_R = (2k-1) \cdot 5L_v$	$C=3, r=3$ $S = -2 \log_2(3/(3(3-1))) = 0,9$
Хаара	$A_H = k^2 v + k^2 / 2 \cdot v$	$L_H = L_v$	$C=3, r=3$ $S = -3 \log_2(3/(3(3-1))) = 0,9$

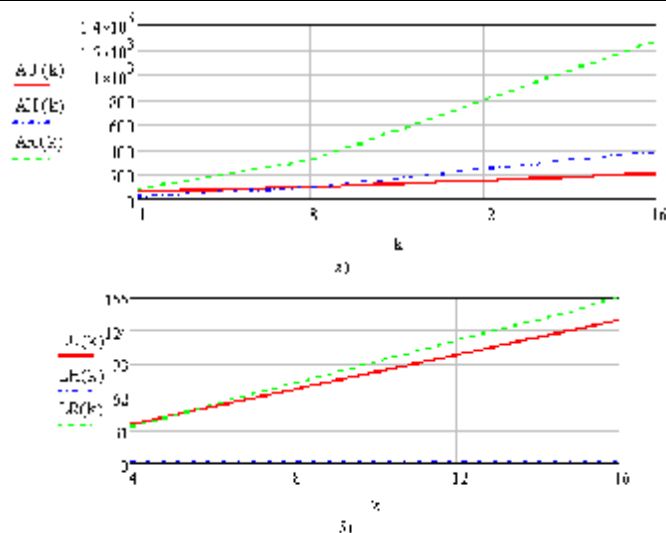


Рис. 5. Графіки системних характеристик перемножувачів в Унітарному базисі, Радемахера, Хаара: а) апаратна складність, б) часова складність

Проведені дослідження перемножувачів у різних теоретико-числових базисах показують, що найбільшою апаратною складністю зовсім від розрядності характеризується базис Радемахера, а найбільшою швидкістю, яка незалежить від розрядності, має перемножувач в базисі Хаара.

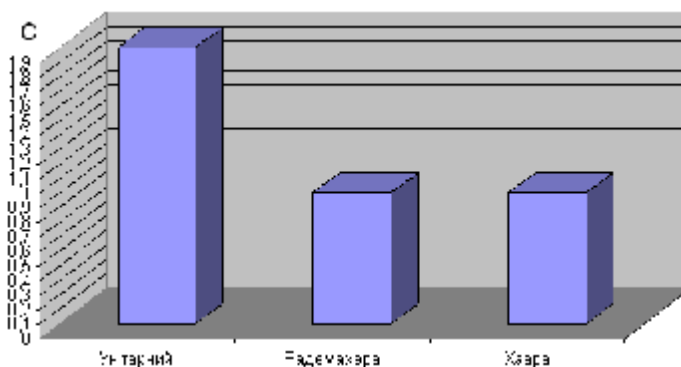


Рис. 6. Діаграма структурної складності перемножувачів в Унітарному базисі, Радемахера, Хаара

Висновок

Наведені характеристики теоретико-числових базисів, які породжують системи числення, що можуть використовуватися для виконання операцій множення в цифрових процесорах. Сформульовані критерії оцінки системних характеристик цифрових перемножувачів та досліджена відповідна їх схемотехнічна реалізація в Унітарному базисі, а також Радемахера, Хаара. В результаті наведених досліджень встановлено переваги базису Хаара при реалізації швидкодіючих матричних перемножувачів по відношенню до аналогічних схем у базисі Радемахера. Результати приведених досліджень можуть бути практично використані при побудові високопродуктивних спецпроцесорів кореляційного опрацювання сигналів, та опрацювання великорозрядних чисел в задачах шифрування та дешифрування інформаційних потоків.

Література

1. Албанський І.Б. Дослідження структури та системні характеристики компонентів кореляційного спецпроцесора у базисі Радемахера / І.Б. Албанський // Поступ в науку, Матеріали міжнародної проблемної наукової міжгалузевої конференції "Інформаційні проблеми комп'ютерних систем юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання, та управління (ПНМК)". – Бучач. – 2011. – Вип. № 7. – 9–12 с.
2. Савельев А.Я. Арифметические и логические основы цифровых автоматов / Савельев А.Я. – М. : Наука. – 1980. – 255 с.
3. Николайчук Я.М. Проектирование специализированных компьютерных систем : [навч. посібник для вузів] / Николайчук Я.М., Возна Н.Я., Пітух І.Р. – Т. : Терно-граф. – 2010. – 392 с.
4. А.с. 754414 СССР, МКМ³ G 06 F 7/39. Числоимпульсное множительное устройство / Я.Н. Николайчук ; опубл. 07.08.80, Бюл. № 29.
5. Теорія та принципи побудови спецпроцесора на основі базисів Радемахера, Крестенсона, Галуа / Я.М. Николайчук, Н.Д. Круцкевич, Р.І. Король О.М. Заставний // Контроль і управління в складних системах. (КУСС – 2003) ; Тези доповідей сьомої міжнародної науково-технічної конференції. – Вінниця. –

«УНІВЕРСУМ – Вінниця». – 2003. – 114 с.

6. Черкаський М.В. Універсальна SH-модель / М.В. Черкаський Хусейн Халіл Мурад // Комп'ютерні системи та мережі: Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – Львів, 2004. – № 523. – 150–154 с.

7. А.с. 475619 СССР, МКМ³ G 06 F 7/38. Квадратор / Н.И. Грибок, А.В. Обуханич ; опубл. 30.06.75, Бюл. № 24.

8. Волинський О.І. Розмежована система числення залишкових класів та спецпроцеси на її основі / О.І. Волинський, І.З. Якименко // Поступ в науку. Збірник праць Бучацького інституту менеджменту і аудиту – Бучач. – 2010. – № 6. Т 1. – 80–83 с.

Рецензент: д.т.н. Николайчук Я.М.

Надійшла 9.2.2012 р.

УДК 519.218

М.В. БАЧИНСЬКИЙ, Л.Є. ДЕДІВ, В.Г. ДОЗОРСЬКИЙ
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОЕНЦЕФАЛОГРАФІЧНОГО СИГНАЛУ ДЛЯ ЗАДАЧ ПОБУДОВИ КОМП'ЮТЕРНИХ ДІАГНОСТИЧНИХ СИСТЕМ

Обґрунтовано модель електроенцефалографічного сигналу, що адекватна його фізичній природі та задачі діагностики змін у активності головного мозку людини. Проаналізовано методи аналізу параметрів електроенцефалографічного сигналу, імовірнісних характеристик цих параметрів та їхніх часових змін.

The model of electroencephalographic signal is ground, which is adequate to its physical nature and problem diagnosis of changes in human brain activity. The methods of analysis parameters electroencephalographic signal probability characteristics of these parameters and their temporal changes are analysed.

Ключові слова: електроенцефалографічний сигнал, математична модель, періодично корельований випадковий процес, діагностика.

Вступ

Одним з провідних методів оцінювання функціонального стану центральної нервової системи є електроенцефалографія, яка є методом графічної реєстрації біопотенціалів головного мозку та їхнього наступного опрацювання, що дозволяє проаналізувати фізіологічний стан головного мозку, наявність осередкових уражень, загально мозкових розладів і їхній характер. Електроенцефалографічний метод ґрунтується на реєстрації й аналізі сумарної біоелектричної активності головного мозку – електроенцефалограми (ЕЕГ). В сучасних умовах впровадження комп'ютерних технологій в неврологію дає можливість побудови медичних діагностичних систем, які на відміну від зовнішнього оптичного аналізу ЕЕГ лікарями дають можливість підвищення точності сформованих висновків щодо стану активності головного мозку та покращення якості поставлених діагнозів. Такі діагностичні системи повинні опиратись на методи опрацювання ЕЕГ, які дають можливість виділення інформативних ознак сигналу – ЕЕГ, що є показниками відхилення від стану медичної норми активності головного мозку, та мати можливість їх кількісного оцінювання. Якщо взяти до уваги принцип МАПР – тріади (модель, алгоритм, програмна реалізація) [1], в основу таких медичних діагностичних систем має бути покладена математична модель досліджуваного сигналу, яка повинна бути адекватною розв'язуваній задачі, містити чутливу до змін у активності головного мозку інформативну ознаку сигналу, та визначати методи опрацювання ЕЕГ з метою виділення цієї ознаки та її кількісного оцінювання.

Постановка проблеми

В основі сучасних електроенцефалографічних систем лежить поєднання детермінованого та імовірнісного підходів щодо побудови математичної моделі ЕЕГ. За модель приймається суміш детермінованої (періодичної, майже періодичної) функції та стаціонарного випадкового процесу. При цьому для опрацювання сигналів застосовуються методи статистичного та спектрально-кореляційного аналізу [2, 3]. За інформативні ознаки, чутливі до змін у активності головного мозку приймаються статистичні характеристики ЕЕГ – математичне сподівання, дисперсія, середньоквадратичне відхилення, а в рамках теорії другого порядку (іншими словами кореляційної) – автокореляційна функція, розподіл спектральної густини потужності. Однак, така модель не має засобів оцінювання зміни характеристик сигналу в часі з метою виявлення часових моментів появи змін у активності головного мозку, що носять випадковий характер і не можуть бути описані детермінованою складовою такої моделі.

Формулювання задачі

Обґрунтувати модель ЕЕГ, адекватну фізичній природі таких сигналів та задачі діагностики змін у активності головного мозку людини, яка мала б засоби аналізу параметрів ЕЕГ, імовірнісних характеристик цих параметрів та їхніх часових змін.

Математична модель електроенцефалографічного сигналу

Для запису ЕЕГ на поверхню шкіри голови встановлюються електроди, які приєднуються до

спеціального приладу – електроенцефалографа. Приклад фрагменту реєстрограми ЕЕГ, відібраної з допомогою обладнання виробництва фірми "ХАІ-Медика" (Національний аерокосмічний університет ХАІ, м. Харків) наведено на рис. 1 [4].

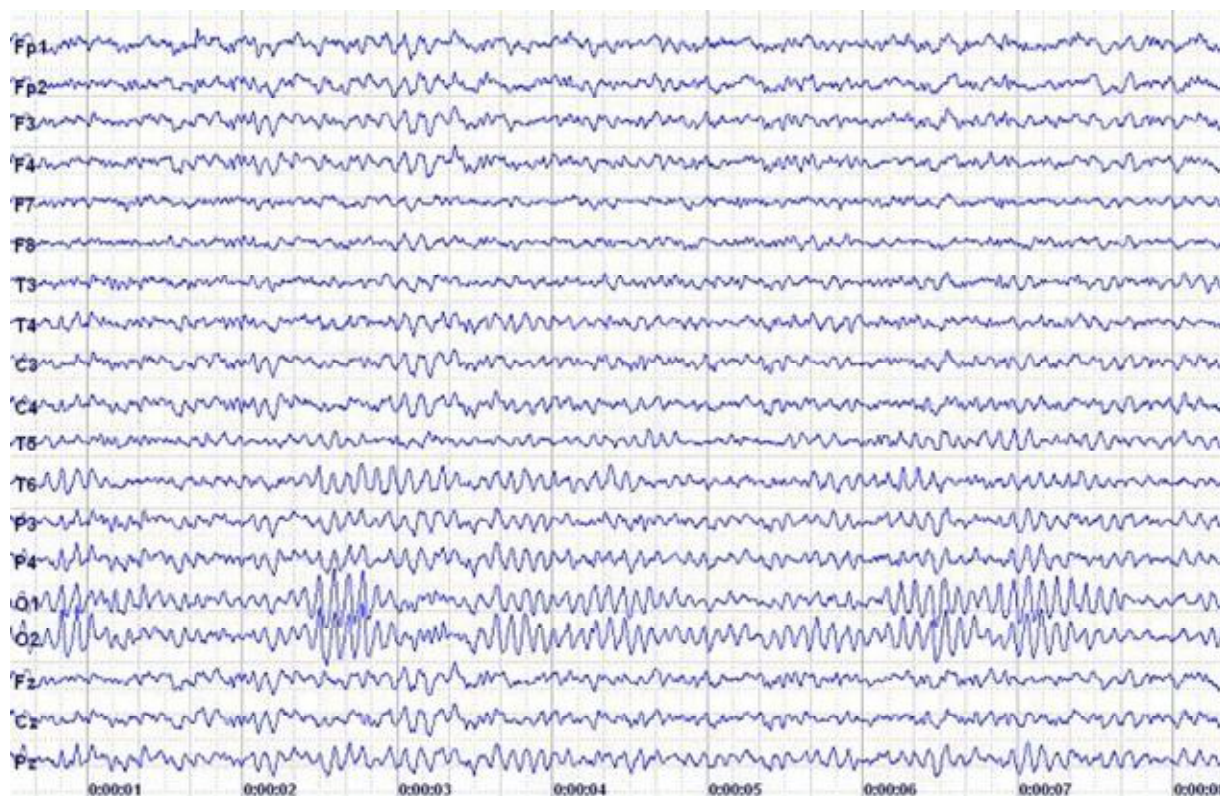


Рис. 1. Фрагмент з реєстрограми ЕЕГ людини

Одними з найбільш значимих для задач медичної діагностики характеристик ЕЕГ є частотні. Для зручності, була введена класифікація частот ЕЕГ за деякими основними діапазонами, яким присвоєно назви букв грецького алфавіту (альфа – 8–13 Гц, бета – 14–40 Гц, тета – 4–6 Гц, дельта – 0,5–3 Гц, гамма – вище 40 Гц та ін.). Залежно від частотного діапазону і від амплітуди, форми хвилі, топографії і типу реакції розрізняють ритми ЕЕГ, які позначають відповідними грецькими буквами. Графічне зображення реалізацій деяких ритмів наведено на рис. 2. Вважається, що кожен окремий ритм відповідає деякому певному стану мозку і пов'язаний з окремими церебральними механізмами [4].

Патологічні прояви активності головного мозку проявляються на ЕЕГ у вигляді появи повільних ритмів: тета (θ) і дельта (δ). Чим нижче їхня частота і вище амплітуда, тим більше виражений патологічний процес. При наявності в структурі ЕЕГ тета і дельта ритмів говорять про визначене зниження рівня функціональної активності мозку.

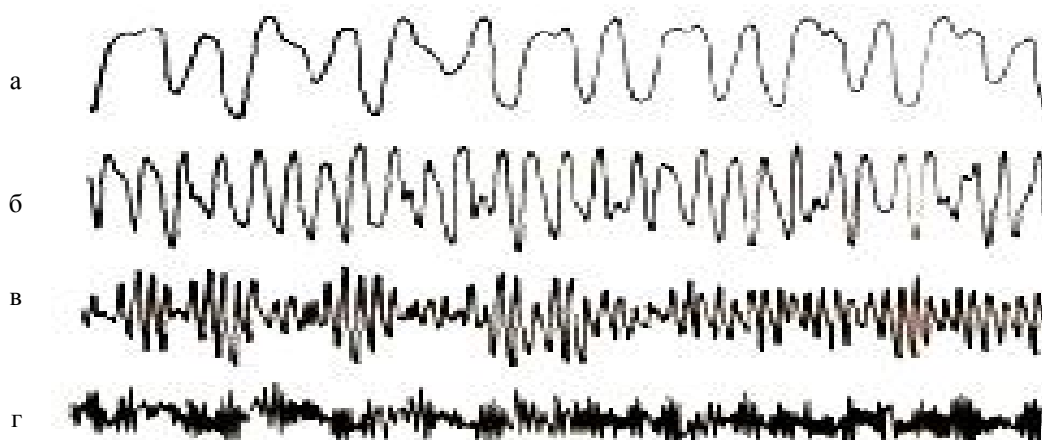


Рис. 2. Основні ритми головного мозку людини:
а – дельта-ритм (1–3 Гц); б – тета-ритм (4–7 Гц), в – альфа-ритм (9–13 Гц), г – бета-ритм (14–30 Гц)

Відповідно, адекватна задачі медичної діагностики змін активності головного мозку модель ЕЕГ повинна враховувати у своїй структурі крім його стохастичної природи також і ритмічну структуру. При

цьому, інформативними є поява низькочастотних ритмів та параметри їх зміни в загальній структурі ЕЕГ, за якими можна ставити медичний діагноз.

Ритміка є характерним проявом коливності складних систем, коли доступні тільки отримувані від них спонтанно вислані чи стимульовані сигнали, що несуть відомості про цю коливність. Під ритмікою прийнято розуміти стохастичні коливання, що є результатом поєднання таких закономірностей як повторюваність та стохастичність.

В працях [5–7] показано, що адекватною моделлю стохастичних коливань, виходячи із принципів енергетичної теорії стохастичних сигналів, є періодично корельований випадковий процес (ПКВП). ПКВП – це моделі стохастичних коливань з періодичною зміною імовірнісних характеристик. Вони творять підклас π^T [14]. Тоді задача визначення інформативних ознак ЕЕГ зведеться до того, щоб на підставі апріорного теоретичного аналізу структури цієї моделі виявити можливі інваріанти, що їх може дати опрацювання емпіричних даних, та обґрунтувати алгоритм цього опрацювання.

Періодично корельований випадковий процес класу p^T – це процес, математичне сподівання якого є періодичною функцією, період якої дорівнює періодові корельованості процесу, а кореляційна функція якого задовольняє умови:

1) періодичність щодо сумісних зсувів на період корельованості $r_x(t+T, s+T) = r_x(t, s)$, $T > 0$ для всіх $t, s \in \mathbf{R}$;

2) скінченність середньої за цей період потужності $\frac{1}{T} \int_0^T r_x(t, t) dt < \infty$.

Зображення стохастичного коливного процесу (СКП) як ПКВП має подання його через стаціонарні компоненти:

$$x(t) = \sum_{k \in \mathbf{Z}} x_k(t) \cdot e^{ik \frac{2p}{T} t}, t \in \mathbf{R}, \quad (1)$$

де $x_k(t)$ – стаціонарні та стаціонарно пов'язані компоненти СКП, при поданні його як ПКВП, \mathbf{Z} – множина всіх цілих чисел, T – період корельованості сигналу.

Компоненти $e^{ik \frac{2p}{T} t}$ виразу (1) відображають гармонічну (коливну) структуру сигналу, а компоненти $x_k(t)$ – його стохастичність. При цьому, модель у вигляді ПКВП визначає загальні методи статистичного опрацювання сигналів: синфазний та компонентний, що використовуються для обчислення статистичних оцінок їхніх ймовірнісних характеристик, які у випадку опрацювання ЕЕГ є інформативними, тобто показниками стану активності головного мозку людини.

Компонентний метод виходить з того, що статистичні характеристики ЕЕГ є періодичними функціями часу, а тому можуть бути представлені з допомогою розкладів типу рядів Фур'є:

$$\hat{m}(t) = \sum_{k \in \mathbf{Z}} m_k e^{ik \frac{2p}{T} t}, \quad (2)$$

$$\hat{b}(t, u) = \sum_{k \in \mathbf{Z}} B_k(u) e^{ik \frac{2p}{T} t}. \quad (3)$$

При цьому, кореляційна функція $b(t, u)$ є основною імовірнісною характеристикою ЕЕГ, яка характеризує розподіл потужності центрованих сигналів.

Коефіцієнти m_k та B_k розкладів (2) та (3), які називають також компонентами характеристик, знаходять за формулами:

$$\hat{m}_k = \frac{1}{T} \int_0^T m(t) e^{ik \frac{2p}{T} t} dt, \quad (4)$$

$$\hat{B}_k(u) = \frac{1}{T} \int_0^{T_k} b(t, u) e^{ik \frac{2p}{T} t} dt. \quad (5)$$

Синфазний метод ґрунтується на тому, що відліки значень сигналу Ξ через період корельованості T при різному виборі початкової фази $t_0 \in [0, T)$ утворюють стаціонарну ергодичну векторну випадкову послідовність $\{\Xi(t_0), t_0 \in [0, T)\}$, де $\Xi(t_0) \equiv \{\Xi(t_0 + kT), k \in \mathbf{Z}\}$, $\{\Xi(t_0), \Xi(t_1) \dots \Xi(t_n)\}$ – стаціонарні та стаціонарно пов'язані випадкові послідовності [10]. Таким чином, статистика періодично корельованих

випадкових послідовностей зводиться до статистики стаціонарних випадкових послідовностей. При цьому, кореляційні функції таких послідовностей, внаслідок їх періодичності з періодом корельованості T , виходячи з означення класу ПКВП, можуть бути розкладені в ряди Фур'є згідно з виразом (6).

$$b_x(t, u) = \sum_{k \in Z} e^{ik\Delta t} B_k(u), \quad \Delta = \frac{2p}{T_{corr}}, \quad (6)$$

де $b_x(t, u)$ – кореляційні функції, $B_k(u)$ – кореляційні компоненти,
 k – номер компоненти,
 u – величина зсуву.

Компоненти $B_k(u)$ характеризують структуру часової мінливості сигналу. Оцінки їх для випадку періодично корельованих випадкових послідовностей знаходяться за виразом (7).

$$\hat{B}_k(u) = \frac{1}{N_T} \sum_{n=0}^{N_T-1} \hat{b}_x(n\Delta t, u) \cdot e^{ik \frac{2p}{N_T} n}, \quad (7)$$

де N_T – дискретний період корельованості фрикативного звуку, $N_T = T / \Delta t$, Δt – крок дискретизації.

На основі вибраної математичної моделі реалізовано алгоритми опрацювання ЕЕГ засобами ЕТСС на основі компонентного та синфазного методів, що можуть бути використані для побудови програмного забезпечення комп'ютерних діагностичних систем.

Висновки

З аналізу структури ЕЕГ та описаних властивостей періодично корельованих випадкових процесів випливає, що математична модель процесу такого класу дає змогу адекватно описати сигнал, а саме врахувати поєднання випадковості та ритмічності сигналу, а тому і розробити методи визначення інваріантних інформативних ознак ЕЕГ, виходячи із статистики таких сигналів для задач діагностики змін у активності головного мозку людини.

Література

1. Dragan Ya.P. Energetic concept in the theory of nonstationary stochastic signals: representations, transformations, statistical estimations // Latvian signal processing international conference: Proc. V.1- Riga: Zinatne, 1990. – P. 32–36.
2. Сахаров В.Л. Особенности оценки электроэнцефалограммы с помощью спектральных и корреляционных методов / В.Л. Сахаров // Тезисы докладов 1-й междунар. молодежного форума ["Электроника и молодежь в XXI веке"]. – Харьков, 1997. – 145 с.
3. Сахаров В.Л. Методы и средства анализа медикобиологической информации : [учебно-методическое пособие] / Сахаров В.Л. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2001. – 70 с.
4. <http://psylab.kiev.ua>.
5. Драган Я.П. Математичне й алгоритмічно-програмне забезпечення комп'ютерних засобів статистичного опрацювання стохастичних коливань (ритмічних процесів) / Я.П. Драган // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». Інформаційні системи та мережі. – 2008. – № 621. – С. 124–130.
6. Драган Я.П. Основи сучасної теорії стохастичних сигналів: енергетична концепція, математичний апарат, фізичне тлумачення / Драган Я.П., Сікора Л.С., Яворський Б.І. – Львів : Центр стратегічних досліджень еко-біотехнічних систем, 1999. – 133 с.
7. Драган Я. Енергетична теорія лінійних моделей стохастичних сигналів / Драган Я. – Львів : Центр стратегічних досліджень еко-біотехнічних систем, 1997. – 361 с.

Рецензент: д.т.н. Лупенко С.А.
 Надійшла 7.2.2012 р.

ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ТА ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ АРИФМЕТИКО-ЛОГІЧНОГО ПРИСТРОЮ НА ОСНОВІ ВЕРТИКАЛЬНО-ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Описані теоретичні засади, структура та принципи роботи арифметико-логічного пристрою. Розглянемо функції і алгоритми виконання математичних операцій. Досліджено приклади виконання арифметичних операцій в базисах Радемахера і Галуа. Виконана порівняльна характеристика суматорів в базисі Радемахера та Галуа.

We are describe the theoretical background, structure and principles of arithmetic logic unit. Research function and algorithm of mathematical operations. Arithmetic operations research as examples in Rademacher's basis and Galois' basis. The comparative characteristics of adders in Rademacher's basis and Galois' basis.

Ключові слова: арифметико-логічний пристрій, вертикально-інформаційна технологія, теоретико-числовий базис.

Вступ

У зв'язку з інтенсивним впровадженням обчислювальної техніки в усі сфери сучасного суспільства одним із пріоритетних завдань економічного та соціального розвитку є автоматизоване проектування нових мікропроцесорних систем, у тому числі арифметико-логічних пристроїв (АЛП). Сучасний розвиток мікропроцесорної індустрії вимагає нових теоретичних, та практичних науково-технічних рішень.

Постановка проблеми. Методологічною основою при розробці більшості процесорів являється двійкова система числення в теоретико-числовому базисі (ТЧБ) Радемахера. Дослідження тенденції розвитку процесорів обумовленні теоретичним вичерпанням застосування базису Радемахера для побудови арифметико-логічних пристроїв процесора, до яких ставляться все жорсткіші вимоги щодо структурної побудови, енергоспоживання та вартості. Світовий досвід за останні роки демонструє тенденції у дослідженні інших базисів: Галуа, Радемахера, Крестенсона, та унітарного, які також породжують системи числення [1]. У зв'язку з цим досить актуальним для побудови АЛП процесора являється базис Галуа, який є основою вертикально-інформаційної технології (ВІТ) [2]. Порівняння функціональних можливостей АЛП у базисах Радемахера та Галуа дозволить знайти ефективні рішення для розробки процесорних пристроїв з вдосконаленими характеристиками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Значний внесок в розвиток теорії та застосування в галузі обчислювальних машин в різних теоретико-числових базисах зробили Акушський І.Й., Крестенсон А., Глушков В.М., Палагін О.В., Брюхович Е.И., Романов С.І., Тарасенко В.П., Николайчук Я.М., Мельник А.О., Петришин Л.Б., Червяков В.П. та інші [3–9]

Постановка завдання. Основною задачею наукового дослідження є вирішення наступних науково-технічних завдань:

1. Дослідження функцій АЛП процесора.
2. Алгоритм виконання арифметичних операцій в базисі Радемахера та Галуа.
3. Дослідження кодів Галуа, приклади виконання арифметичних операцій.
4. Дослідження суматорів на основі ТЧБ Радемахера і Галуа.

Мета роботи – розробити теоретичні засади та принципи побудови арифметико-логічного пристрою у теоретико-числовому базисі Галуа; зробити порівняльну характеристику виконання операцій в суматорах на основі базисів Радемахера та Галуа.

Функції і алгоритм виконання операцій в АЛП. У цифровій апаратурі основним пристроєм, у якому безпосередньо виконується обробка, є процесорний пристрій. Процесор складається з двох основних компонентів: пристрій керування та АЛП. Арифметико-логічний пристрій призначений для виконання арифметичних і логічних операцій над числами (словами), що надходять до нього, за сигналами з пристрою керування. Пристрій керування призначений для організації процесу обчислень. Він координує дії АЛП, генеруючи у визначеній часовій послідовності керуючі сигнали, під дією яких у вузлах АЛП виконуються необхідні операції.

Розглянемо спрощену блок-схему роботи АЛП (рис.1) Всі дані в арифметико-логічному модулі і накопичувальний регістр (акумулятор) надсилаються через регістр даних. Накопичувальний регістр має розмір, що відповідає довжині машинного слова. Для того, щоб скласти два двійкових числа, одне число запам'ятовується у накопичувальному регістрі, а інше - запам'ятовується у регістрі даних. Після додавання сума двох чисел одноадресної мікрокоманди:

$$A := A * R \text{ або } R_2 := A * R_1, \quad (1)$$

де * – символ арифметико-логічної операції (+, -, x, /, <, >, =, ≤, ≥, ⊕, ↔).

Процес функціонування АЛП розпадається на певну послідовність елементарних дій у його вузлах. Перелік таких елементарних дій містить у собі:

- 1) встановлення регістра в деякий стан;

- 2) інвертування вмісту розрядів регістру;
- 3) пересилку вмісту одного вузла в інший вузол (наприклад, пересилку числа з регістра в регістр);
- 4) зсув вмісту вузла (регістра) ліворуч або праворуч;
- 5) виконання арифметико-логічних операцій.

Реалізуючи операції двійкової арифметики структура АЛП визначається алгоритмами виконання операцій. На вибір алгоритмів найбільше впливають вимоги до швидкодії АЛП чи обмеження на кількість використовуваного обладнання.

Операція додавання двійкових чисел є основною операцією, вона найчастіше використовується в програмах і багаторазово використовується в операціях множення і ділення. Операції додавання в АЛП можуть виконуватись над двійковими числами з фіксованою і плаваючою комами. В окремих випадках операції можуть виконуватись над кодами цілих чисел. В основному використовуються два основних способи реалізації додавання [7]: 1) зворотному коді; 2) доповнюючому коді. Для контролю за переповненням розрядної сітки акумулятора використовують модифіковані коди, в яких знак представляється двома двійковими розрядами: знак плюс – кодом 00 і знак мінус – кодом 11. Зворотній або доповнюючий код використовують для кодування від’ємних операндів.

Порівняльна характеристика суматорів в базисі Радемахера та Галуа

Головним недоліком виконання операції над двійковими кодами в базисі Радемахера є наявність наскрізних порозрядних переносів. В базисі Галуа, як показано в роботах [10] реалізується рекурентний спосіб представлення чисел згідно з прикладом представленим у табл. 1 коду поля Галуа $G \begin{pmatrix} 4 \\ 2 \end{pmatrix}$

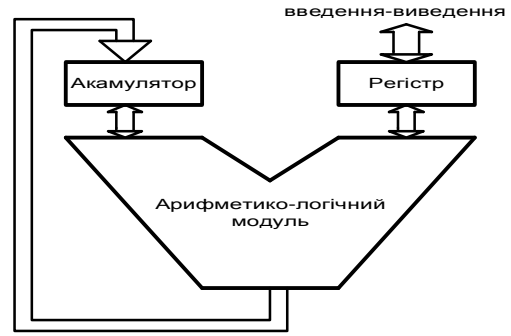


Рис. 1. Структурна схема роботи АЛП

Формування кодів чисел в базисах Радемахера та Галуа

Десяткове значення	Двійкові коди	Коди Галуа	Вектор формування кодів Галуа
0	0000	1111	1
1	0001	1110	1
2	<0010> →	<1101> →	→ 1
3	0011	1010	1
4	0100	0101	0
5	0101	1011	1
6	0110	0110	0
7	0111	1100	1
8	1000	1001	1
9	1001	0010	0
10	1010	0100	0
11	1011	1000	1
12	1100	0000	0
13	1101	0001	0
14	1110	0011	0
15	1111	0111	0

Таблиця 1

Таким чином згідно з табл.1, матриця кодів чисел в базисі Радемахера відповідає упакованим кодам в базисі Галуа. Базис Галуа формується на основі вектора кодів Галуа, як показано у табл.1 десятковому значенню 2 відповідає код Галуа 1101, на рис.2 шляхом циклічного зсуву формується значення 0011 коду Галуа, яке відповідає двійковому значенню 1110, і десятковому значенню 14.

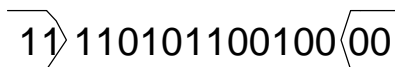


Рис. 2. Принцип формування кодонів Галуа на границі бітів

Причому вектор кодів Галуа для подання всієї послідовності чисел 2^k повинен замикатися в кільце, на границі стикування якого формуються відповідні коди. Для генерації рекурентних кодів чисел базису Галуа використовуються кодові ключі, які визначаються на основі незвідних поліномів [11]. Наприклад, для

приведеного коду Галуа $G \begin{pmatrix} 4 \\ 2 \end{pmatrix}$ алгоритм генерування кодів Галуа описується рівнянням:

$$G_{i+1} = G_i \oplus G_{i-3}, \quad (3)$$

де G_i – біти Галуа,

\oplus – операція по модулю 2.

Виходячи з рівняння (3) кожен $i+1$ біт Галуа формується на основі логічної операції за модулем 2 над попередніми бітами Галуа. Таким чином операція інкремента в базисі Галуа виконується у виді зсуву вліво кодону, який представляє число в базисі Галуа. Наприклад, x_i у базисі Радемахера та Галуа представлено кодами згідно з табл. 1.

$$X_i = 11_{(10)} = 1011_{(R)}; \quad X_i = 11_{(10)} = 1000_{(G)}.$$

В базисі Радемахера відомий ряд структур суматорів [10], які показані на (рис. 3). Робота даних суматорів описується рівняннями:

- для півсуматора $S = A \wedge \bar{B} \vee \bar{A} \wedge B$; $P = A \wedge B$;

- для повного суматора

$$S_i = \bar{A}_i \wedge \bar{B}_i \wedge P_{i-1} \vee \bar{A}_i \wedge B_i \wedge \bar{P}_{i-1} \vee A_i \wedge \bar{B}_i \wedge P_{i-1} \vee A_i \wedge B_i \wedge \bar{P}_{i-1},$$

$$P_i = \bar{A}_i \wedge B_i \wedge P_{i-1} \vee A_i \wedge \bar{B}_i \wedge P_{i-1} \vee A_i \wedge B_i \wedge \bar{P}_{i-1} \vee A_i \wedge B_i \wedge P_{i-1}.$$

Нарощування розрядності виконується послідовним з'єднанням однорозрядних повних суматорів (рис. 3 в) залежно від необхідної розрядності. Основним недоліком суматорів в базисі Радемахера є наявність наскрізного переносу, що призводить до значного зниження швидкодії процесорів, яке пропорційне їх розрядності і часу затримки сигналів згідно виразу:

$$T_{\Sigma R} = kT_c, \quad T_c = 3T_{ле} \quad (3)$$

де kT_c – розрядність суматора,

T_c – час спрацювання повного суматора,

$T_{ле}$ – час спрацювання логічних елементів.

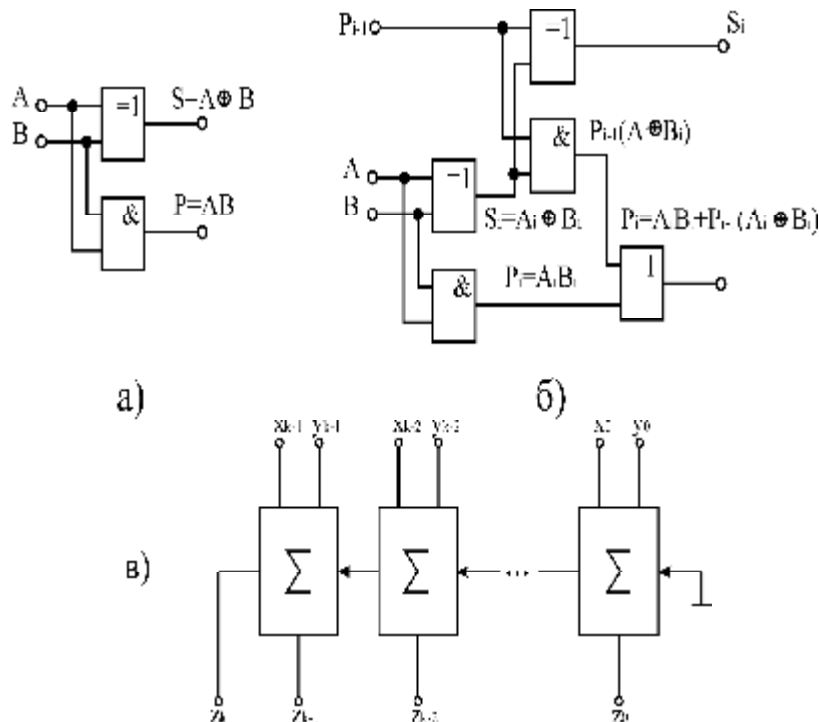


Рис. 3. Структури двійкових однорозрядних суматорів (а – півсуматор, б – повний суматор, в – k-розрядний суматор)

Граничним випадком максимального зниження швидкодії таких суматорів є операція інкременту чи декременту згідно арифметичної операції у базисі Радемахера:

$$\begin{array}{r} \leftarrow \leftarrow \leftarrow \leftarrow \leftarrow \\ 111 \dots 11 \quad X_{(2)} = 2^{k-1}; \\ + 000 \dots 01 \quad Y_{(2)} = 2^0; \\ \hline 1000 \dots 00 \quad Z_{(2)} = 2^k, \end{array}$$

Рис. 4. Принцип виконання операції інкременту, де \leftarrow – символ наскрізного переносу між розрядами суматора

Слід відмітити, що дана операція інкрементного сумування в базисі Галуа виконується за один такт незалежно від розрядності суматора на базі структури представленої на рис. 4, де логічні елементи виконують функції рекурентного формування $i+1$ -х бітів коду Галуа. При цьому час затримки сигналів при виконанні операції інкременту сумування визначається згідно виразу:

$$T_{\Sigma GI} = T_T + 3kT_{le} \quad (4)$$

Перевагою інкрементного суматора в базисі Галуа є наявність пам'яті, в той час, як суматор в базисі Радемахера для зберігання даних потребує 3-х k -розрядних регістрів.

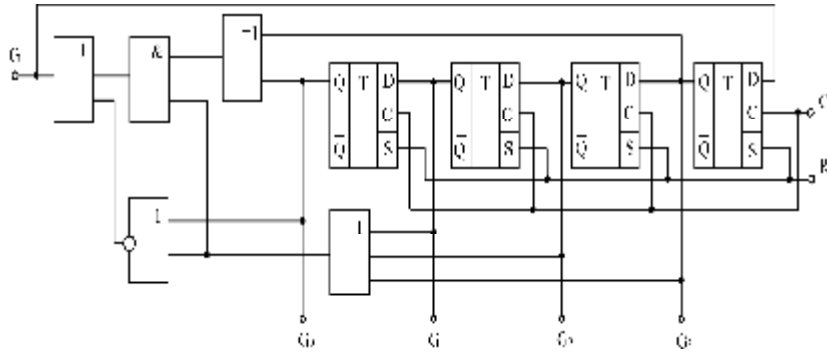


Рис. 5. Структура 4-х розрядного інкрементного суматора в базисі Галуа

Операція сумування кодів у базисі Галуа, для суматорів в діапазоні 2^k-1 , виконується шляхом виконання логічних операцій над бітами коду Галуа першого з доданків згідно таблиці логічних рівнянь, що описують другий доданок. В табл. 2 надані формули логічного опису бітів другого доданку, на прикладі 4-розрядного коду Галуа для суматорів в діапазоні 2^k , що досягається введенням додаткової комбінації "0000" в позиції 12 [11].

Таблиця 2

Формули логічного представлення кодів Галуа

Десятькове значення	Код Галуа	Формула суматора			
		b_4	b_3	b_2	b_1
0	1111	b_4	b_3	b_2	b_1
1	1110	b_3	b_2	b_1	$b_1 \oplus b_4 \oplus b_3$
2	1101	b_3	b_1	b_2	$b_1 \oplus b_4$
3	1010	b_2	b_2	$b_1 \oplus b_4$	$b_1 \oplus b_2 \oplus b_4$
4	0101	b_1	$b_1 \oplus b_4$	$b_1 \oplus b_2 \oplus b_4$	$b_1 \oplus b_2 \oplus b_3 \oplus b_4$
5	1011	$b_1 \oplus b_4$	$b_1 \oplus b_2 \oplus b_4$	$b_1 \oplus b_2 \oplus b_3 \oplus b_4$	$b_1 \oplus b_2 \oplus b_3$
6	0110	$b_1 \oplus b_2 \oplus b_4$	$b_1 \oplus b_2 \oplus b_3 \oplus b_4$	$b_1 \oplus b_2 \oplus b_3$	$b_2 \oplus b_3 \oplus b_4$
7	1100	$b_1 \oplus b_2 \oplus b_3 \oplus b_4$	$b_1 \oplus b_2 \oplus b_3$	$b_2 \oplus b_3 \oplus b_4$	$b_1 \oplus b_3$
8	1001	$b_1 \oplus b_2 \oplus b_3$	$b_2 \oplus b_3 \oplus b_4$	$b_1 \oplus b_3$	$b_2 \oplus b_4$
9	0010	$b_2 \oplus b_3 \oplus b_4$	$b_1 \oplus b_3$	$b_2 \oplus b_4$	$b_1 \oplus b_3 \oplus b_4$
10	0100	$b_1 \oplus b_3$	$b_2 \oplus b_4$	$b_1 \oplus b_3 \oplus b_4$	$b_1 \oplus b_2$
11	1000	$b_2 \oplus b_4$	$b_1 \oplus b_3 \oplus b_4$	$b_1 \oplus b_2$	$b_2 \oplus b_3$
12	0000	$b_1 \oplus b_3 \oplus b_4$	$b_1 \oplus b_2$	$b_2 \oplus b_3$	$b_3 \oplus b_4$
13	0001	$b_1 \oplus b_2$	$b_2 \oplus b_3$	$b_3 \oplus b_4$	b_4
14	0011	$b_2 \oplus b_3$	$b_3 \oplus b_4$	b_4	b_3
15	0111	$b_3 \oplus b_4$	b_4	b_3	b_2

Такий спосіб опису функцій суматора в базисі Галуа передбачає емуляцію його роботи виключно програмним шляхом, що не дозволяє перейти його апаратної реалізації. Виконання операції сумування на основі матриці коефіцієнтів d_{ij} (табл. 3) представлено в [1], яка використовується для логічного формування бітів коду Галуа суми доданків згідно виразу:

$$b_i = d_{i,k} \cdot b_k \oplus d_{i,k-1} \cdot b_{k-1} \oplus \dots \oplus d_{i,1} \cdot b_1. \quad (5)$$

Матриця коефіцієнтів d_{ij}

Десяткове значення	Код Галуа	Формула суматора			
		d_{j4}	d_{j3}	d_{j2}	d_{j1}
0	1111	1000	0100	0010	0001
1	1110	0100	0010	0001	1001
2	1101	0010	0001	1001	1011
3	1010	0001	1001	1011	1111
4	0101	1001	1011	1111	0111
5	1011	1011	1111	0111	1110
6	0110	1111	0111	1110	0101
7	1100	0111	1110	0101	1010
8	1001	1110	0101	1010	1101
9	0010	0101	1010	1101	0011
10	0100	1010	1101	0011	0110
11	1000	1101	0011	0110	1100
12	0000	0011	0110	1100	1000
13	0001	0110	1100	1000	0100
14	0011	1100	1000	0100	0010
15	0111	0111	1110	1101	0011

Розглянемо приклад виконання операції додавання двох чисел в базисі Галуа на основі матриці коефіцієнтів d_{ij} . Нехай $X_{(10)}=2; Y_{(10)}=5$, тоді $X_G=1101; Y_G=1011$. Тобто X_G відповідає коду $b_4=1; b_3=1; b_2=0; b_1=1$, а код Y_G згідно табл. 3 відповідає логічним операціям над бітами X_G : $b_1 \oplus b_2 \oplus b_4; b_1 \oplus b_2 \oplus b_3 \oplus b_4; b_1 \oplus b_2 \oplus b_3; b_2 \oplus b_3 \oplus b_4$, що відповідає кодам d_{ij} 1011; 1111; 0111; 1110 з табл. 2. Тобто результат сумування даних чисел виконується за допомогою логічної обробки кодів X_G та коефіцієнтів d_{ij} , які відповідають коду Y_G :

$$G_4 = 1 \wedge b_4 \oplus 0 \wedge b_3 \oplus 1 \wedge b_2 \oplus 1 \wedge b_1 = 1 \wedge 1 \oplus 0 \wedge 1 \oplus 1 \wedge 0 \oplus 1 \wedge 1 = 1;$$

$$G_3 = 1 \wedge b_4 \oplus 1 \wedge b_3 \oplus 1 \wedge b_2 \oplus 1 \wedge b_1 = 1 \wedge 1 \oplus 1 \wedge 1 \oplus 1 \wedge 0 \oplus 1 \wedge 1 = 1;$$

$$G_2 = 0 \wedge b_4 \oplus 1 \wedge b_3 \oplus 1 \wedge b_2 \oplus 1 \wedge b_1 = 0 \wedge 1 \oplus 1 \wedge 1 \oplus 1 \wedge 0 \oplus 1 \wedge 1 = 0;$$

$$G_1 = 1 \wedge b_4 \oplus 1 \wedge b_3 \oplus 1 \wedge b_2 \oplus 0 \wedge b_1 = 1 \wedge 1 \oplus 1 \wedge 1 \oplus 1 \wedge 0 \oplus 0 \wedge 1 = 0.$$

Отримана система логічних рівнянь дозволяє синтезувати структуру 4-бітового суматора Галуа, який зображений на рис. 6.

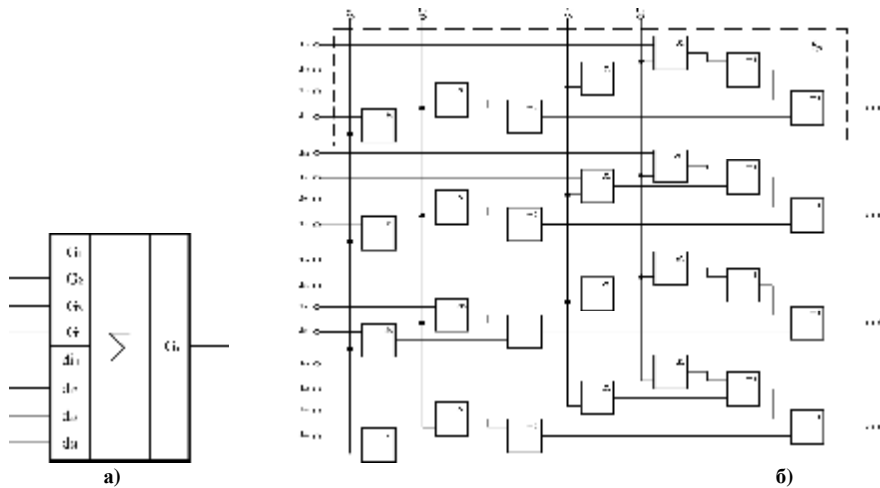


Рис. 6. Умовне позначення (а) одного розряду 4-бітового суматора Галуа та структурна схема 4-розрядного суматора Галуа (б)

Аналіз структури операційного пристрою сумування в базисі Галуа показує, що він характеризується регулярною архітектурою з часом затримки сигналів:

$$T_{\Sigma G} = 3T_{ле} + \left(\frac{k}{4}\right)T_{ле}. \tag{6}$$

Для функціонування даного операційного пристрою необхідно виконувати дешифрування коду k -розрядного коду другого доданку в k^2 -розрядний код коефіцієнтів d_{ij} . На рис. 7 зображено умовне позначення (а) та розроблена канонічна структура дешифратора суматора Галуа (б), яка характеризується часом затримки згідно з виразом:

$$T_{D\Sigma} = 3T_{ле} \tag{7}$$

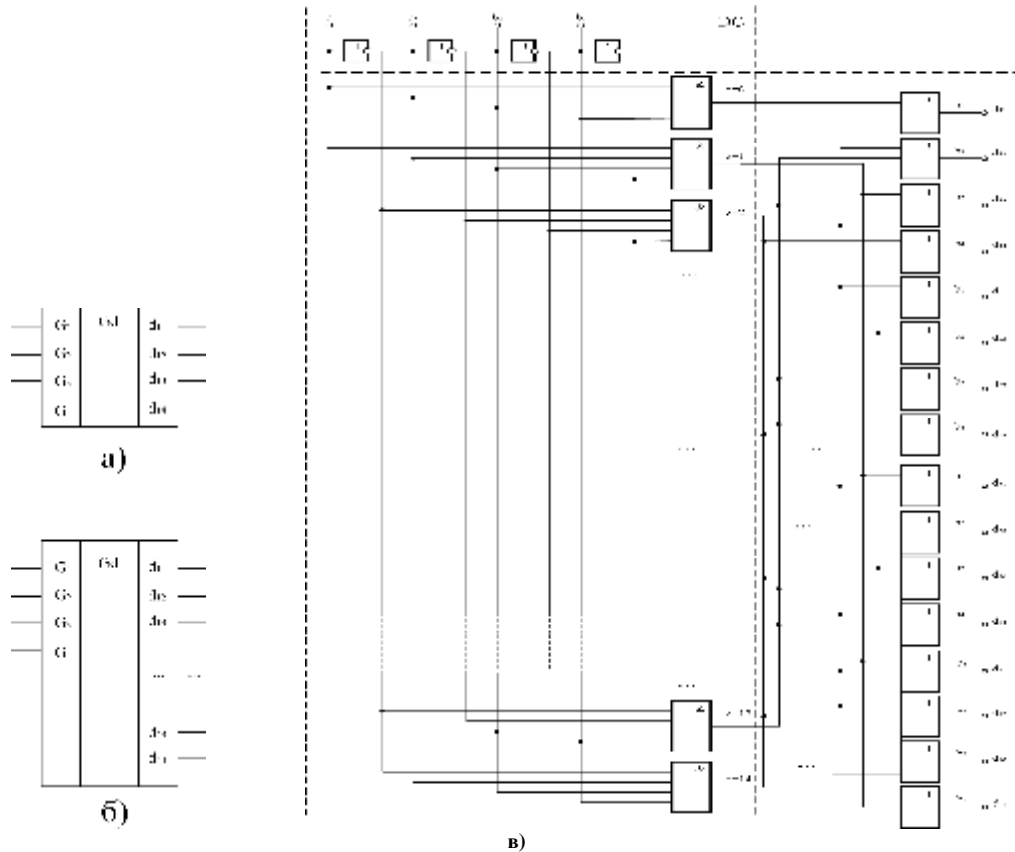


Рис. 7. Умовне позначення однорозрядного (а), 4-розрядного (б) та структура дешифратора 4-розрядного суматора Галуа (в)

При використанні умовних позначень компонентів суматора Галуа (рис. 6 а, 7 б), отримаємо структурну схему 4-розрядного паралельного суматора Галуа, яка показана на рис. 8.

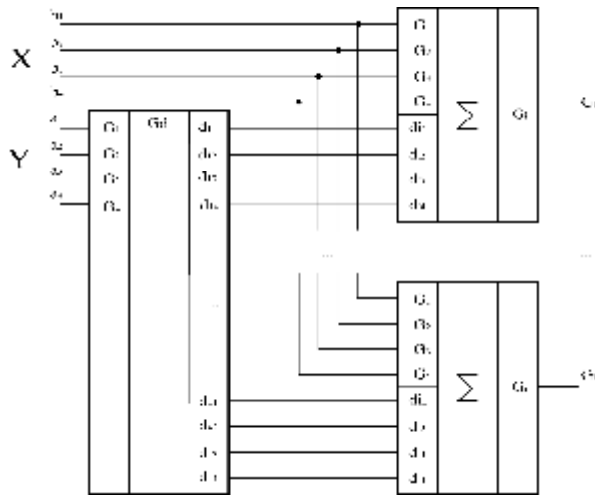


Рис. 8. Структурна схема 4-розрядного паралельного суматора Галуа

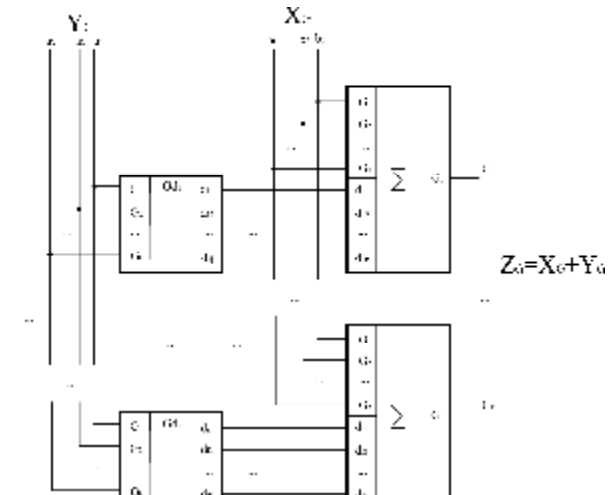


Рис. 9. Структурна схема k-розрядного паралельного суматора Галуа

При використанні k -розрядних фрагментів дешифраторів (рис. 7 а) та однорозрядних суматорів (рис. 6 а) структура паралельного суматора k -розрядного паралельного суматора Галуа отримає вид (рис. 9).

Згідно виразів (6), (7) час затримки сигналів при виконання операції сумування в базисі Галуа на основі структури рис. 7 дорівнює:

$$T_{\Sigma G} = 5T_{ле} + kQ_{ле}, \tag{8}$$

де $Q_{ле} = \frac{T_{ле}}{4}$, оскільки дана затримка відповідає 4-м розрядам суматора, а при подвоєнні розрядності суматора в схему послідовно включається один додатковий елемент "виключаюче АБО", затримка сигналів

$5T_{ле}$, яка включає 3 послідовні елементи однорозрядного суматора Галуа та 2 елементи дешифратора.

Оцінка швидкодії суматорів в базисі Радемахера і Галуа розраховується за формулами:

$$V_{\Sigma R} = \frac{1}{3kT_{ле}}, V_{\Sigma G} = \frac{1}{5T_{ле} + kQ_{ле}}. \quad (9)$$

Звідки відносна оцінка швидкодії суматора в базисі Галуа в порівнянні з реалізацією суматора в базисі Радемахера розраховується згідно з виразом:

$$V = \frac{3kT_{ле}}{5T_{ле} + kQ_{ле}}. \quad (10)$$

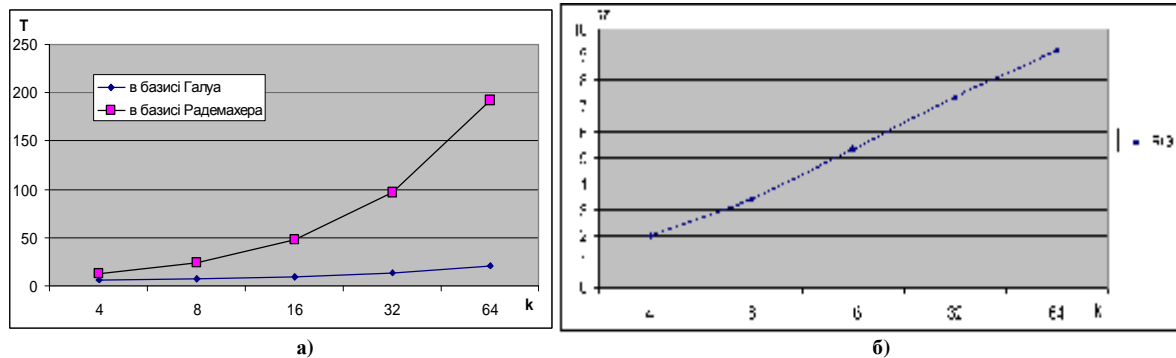


Рис. 10. Характеристики часу затримки паралельних суматорів в базисах Радемахера та Галуа (а) та відносна оцінка швидкодії суматора Галуа залежно від розрядності процесора (б)

Оскільки діапазон кодування чисел в суматорах Галуа не перевищує 2^k обов'язковою вимогою правильної роботи даного класу суматорів без переповнення розрядної сітки є умова $X_G + Y_G < 2^k$. З графіка (рис. 8, б) можна побачити, що при побудові процесорів з розрядністю $k=16-64$ швидкодія суматорів в базисі Галуа перевищує швидкодію суматорів в базисі Радемахера в 5–9 разів.

Висновок. Викладені теоретичні засади виконання операції сумування в базисах Радемахера і Галуа показують, що в базисі Галуа внаслідок відсутності міжрозрядних переносів зростає швидкодія процесорів в залежності від їх розрядності. Крім того суматори в базисі Галуа характеризуються регулярністю структури, що спрощує їх мікроелектронну реалізацію на базі програмованих логічних матриць. Звідси постає подальша перспектива проектування спецпроцесорів і його компонентів на основі вертикально-інформаційної технології.

Література

1. Николайчук Я.М. Теория джерел інформації / Николайчук Я.М. – Тернопіль : ТзОВ Терно-Граф. – 2010–534 с.
2. Николайчук Я.М. Дослідження архітектури комп'ютерів: принципи побудови процесорів на основі вертикально-інформаційної технології Поступ в науку / Я.М. Николайчук, П.В. Гуменний // Збірник наукових праць Бучацького інституту менеджменту і аудиту. – Бучач. – 2009. – № 5. – С. 69–73.
3. Палагин А.В. Реконфигурируемые структуры на ПЛИС / А.В. Палагин, В.Н. Опанасенко, В.Г. Сахарин // УсиМ. – 2000. – № 3. – С. 33–43.
4. Петришин Л.Б. Теоретичні основи перетворення форми та цифрової обробки інформації в базисі Галуа : [навч. посібник] / Петришин Л.Б. – К. : ІЗІМН МОУ, 1997. – 237 с.
5. Глушков В.М. Основы безбумажной информатики / Глушков В.М. – М. : Наука, 1987. – 552 с.
6. Акушский И.Я. Машинная арифметика в остаточных классах / И.Я. Акушский, Д.И. Юдицкий. – М. : Советское радио, 1968. – 440 с.
7. Тарасенко В.П., Основы компьютерной арифметики / В.П. Тарасенко В.И. Корнейчук. – К. : Вища школа, 2003. – С. 34–56.
8. Модулярные параллельные вычислительные структуры нейропроцессорных систем / Н.И. Червяков, С.А. Рядное, П.А. Сахнюк, А.В. Шапошников. – М. : ФИЗМАТ ЛИТ, 2003. – 288 с.
9. Мельник А.О. Архитектура комп'ютера / Мельник А.О. – Луцьк : Видавництво обласної друкарні 2008 р. – 468 с.
10. Угрюмов Е.П. Цифровая схмотехника / Угрюмов Е.П. – СПб. : БХВ – Санкт-Петербург, 2002. – 528 с.
11. Николайчук Я.М. Дослідження системних характеристик двомірних кодів з особливими кореляційними властивостями / Я.М. Николайчук, О.М. Заставний // Вісник технологічного університету Поділля, Хмельницький, 2004. – № 2. – Ч. 1. – Т 2. – С. 107–110.

Рецензент: д.т.н. Горбійчук М.І.
Надійшла 7.2.2012 р.

СТАТИСТИЧНА ОЦІНКА ДИНАМІЧНИХ СЦЕН НА ВІДЕОЗОБРАЖЕННЯХ В ТРАКТІ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ ОПТИКОЕЛЕКТРОННИХ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

В статті приведено результати дослідження, щодо вирішення статистичної задачі виявлення динамічних об'єктів на зображеннях в системах відеоспостереження за сигнальними ознаками. Отриманні співвідношення, дають змогу зробити висновок, що формування вирішального правила в таких системах має проводитись за іншими підходами ніж в радіотехнічних та оптичних системах локації.

The article includes the results of a study to address the statistical problem of identifying dynamic objects in images for video surveillance systems in signal characteristics. Getting value, allow to conclude that the formation of decision rule in such systems is carried out by other approaches than in the radio and optical systems of location.

Ключові слова: відеоспостереження, обробка, оптикоелектронні системи.

Прийом та обробка сигналів в системах відеоспостереження, як правило проводиться на фоні значного рівня завад, що маскують інформативні ознаки сигналів і в цілому спотворюють їхні параметри. А отже в процесі прийому необхідно вирішувати дві основні задачі: виявити сигнал і виміряти параметри корисних інформаційних складових в його об'ємі. Враховуючи особливості реалізації систем відеоспостереження, особливо в частині попередньої реєстрації і селекції сигналів, майже вся сукупність цих операцій виконується вже безпосередньо на етапі обробки прийнятої суміші сигналів. Сформулюємо завдання виявлення сигналу на фоні перешкод в такий спосіб – на заданому інтервалі часу (0; T) спостерігається напруга $u(t)$, яка може бути або перешкодою (корисний сигнал на вході приймача відсутній), або сумішшю сигналу $s(t)$ і завади $n(t)$. Оперуючи деякими апріорними даними про статистичні характеристики завади і суміші сигналу з завадою, за допомогою пристрою виявлення, необхідно вирішити, яка із двох зазначених ситуацій має місце.

Внаслідок випадкового характеру завади, а також можливих флуктуації параметрів корисного сигналу, розв'язок прийнятий виявлячем, може бути як правильним, так і помилковим. При цьому можливі наступні ситуації [2, 3]: а) сигнал на вході приймача є, і ухвалюється рішення «сигнал є» (ситуація A_{11}); б) сигнал на вході приймача є, але видається рішення «сигналу немає» (ситуація A_{10}); в) сигналу на вході приймача немає і ухвалюється рішення «сигналу немає» (ситуація A_{00}); г) сигналу на вході приймача немає, але видається рішення «сигналу» (ситуація A_{01}). Ситуації A_{11} і A_{00} характеризують прийняття правильних рішень, в той час як виникнення ситуацій A_{10} і A_{01} свідчить про прийняття неправильних рішень.

Якість роботи виявляча визначається саме ймовірністю вірного прийняття рішень, однак на практиці часто застосовується трохи інший підхід до оцінки якості приймання сигналу, вона заснована на визначенні середнього ризику \bar{r} . Кожній із зазначених ситуацій приписується певна величина – вартість наслідків, викликаних цієї ситуацією [3].

Нехай r_{11} – вартість правильного виявлення сигналу, r_{10} – вартість пропуску сигналу, r_{01} – вартість неправильного виявлення сигналу, r_{00} – вартість вірного невиявлення сигналу. Оскільки виникнення кожної із цих ситуацій є випадковою подією, то практичний інтерес представляє середня вартість рішення, що видається виявлячем (середній ризик):

$$\bar{r} = P(A_{11})r_{11} + P(A_{10})r_{10} + P(A_{01})r_{01} + P(A_{00})r_{00}, \quad (1)$$

де $P(A_{xx})$ – ймовірності відповідних ситуацій.

Вартості вірних рішень в даному випадку можна прийняти рівними нулю, тобто $r_{11} = r_{00} = 0$. У цьому випадку середній ризик визначається виразом

$$\bar{r} = P(A_{10})r_{10} + P(A_{01})r_{01} + P(A_{00})r_{00} \quad (2)$$

Нехай p – ймовірність наявності сигналу від стороннього об'єкту в суміші на вході приймача, тоді

$$P(A_{10}) = pP'_D, \quad P(A_{01}) = (1 - p)pP'_F, \quad (3)$$

де P'_D – ймовірність пропуску, P'_F – ймовірність неправильного виявлення сигналу.

В цьому випадку середній ризик буде визначатися виразом

$$\bar{r} = pP'_D + (1 - p)P'_F \quad (4)$$

Якщо величину P'_D замінити рівною їй величиною $1 - P_D$, де P_D – ймовірність правильного виявлення сигналу, то середній ризик можна записати у вигляді:

$$\bar{r} = pr_{10} - pr_{10}(P_D - \Lambda_0 P'_F), \quad (5)$$

де $\Lambda_0 = (1 - p)r_{01} / pr_{10}$.

Розглянуте завдання виявлення сигналу на фоні завад відповідає таким умовам, коли тривалість сигналу на вході приймача фіксована, тобто дослідження кожної окремої області простору проводиться протягом заздалегідь певного відрізка часу.

Можливий інший підхід до розв'язку поставленого завдання, при якому тривалість дослідження не задається заздалегідь, а визначається виявлячем виходячи з необхідної надійності прийнятих рішень. Даний метод є аналогічним методу послідовного спостерігача [2, 3].

Ефективність методу послідовного спостерігача визначається ймовірностями P_D і P_F , а також середньою тривалістю інтервалів спостереження T_I при наявності сигналу й T_0 при його відсутності.

Будь-який метод виявлення сигналу на фоні завад являє собою деяке правило $R\{u(t)\}$, відповідно до якого реалізація вхідної напруги $u(t)$ класифікується або як «сигнальна», що ототожнюється з наявністю сигналу, або як «несигнальна», що ототожнюється з його відсутністю.

Серед можливих методів виявлення особливий інтерес представляють так звані оптимальні методи, що задовольняють деяким вихідним вимогам критерію оптимальності. Найбільш загальним оптимальним методом є метод, що реалізує мінімум середнього ризику, однак у реальних умовах ймовірність появи сигналу p звичайно невідома, а визначення вартостей помилок p_{10}, p_{01} є складним завданням.

У зв'язку із цим при практичній реалізації систем спостереження, в якості критерію оптимальності, прийнято використовувати так званий критерій Неймана-Пірсона [2], що забезпечує максимальну ймовірність правильного виявлення цілі при фіксованій ймовірності неправильного виявлення. У випадку використання послідовного виявляча оптимальним є метод, що забезпечує мінімум середніх значень інтервалів спостереження T_0 і T_1 при заданих ймовірностях P_D і P_F . Оптимальна процедура аналізу сигналу при використанні послідовного виявляча виконується наступним чином. Якщо вхідна напруга задана сукупністю рівновіддалених відліків $U_m = (u_1, u_2, u_3, \dots, u_m)$ починаючи з $m = 1$, після надходження на вхід виявляча кожного чергового відліку напруги обчислюється відношення правдоподібності

$$\Lambda = W_1(U_m) / W_0(U_m), \quad (6)$$

де $W_1(U_m), W_0(U_m)$ – щільності ймовірності відліків U_m відповідно при наявності і відсутності сигналу. Для прийняття рішення вибираються два пороги A і B , причому $A > B$. Таким чином, можливі три випадки: 1) $A > \Lambda$ – ухвалюється рішення «сигнал є»; 2) $A < B$ – ухвалюється рішення «сигналу немає»; 3) $B < \Lambda < A$ – рішення не ухвалюється, а виконується наступний етап обробки – обчислюється $\Lambda(U_{m+1})$. Граничні величини A і B можуть бути приблизно визначені з наступних співвідношень:

$$A = P_D / P_F; \quad B \approx (1 - P_D) / (1 - P_F). \quad (7)$$

Досить повним показником якості виявлення є також середній час \bar{t}_1 невиявленого існування об'єкту при заданому середньому часі між неправильними виявленнями \bar{t}_0 .

Таким чином, при постановці завдання щодо виявлення об'єктів на відео зображенні, що перетворене за певним правилом, в послідовність дискретних відліків, в першу чергу, необхідно визначитись з правилом прийняття оптимальних рішень, ефективність якого буде визначатись повнотою апріорної інформації.

В умовах відеоспостереження, воно найчастіше ведеться в умовах, коли статистичні характеристики завад суміші сигналу з завадою відомі не повністю, а отже розглянуті методи можуть бути малоефективними.

Розглянемо можливі види апріорної невизначеності щодо розподілів $W_1(U_m), W_0(U_m)$. Типовим прикладом параметричної невизначеності є обстановка приймання сигналів на фоні гауссівського шуму невідомої потужності. Більшість запропонованих до теперішнього часу методів виявлення при не повністю відомих статистичних характеристиках сигналів і завад є евристичними. В умовах апріорної невизначеності особливу ефективність показали методи, засновані на критеріях непараметричної статистики і які забезпечують постійне значення ймовірності P_F . Подібні методи застосовні в умовах як параметричної, так і непараметричної невизначеності. Крім того, одним зі шляхів подолання апріорної невизначеності є використання принципу адаптації. Даний принцип ґрунтується на одержанні відомостей про розподіли $W_1(U_m), W_0(U_m)$ на етапі навчання, наприклад, на основі опорних реалізацій U_{0m} , про яких відомо, що вони є реалізаціями шуму.

Якщо апріорний розподіл ймовірностей часу появи об'єкту t_u невідомий, то в якості критерію оптимальності доцільно використовувати умову забезпечення мінімального значення \bar{t}_1 при фіксованому інтервалі \bar{t}_0 . При цьому допускається, що $t_u \gg \bar{t}_0$, тобто об'єкт з'являється у встановленому режимі огляду, коли відносно рідко, з середнім періодом \bar{t}_0 видаються неправильні сигнали про появу об'єкту.

Після кожного неправильного виявлення об'єкту пристрій обробки повертається в первісний стан, тобто в стан U_n аналізованої послідовності. Елементи послідовності U_n , взаємно незалежними величинами з розподілом ймовірностей $P_1(U_n), P_0(U_n)$ залежно від того, чи присутній об'єкт при n -му циклі огляду. Нехай $\{Z_n\}$ – множина «сигнальних» послідовностей Z_n довжиною n , з появою кожної з яких на вході виявляча ухвалюється рішення про присутність об'єкту. Якщо «сигнальні» послідовності визначені для всіх n , то цим самим визначене деяке вирішальне правило $R(Z_n)$. Таким чином, для оптимізації процесу

виявлення об'єкту необхідно для всіх значень n знайти такі «сигнальні» множини, при яких виконується умови оптимуму.

Розглянемо наступну подію: ціль з'являється в зоні спостереження між $(k-1)$ -м і k -м оглядами і виявляється в результаті надходження на вхід виявляча деякої послідовності $Z_n^x = \{Z_1^x, Z_2^x, \dots, Z_n^x\}$, яка входить в «сигнальну» множину $\{Z_n\}$. Ймовірність даної події при прийнятих припущеннях визначається за формулою:

$$P(k-1 < t_y < k, Z_n^x) = \frac{1}{\bar{n}_0} \prod_{i=1}^{k-1} P_0(Z_i^x) \prod_{i=1}^n P_1(Z_i^x), \quad k \leq n, \quad (8)$$

де \bar{n}_0 – середня кількість оглядів між суміжними неправильними виявленнями об'єкту. Якщо прийняти величину інтервалу між суміжними оглядами за одиницю часу, то $\bar{n}_0 = \bar{t}_0$.

Час невиявленого існування цілі за умови реалізації розглянутого події дорівнює $n - k + 0.5$, де інтервал 0,5 є середнім часом перебування об'єкту в зоні спостереження до моменту першого огляду. Середній час невиявленого існування об'єкту визначається виразом:

$$\bar{t}_1 = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{x=1}^{M_n} \sum_{k=1}^n (n - k + 0.5) P(k-1 < t_y < k) = \frac{1}{t_0} \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{x=1}^{M_n} \sum_{k=1}^n (n - k + 0.5) \prod_{i=1}^{k-1} P_0(Z_i^x) \prod_{i=1}^n P_1(Z_i^x), \quad (9)$$

де M_n – кількість різних «сигнальних» послідовностей, що входять у множину $\{Z_n\}$.

Нехай $Z_{n1} = (z_{11}, z_{21}, \dots, z_{n1})$ і $Z_{n2} = (z_{12}, z_{22}, \dots, z_{n2})$ – дві послідовності довжиною n для яких

$$\prod_{i=1}^n P_0(Z_{i1}) = \prod_{i=1}^n P_0(Z_{i2}), \quad (10)$$

Розглянемо два варіанти формування «сигнальних» множин $\{Z_n\}$, кожному з яких відповідає певний спосіб виявлення об'єкту. При першому способі послідовність Z_{n1} входить в «сигнальну» множину $\{Z_n\}$, а послідовність Z_{n2} є складовою частиною (початком) деякої сукупності Q «сигнальних» послідовностей більшої довжини. Другий спосіб відрізняється від першого тим, що зазначені послідовності міняються місцями, тобто Z_{n2} входить в «сигнальну» множину $\{Z_n\}$, а послідовність Z_{n1} є складовою частиною (початком) зазначеної вище сукупності Q «сигнальних» послідовностей більшої довжини, замінивши в них послідовність Z_{n2} .

Внаслідок останньої рівності (10) послідовності Z_{n1} , і Z_{n2} при відсутності об'єкту рівномірні. Тому при розглянутих способах виявлення, закони розподілу ймовірностей інтервалу t_0 однакові.

Використовуючи формулу (9) визначається різниця Δt_1 , між значеннями часу невиявленого існування об'єкту при першому і другому способах виявлення. При оцінці різниці Δt_1 слід врахувати, що складові правої частини виразу (10) які не містять послідовностей Z_{n1} і Z_{n2} мають однакові значення при обох способах виявлення. Крім того, однакові значення мають і доданки, які містять послідовності Z_{n1} і Z_{n2} , якщо ці доданки відповідають індексу $k > n$. Відповідно до останніх зауважень, різниця Δt_1 , визначається з виразу:

$$\begin{aligned} \Delta \bar{t}_1 = & \frac{1}{t_0} \left\{ \sum_{k=1}^n (n - k + 0.5) \prod_{i=1}^{k-1} P_0(Z_{i1}) \prod_{i=1}^{k-1} P_1(Z_{i1}) + \right. \\ & \left. + \sum_{m=n+1}^{\infty} \sum_{x^*=1}^{M_n} \sum_{k=1}^n (m - k + 0.5) \prod_{i=1}^{k-1} P_0(Z_{i1}) \prod_{i=1}^n P_1(Z_{i1}) \prod_{i=n+1}^m P_1(Z_i^{x^*}) \right\} - \\ & + \frac{1}{t_0} \left\{ \sum_{k=1}^n (n - k + 0.5) \prod_{i=1}^{k-1} P_0(Z_{i2}) \prod_{i=1}^{k-1} P_1(Z_{i2}) + \right. \\ & \left. + \sum_{m=n+1}^{\infty} \sum_{x^*=1}^{M_n} \sum_{k=1}^n (m - k + 0.5) \prod_{i=1}^{k-1} P_0(Z_{i2}) \prod_{i=1}^n P_1(Z_{i2}) \prod_{i=n+1}^m P_1(Z_i^{x^*}) \right\} \end{aligned} \quad (11)$$

де $Z_i^{x^*}$ – одна з послідовностей, що доповнюють послідовність Z_{n2} при першому і послідовність Z_{n1} при другому способах виявлення, до однієї з «сигнальних» послідовностей множини $\{Z_n\}$; M^* – кількість послідовностей Z^* при заданому значенні n .

У перших фігурних дужках останнього виразу приведено складові величини \bar{t}_1 , при першому способі виявлення, у других – при другому. Аналізуючи отриманий вираз, легко можна виявити, що $\Delta \bar{t}_1 < 0$ тільки тоді, коли послідовності Z_{n1} і Z_{n2} задовольняють умові:

$$\sum_{k=1}^n \prod_{i=k}^n \lambda(Z_{i1}) \geq \sum_{k=1}^n \prod_{i=k}^n \lambda(Z_{i2}), \quad (12)$$

А отже, використовуючи отриманий вираз, можна сформулювати правило формування «сигнальних» множин $\{Z_n\}$, $n = 1, 2, \dots$, при яких забезпечується мінімум \bar{t}_1 , при заданому розподілі ймовірностей $P(t_0)$ інтервалу t_0 між неправильними виявленнями об'єкту. При чому, це правило буде полягати в наступному: «сигнальна» множина $\{Z_n\}$ містить всі послідовності Z_n , що задовольняють умові:

$$\Lambda(Z_n) = \sum_{k=1}^n \prod_{i=k}^n \lambda(Z_{i1}) \geq C_n, \quad (13)$$

$P(t_0) = n$ де константа C_n вибирається таким чином, щоб ймовірність виконання умови (13) при відсутності об'єкту, дорівнювала заданому значенню ймовірності $P(t_0) = n$.

При фіксованому значенні ймовірності $P(t_0) = n$ будь-яка сигнальна множина, що не співпадає повністю із визначеною нерівністю (13) буде містити послідовності Z_n , при яких

$$\sum_{k=1}^n \prod_{i=k}^n \lambda(Z_{i1}) < C_n, \quad (14)$$

а це відповідно (12) призведе лише до збільшення \bar{t}_1 .

Таким чином, при розв'язанні задачі виявлення сторонніх об'єктів вага ймовірності пропуску сигналу в загальній ефективності алгоритму обробки сигналів значно вище ніж при вирішенні задач радіолокації чи в асинхронних системах передачі даних, оскільки період огляду в таких системах є не одновимірним. В результаті, при незначному коливанні значень середнього часу не виявлення \bar{t}_1 , границя між умовами (13) та (14) стає нечіткою і постає гостра необхідність зниження значення C_n , що в даних умовах є небажаним.

Література

1. Дэвид А. Компьютерное зрение. Современный подход / Дэвид А. ; [пер. с англ.]. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2004. – 928 с.
2. Ширман Я.Д. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех / Я.Д. Ширман, В.Н. Манжос. – М. : Радио и связь, 1981. – 416 с.
3. Купер Дж. Вероятностные методы анализа сигналов и систем / Дж. Купер, К. Макгиллем ; [пер. с англ.]. – М. : Мир, 1989. – 376 с.

Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.
Надійшла 6.2.2012 р.

УДК 621

Ю.П. КЛЬОЦ
Хмельницький національний університет

МЕТОД ІДЕНТИФІКАЦІЇ БУЛЬОК ПІНИ НА ЗОБРАЖЕННЯХ

В статті розглянуто відомі методи ідентифікації границь об'єктів на зображенні та запропоновано метод ідентифікації бульок на зображенні піни.

The paper considers the known methods of identifying the boundaries of objects in the image and presented the method of identifying bubbles in the image of foam.

Ключові слова: Канні, ідентифікація границь, ідентифікація бульок.

Вступ

Задачі аналізу піни виникають під час підбору компонентів спінених композицій. Розвиток хімічної промисловості, поява нових хімічних сполук сприяє широкому використанню спінених композицій. До них відносяться як рідкі композиції, що використовуються при хімічному чищенні тканин, формуванні піни при гасінні пожеж, так і затверділі композиції, спінений бетон, монтажна піна, різноманітні губки, дитячі іграшки.

Існує багато сполук, на основі яких можна створювати спінені композиції. Для підбору оптимальних параметрів піни необхідно досліджувати її характеристики: кількість бульок, їх діаметри, час, протягом якого піна зберігає свої властивості.

Для проведення аналізу за допомогою usb-камери з високою роздільною здатністю та мікроскопу через фіксовані проміжки часу піна фотографується. Зазвичай, отримані зображення аналізуються в ручному режимі. Досліджувані зразки містять велику кількість бульок, тому такий підхід до аналізу вимагає значних витрат часу, що значно сповільнює процес підбору композицій із заданими параметрами.

Постановка задачі

З огляду на складність ручного підрахунку бульок піни, низьку достовірність результату та значні часові витрати, що накладають обмеження на проведення досліджень, необхідно провести аналіз відомих методів визначення об'єктів на зображенні та розробити метод автоматичної ідентифікації бульок піни.

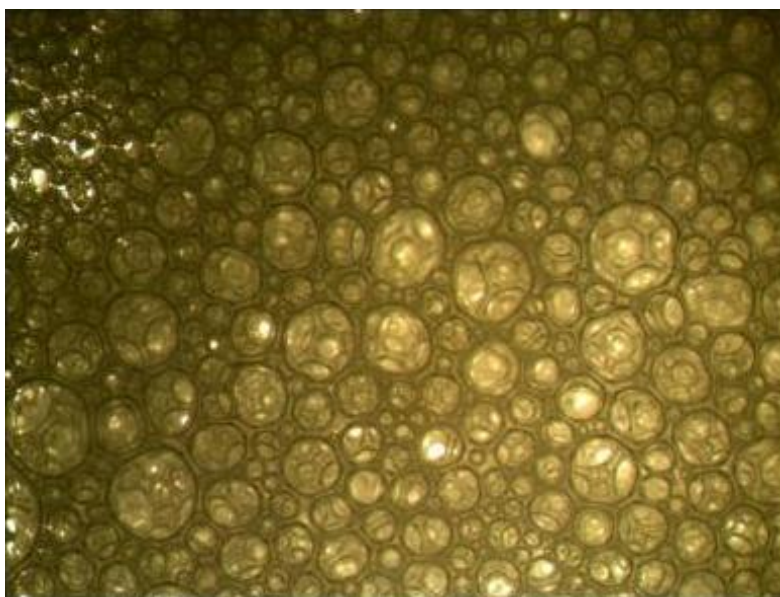


Рис. 1. Фотографія піни

Основна частина

З метою автоматичного отримання статистичних даних, що характеризують піну, представлену на рис. 1, необхідно провести ряд перетворень вхідних даних, що представлені у вигляді зображення піни.

Для вирішення задачі автоматичної ідентифікації бульок піни запропоновано підхід, послідовність етапів якого представлено на рис. 2.

Першим етапом є отримання кольорового зображення піни. Зображення отримується шляхом фотографування піни цифровою usb-камерою з високою роздільною здатністю, що змонтована в мікроскопі.

Другим етапом є масштабування зображення, котре проводиться з метою зменшення витрат апаратних ресурсів для подальшого аналізу фотографії і виключення з аналізу дрібних елементів, що не несуть корисної інформації. Коефіцієнт масштабування вибирається таким чином, щоб на кінцевій фотографії ширина межі бульки складала 2-3 пікселі. У випадку, якщо ширина межі бульки становитиме менше 2-х пікселів, то при подальшій обробці зображення такі бульки не буде опрацьовано. У випадку, якщо ширина межі бульки більша 3-х пікселів, то апаратний ресурс нерационально використовуватиметься.

Зазвичай масштабування зображень реалізовується засобами інтерполяції за сусідніми елементами, білінійної або бікубічної інтерполяції. Оскільки зображення зменшується, то для задачі ідентифікації бульок піни достатньо використовувати білінійну інтерполяцію.

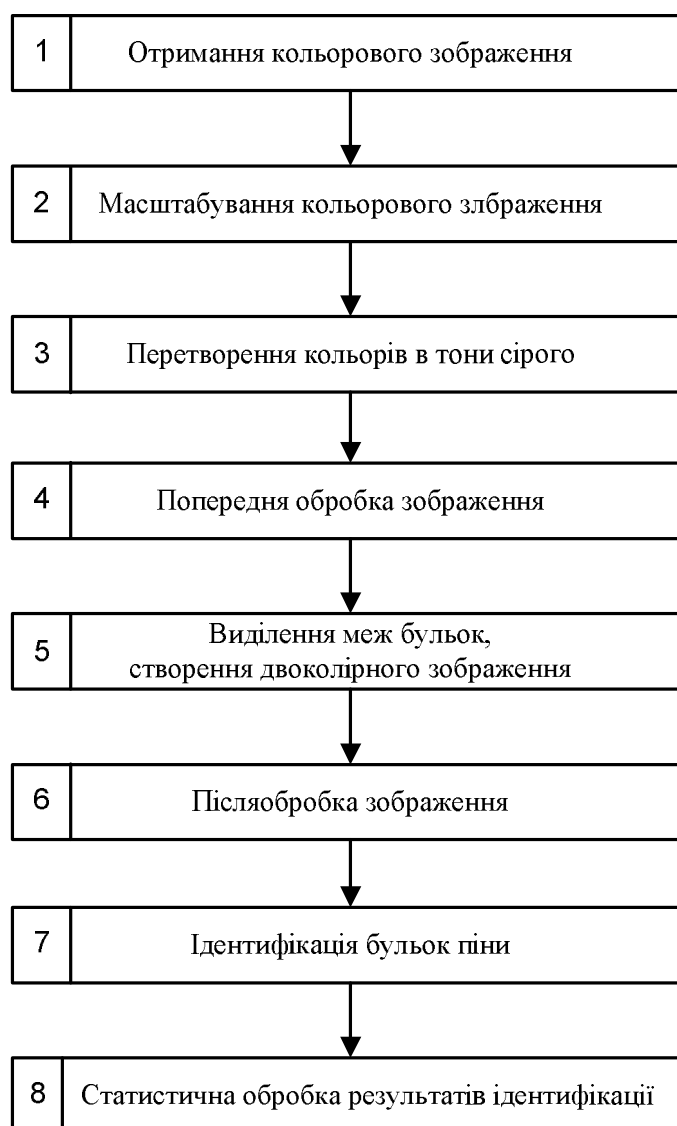


Рис. 2. Метод опрацювання зображень

Оскільки відомі методи ідентифікації меж об'єктів на зображенні ґрунтуються на аналізі фотографії в тонах сірого, то необхідно перетворити кольорове зображення бульок в напівтонове [1]. Для такого зображення можна використовувати методи ідентифікації меж об'єктів. Перетворення в тони сірого проводиться для кожного пікселя кольорового зображення. Значення інтенсивності пікселя напівтонового зображення визначається за формулою: $I_s = 0.2989 \times I_r + 0.5870 \times I_g + 0.1140 \times I_b$, де I_s, I_r, I_g, I_b – відповідно інтенсивність сірого пікселя та інтенсивності червоної, зеленої і синьої складових кольорового пікселя [2].

Для усунення впливу неоднорідного освітлення зображення доцільно виключити з нього загальний фон та підвищити його контрастність [3]. Виключення із зображення загального фону здійснюється в два етапи. На першому формується фонове зображення, а на другому від основного зображення, що представляється двовимірною матрицею, віднімається матриця фонового зображення. Значенням кожного пікселя фонового зображення є середнє арифметичне інтенсивності сусідніх пікселів. Кількість сусідніх пікселів обирається залежно від товщини меж бульок.

Вирівнювання контрасту проводиться за допомогою «розтягування» початкового діапазону яскравості до діапазону від мінімально можливої до максимально можливої яскравості.

Для виділення меж бульок піни можна використати один з класичних методів визначення границь об'єктів на зображенні [4]. До таких методів відносять фільтр Собеля, фільтр Превіта, фільтр Робертса, фільтр Лапласіан-Гауссіан та метод Канні.

Фільтр Собеля це дискретний диференціальний фільтр, що обчислює наближене значення градієнта чи норми градієнта для яскравості зображення. Фільтр Собеля базується на згортці зображення невеликими цілочисельними фільтрами в вертикальному та горизонтальному напрямках.

Фільтр Превіта – це метод виділення границь в обробці зображень, який обчислює максимальний відгук на множині ядер згортки для знаходження локальної орієнтації границі в кожному пікселі. Цей метод виділення границь також називається підстановкою шаблонів границь, оскільки зображення зіставляється набору шаблонів, і кожен представляє деяку орієнтацію границі. Величина і орієнтація границі в пікселі визначається шаблоном, котрий краще за інші відповідає локальному околу пікселя.

Фільтр Робертса – один з ранніх алгоритмів виділення границь, який обчислює суму квадратів різниць між діагонально суміжними пікселями. Це може бути виконано згорткою зображення з двома ядрами. Перетворення кожного пікселя фільтром Робертса може показати похідну зображення вздовж ненульових діагоналей, і комбінація цих перетворених зображень може також розглядатися як градієнт від двох верхніх пікселів до двох нижніх.

Фільтр Лапласіан-Гауссіан – аналог неперервного оператора Лапласа, що визначається як відношення на графі або дискретній сітці. Дискретний Лапласіан-Гауссіан визначається як сума других похідних і обчислюється як сума перепадів інтенсивності кольору на сусідах центрального пікселя.

Метод Канні – оператор виявлення границь, що використовує багатоступеневий алгоритм для виявлення широкого спектра границь на зображеннях. Алгоритм детектора границь Санпу не обмежується обчисленням градієнта зображення. У контурі границі залишаються лише точки максимуму градієнта зображення. Інформація про напрямок границі використовується для того, щоб видалити точки саме поряд із границею і не розривати саму границю у районі локальних максимумів градієнта.

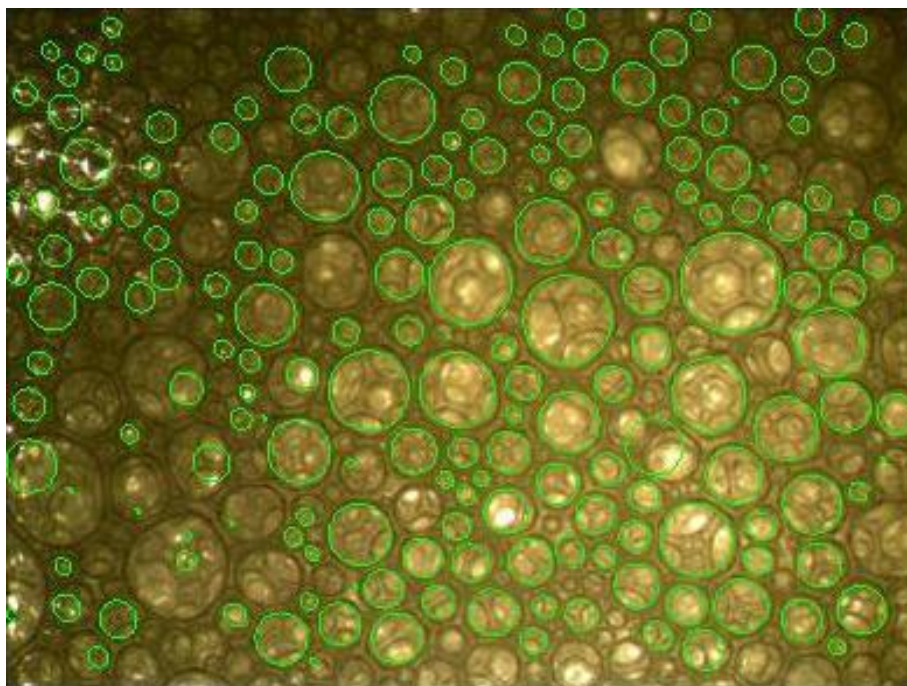


Рис. 3. Ідентифікація бульок піни за методом Канні

Отримані після фільтрації границі бульок піни можуть містити поодинокі розриви та хибно визначені лінії. Для усунення розривів в границях бульок здійснюється замикання границь шляхом послідовного виконання морфологічних операцій нарощування та ерозії [5]. Нарощування полягає в заміні значень пікселів фону, що межують з об'єктом на значення 1. Внаслідок цього до об'єкта додається шар товщиною в один піксель. Ерозія полягає в заміні значень пікселів границі об'єкта на значення нуль. Внаслідок виконання цієї операції видаляється шар границі товщиною в один піксель.

Видалення хибно визначених ліній здійснюється шляхом заповнення замкнених контурів бульок білим кольором та подальшим морфологічним перетворенням зображення шляхом накладання структурного елемента «хрест» розміром 3×3 пікселі. В результаті такої обробки із зображення зникнуть одиночні білі пікселі та лінії, що не утворюють замкнених фігур.

Після проведених перетворень на модифікованому зображенні залишаються об'єкти складної форми, що повторюють контури ідентифікованих бульбашок піни. Аналіз кожного білого об'єкта дозволяє виявити центр кожної бульки та її ефективний діаметр. Центри бульки визначається як центр маси білого об'єкта на фото, а ефективний діаметр – як діаметр круга, по площі рівного площі білого об'єкта.

Результат аналізу піни за допомогою методу Канні представлено на рис. 3.

Для визначення найбільш ефективного методу опрацюємо фотографію піни за кожним з них. Результати аналізу представимо в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати ідентифікації границь об'єктів за різними методами

№ п/п	Метод	Фактична кількість бульок N_f	Ідентифіковано бульок N_i	Не ідентифіковано бульок N_n	Хибно ідентифіковано бульок N_h	Коефіцієнт точності, K_t , %
1	Ручний підрахунок	224	224	0	0	100,00%
2	Фільтр Собеля	224	346	109	231	32,65%
3	Фільтр Превіта	224	277	183	236	32,18%
4	Фільтр Робертса	224	344	188	308	26,67%
5	Фільтр Лапласіан-Гауссіан	224	424	53	253	30,68%
6	Метод Канні	224	186	61	23	64,74%

Оцінку методів ідентифікації границь об'єктів проведемо шляхом визначення міри розбіжності (1).

$$K_t = \frac{N_f}{N_f + |N_f - N_i| + N_n + N_h}, \quad (1)$$

де K_t – коефіцієнт точності, характеризує якість роботи методу, N_f – фактична кількість бульок на фотографії, отримана в результаті еталонного ручного підрахунку, N_i – кількість бульок, ідентифікованих за допомогою відповідного методу визначення границь, N_n – кількість не ідентифікованих бульок (помилки першого роду), N_h – кількість хибно ідентифікованих бульок (помилки другого роду).

Максимізація значення коефіцієнту точності свідчить про кращі результати ідентифікації.

На основі даних таблиці 1 можна стверджувати, що найкращі результати з ідентифікації бульок показав метод Канні. Його результати на даному етапі дослідження є прийнятними для розв'язання задачі автоматизації отримання та опрацювання статистичної інформації, що характеризує піну та її поведінку в часі.

Проведемо аналіз, для чого розділимо діапазон допустимих радіусів бульок на 25 інтервалів, побудуємо гістограму розподілу радіусів бульок піни (рис. 4), та порівняємо її з гістограмою, отриманою в результаті еталонного ручного аналізу (рис. 5).

Для порівняння двох гістограм використаємо критерій Пірсона χ^2 :

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(x_i - y_i)^2}{y_i}, \quad (2)$$

де χ^2 – критерій Пірсона, x_i – кількість ідентифікованих бульок, що відповідають i -му інтервалу радіусів, y_i – фактична кількість бульок, що відповідають i -му інтервалу радіусів, k – кількість стовпців даних (інтервалів діапазону допустимих радіусів).

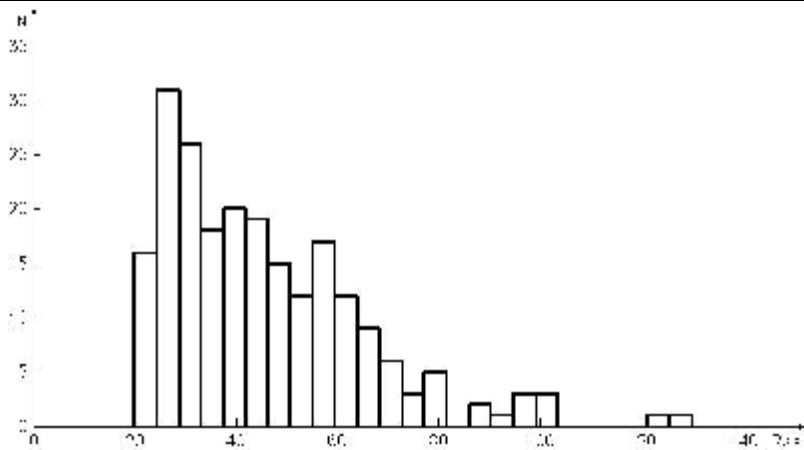


Рис. 4. Гістограма розподілу радіусів ідентифікованих бульок піни

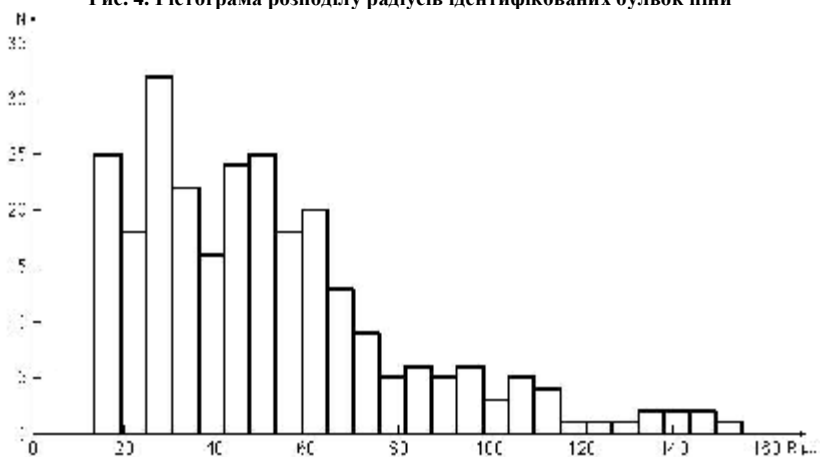


Рис. 5. Гістограма розподілу радіусів бульок піни

Розрахувавши S^2 з отриманих даних маємо $s^2 = 60.7$. Кількість степенів свободи, що визначається кількістю інтервалів діапазону допустимих радіусів, для отриманих гістограм складає 24.

Згідно таблиці критичних значень критерію s^2 при кількості степенів свободи $k = 24$ та критичному значенні критерію $\chi_{\text{крит}}^2 = 60.7$ рівень розбіжності теоретично розрахованого розподілу кількості та радіусів бульок піни фактичному розподілу складає 13,7%.

З отриманого результату можна зробити висновок, що похибка методу ідентифікації бульок піни на зображенні складає 13,7%.

Висновок

Аналіз методів виявлення границь об'єктів на зображеннях показав, що кращі результати дає метод Канні, який було обрано для реалізації методу ідентифікації бульок піни. Час роботи програмного забезпечення, що реалізує запропонований метод, складає 1–2 секунди і є прийнятним для забезпечення неперервного контролю стану піни.

Похибка методу ідентифікації бульок піни на зображенні складає 13,7%, що є достатнім на даному етапі досліджень.

В подальших дослідженнях необхідно підвищити достовірність отриманого результату.

Література

1. Haralick M., Shapiro L. Computer and Robot Vision. V. I. Addison-Wesley, 2007.
2. Grudland M., Dodgson N.A. The Decolorize Algorithm for Contrast Enhancing, Color to Grayscale Conversion. // Technical Report, No. 649, Computer Laboratory, Cambridge University, October 2005.
3. Parker B., James R. Algorithms for Image Processing and Computer Vision. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1997.
4. Прэрт У. Цифровая обработка изображений В 2 т. М: Мир, 1982.
5. Lam L, Lee S-W., Suen C. Y. Thinning Methodologies - A Comprehensive Survey // IEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. V. 14, № 9. 2002. P. 869–884.
6. Кендалл М., Стьюарт А. Статистические выводы и связи. – М. : Наука, 1973.

Рецензент: д.т.н. Поморова О.В.

Надійшла 14.2.2012 р.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПИТАНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОВІЗІЙНИХ ЗАСОБІВ СПОСТЕРЕЖЕННЯ В РІЗНИХ КЛІМАТИЧНИХ УМОВАХ

В статті проаналізовані особливості впливу атмосфери на розповсюдження інфрачервоного випромінювання, здатність виявлення об'єктів спостереження тепловізійною технікою, виділенні переваги та недоліки даних технічних засобів в конкретних умовах.

The article analyzes the features of atmospheric influence on the distribution of infrared radiation, the ability to detect objects of surveillance thermal imaging technology, the allocation of advantages and disadvantages of data of means in concrete terms.

Ключові слова: мобільні тепловізійні комплекси, об'єкти, інтенсивність.

З метою приведення системи охорони державного кордону України до європейських стандартів та забезпечення ефективної протидії сучасним загрозам національній безпеці на державному кордоні продовжується робота щодо удосконалення оперативно-службової діяльності прикордонних підрозділів. Аналіз діяльності прикордонних структур показує, що значимою компонентою прикордонної служби є технічне забезпечення охорони кордону з залученням всіх видів спостереження вздовж лінії державного кордону. Одним із способів підвищення надійності охорони державного кордону може бути удосконалення системи інженерно-технічного контролю з використанням приладів візуального спостереження. Так завдяки реалізації проекту технічної допомоги «BOMUK – Посилення прикордонного менеджменту: постачання спеціального обладнання для Державної прикордонної служби» отримані та використовуються мобільні тепловізійні комплекси (МТК) «Carl Zeiss», переносні тепловізори «Vario View», ELCAN Phantom IR, RUBY IR. Відповідно до зазначеного, дослідження питань застосування тепловізорів в охороні державного кордону та в інших системах безпеки з урахуванням різноманітних атмосферних явищ є актуальним.

Навіть якщо на тепловізорі використовується потужна оптика, дальність виявлення об'єктів буде залежати від таких атмосферних впливів, як вологість повітря, туман, дощ, снігопад, дим, смог. Наприклад в чистому повітрі арктичного походження як малої вологості та відсутності опадів дальність спостереження в інфрачервоній (ІЧ) частині спектру може досягати сотень кілометрів. Але за наявності в атмосфері високої вологості втрати ІЧ випромінювання вже є значними, а туман, дощ, сніг можуть сильно обмежити дальність дії тепловізора, і як наслідок виявлення людини на відстані в кілометр і більше буде неможливим або дуже малоймовірним.

Тепловізори, якими оснащені підрозділи охорони кордону, призначені для спостереження віддалених об'єктів, тому ІЧ випромінювання від об'єкта перед тим як потрапити до оптичної системи тепловізора проходить атмосферу, де воно ослаблюється. Ослаблення ІЧ випромінювання залежить від таких явищ: поглинання молекулами атмосферних газів, розсіювання на молекулах та частинках, що присутні в атмосфері, ослаблення за рахунок гідрометеорів (туман, дощ, сніг). Тобто при роботі тепловізорів необхідно враховувати всі три явища. При цьому поглинання і розсіювання випромінювання завжди має місце, тоді як ослаблення за рахунок гідрометеорів залежить від погодних умов.

Пропускання ІЧ випромінювання атмосферою характеризується: спектральним коефіцієнтом пропускання та спектральним коефіцієнтом ослаблення, що пов'язані між собою законом Бугера-Ламберта [1]:

$$t_A(I) = \exp[-K_A(I)d] \quad (1)$$

де $t_A(I)$ – спектральний коефіцієнт пропускання ІЧ випромінювання атмосферою; $K_A(I)$ – спектральний коефіцієнт ослаблення ІЧ випромінювання; d – дальність траси.

Спектральний коефіцієнт пропускання ІЧ випромінювання атмосферою визначається таким співвідношенням:

$$t_A(I) = t_m(I) \cdot t_s(I) \cdot t_{rs}(I) \quad (2)$$

де $t_m(I)$ – спектральний коефіцієнт пропускання, що зумовлений поглинанням; $t_s(I)$ – спектральний коефіцієнт пропускання, що зумовлений розсіюванням; $t_{rs}(I)$ – спектральний коефіцієнт пропускання, що зумовлений гідрометеорами.

Смуги пропускання водяного пару з центром 6,3 мкм; вуглекислого газу з центрами 2,7 та 15 мкм обмежують пропускання ІЧ випромінювання атмосферою в діапазоні довжин хвиль 2–20 мкм та визначають положення двох «вікон» прозорості 3,5–5 мкм та 8–14 мкм [3].

На практиці наявність «вікон» прозорості означає, що всі тепловізори працюють в цих діапазонах. «Вікно» прозорості 8–14 мкм відіграє дуже велику роль у теплобаченні оскільки воно співпадає з максимумом спектральної енергетичної світності тіл, нагрітих до природних температур. Тепловізори не охолоджуваного типу «Vario View», ELCAN Phantom IR, RUBY IR працюють саме в цьому діапазоні, а МТК «Carl Zeiss» працює в діапазоні 3,5–5 мкм та 8–12 мкм. В тепловізорах з охолоджуваною термочутливою матрицею відбувається реєстрація ІЧ випромінювання чутливим елементом, наприклад ртутно-кадмієвим

телуридом, за рахунок зовнішнього фотоефекту, а в тепловізорах з не охолоджуваною матрицею чутливим елементом є мікроболометр, що реєструє ІЧ випромінювання за допомогою внутрішнього фотоефекту. Основними перевагами тепловізора охолоджуваного типу, що впливають на дальність виявлення є кращі розрізняюча здатність та температурна чутливість. Сукупність цих переваг дає наступну – кращу якість тепловізійного зображення. Спектральний коефіцієнт пропускання, що зумовлений поглинанням знаходиться за формулою:

$$t_m(I) = t_{H_2O} \cdot t_{CO_2} \quad (3)$$

де $t_{H_2O}(I)$ – коефіцієнт пропускання парів води; $t_{CO_2}(I)$ – коефіцієнт пропускання вуглекислого газу.

Методика визначення t_{H_2O} та t_{CO_2} докладно зазначена в [4]. Коефіцієнт пропускання парів води знаходиться за таблицею згідно спектрального діапазону та кількості осадженої води в атмосфері. Коефіцієнт пропускання вуглекислого газу знаходиться за таблицею згідно спектрального діапазону та довжини траси. При розрахунках спектральних коефіцієнтів пропускання або ослаблення коли довжина траси не відома її значення береться за 1 кілометр.

Таблиця 1

Характеристика метеорологічної видимості

Кодовий номер	Характеристика видимості	Метеорологічна видимість, d_v , км	Умови спостереження
0	Дуже погана	менше 0,05	Дуже сильний туман
1		0,05–0,2	Сильний туман, густий сніг
2		0,2–0,5	Помірний туман, сильний сніг
3	Погана	0,5–1	Слабкий туман, помірний сніг
4		1–2	Дуже сильний дощ або помірний сніг
5	Середня	2–4	Сильний дощ, слабка димка або сніг
6		4–10	Помірний дощ, дуже слабкий сніг
7	Добра	10–20	Без опадів, слабкий дощ
8	Дуже добра	20–50	Без опадів
9	Виняткова	більше 50	Дуже чисте повітря

За законом Бугера-Ламберта спектральний коефіцієнт пропускання ІЧ випромінювання, що зумовлений розсіюванням знаходиться за формулою:

$$t_s(I) = \exp[-K_s(I)d] \quad (4)$$

де $K_s(I)$ – спектральний коефіцієнт ослаблення ІЧ випромінювання за рахунок розсіювання; d – дальність траси.

В свою чергу спектральний коефіцієнт ослаблення ІЧ випромінювання за рахунок розсіювання залежить від метеорологічної видимості. Характеристики метеорологічної видимості атмосфери зазначені в таблиці 1 [4].

Спектральний коефіцієнт ослаблення ІЧ випромінювання за рахунок розсіювання знаходиться за формулою:

$$K_s(I) = \frac{3,91}{d_v} \cdot \left(\frac{0,55}{I}\right)^{1,3} \quad (5)$$

де d_v – метеорологічна видимість; I – довжина хвилі ІЧ випромінювання.

Спектральний коефіцієнт пропускання ІЧ випромінювання, що зумовлений гідрометеорами аналогічно може бути знайдений за законом Бугера-Ламберта:

$$t_{rs}(I) = \exp[-K_{rs}(I)d] \quad (6)$$

де $K_{rs}(I)$ – спектральний коефіцієнт ослаблення ІЧ випромінювання за рахунок гідрометеорів.

При крапельному тумані коефіцієнт ослаблення наближено може бути розрахований за формулою (5). При наявності дощу коефіцієнт послаблення знаходиться за формулою:

$$K_{rs}(I) = 0,66 \cdot I_r^{0,66} \quad (7)$$

При наявності снігу коефіцієнт послаблення знаходиться за формулою:

$$K_{rs}(I) = 6,5 \cdot I_{sn}^{0,7} \quad (8)$$

де I_r – інтенсивність випадання дощу; I_{sn} – інтенсивність випадання снігу.

Значення інтенсивностей випадання дощу та снігу зазначено в таблиці 2.

Характеристики інтенсивності опадів

Погодні умови	Середня швидкість випадання осадків, мм/год.
Слабкий дощ	1,0
Помірний дощ	3,0
Сильний дощ	16,0
Дуже сильний дощ	40,0
Тропічна злива	100,0
Слабкий снігопад	2,5
Помірний снігопад	7,0
Сильний снігопад	20,0

Спектральний коефіцієнт ослаблення ІЧ випромінювання знаходиться з формули (1) та дорівнює:

$$K_A(I) = -\frac{1}{d} \cdot \ln[t_A(I)] \quad (9)$$

Максимальну дальність дії тепловізійної системи з урахуванням різноманітних атмосферних впливів можна знайти при вирішенні наступного рівняння ітераційними методами [1].

$$d_n^2 \cdot \exp[K_A(I)d_n] = \frac{T_r^2 \cdot [M_1(T_o) - M_1(T_f)] \cdot I d I}{NETD \cdot C_2 \cdot \int M_1(T_r) dI} \quad (10)$$

де d_n – максимальна дальність дії тепловізору; $K_A(I)$ – спектральний коефіцієнт ослаблення ІЧ випромінювання; $NETD$ – температурна чутливість тепловізору; C_2 – коефіцієнт з формули Планка; T_r – температура при якій розраховувалась температурна чутливість тепловізору; $M_1(T_o)$ – енергетична світність об'єкту спостереження; $M_1(T_f)$ – енергетична світність фону; $M_1(T_r)$ – енергетична світність середовища в якій розраховувалась температурна чутливість тепловізору, I – довжина хвилі інфрачервоного випромінювання об'єкту.

Методика знаходження значень інтегралів для спектрального діапазону, в якому працює тепловізор зазначена в [3].

В результаті проведеного дослідження очевидним є те, що дальність дії тепловізійної техніки залежить від атмосферних впливів, чим вони більш суттєві, то більше значення має коефіцієнт ослаблення ІЧ випромінювання і відповідно менша дальність дії тепловізору. Крім того більшу дальність дії буде мати той тепловізор, у якого менше значення температурної чутливості.

Література

1. Колобородов В.Г. Тепловізійні системи (фізичні основи, методи проектування і контролю, застосування) : [підручник] / В.Г. Колобородов, Н. Шустер. – К. : 1999 – 340 с.
2. Физика и техника инфракрасного излучения / [Дж.Э. Джемирсон, Р.Х. Мак-Фи, Дж.Н. Пласс та ін.]. – М. : Советское радио, 1965 – 642 с.
3. Криксунов Л.З. Справочник по основам инфракрасной техники / Криксунов Л.З. – М. : Сов. Радио, 1978. – 400 с.
4. Лойд Дж. Системы тепловидения / Лойд Дж. – М. : Мир, 1978 – 414 с.
5. Криксунов Л.З. Тепловизоры : [справочник] / Л.З. Криксунов, Г.А. Падалко. – К. : Техника, 1987. – 166 с.
6. Тарасов В.В. Инфракрасные системы «смотрящего» типа / В.В. Тарасов, Ю.Г. Якушенков. – М. : Логос, 2004. – 444 с.
7. Никитин С.Н. Выбор тепловизионного оборудования / Никитин С.Н. – 2011. – № 5.
8. Царьов Ю.О. Засоби візуального спостереження охорони державного кордону : [навчальний посібник] / Ю.О. Царьов, Д.А. Купрієнко. – Хмельницький : Вид-во Національної академії ДПСУ, 2010. – 164 с.
9. Инструкция по эксплуатации. Патрульная машина наблюдения «Carl Zeiss».
10. Мобильная тепловизионная система VarioView™150. Руководство по эксплуатации.

Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.
Надійшла 14.2.2012 р.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ НАСТРОЮВАННЯ СКЛАДНОЇ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ ТЕХНІКИ ТА ЇЇ СКЛАДОВИХ ЧАСТИН ПРИ ПРОВЕДЕННІ РЕМОНТУ У РЕМОНТНОМУ ОРГАНІ

В статті запропонована розроблена математична модель настроювання складної радіоелектронної техніки та її складових частин при проведенні ремонту в ремонтному органі. Модель дозволяє формалізувати процес настроювання складної радіоелектронної техніки та її складових частин враховуючи його особливості виконання у ремонтному органі в умовах впливу факторів, які знецінюють роботу.

In the article the offered is developed mathematical model of tuning and test of difficult radio electronic technique and its component parts during the leadthrough of repair in a repair organ. A model allows to formalize the process of tuning and test of difficult radio electronic technique and its component parts, taking into account him the feature of implementation in a repair organ in the conditions of influence of factors which cheapen work.

Ключові слова: складна радіоелектронна техніка, складові частини настроювання, ремонтний орган, ремонт.

Вступ

Виконання настроювання складної радіоелектронної техніки (РЕТ) та її складових частин (СЧ) при проведенні ремонту вирішується за допомогою ремонтних органів (РО). Час настроювання складної РЕТ та її СЧ у значній мірі залежить від низки факторів: характеристик і можливостей спеціального обладнання і устаткування та його готовності, від рівня підготовки та кваліфікації ремонтного персоналу, особливостей функціонування РО. Доведено, що вплив перелічених факторів носить ймовірнісний характер [1–3].

Аналіз показав, що процесу настроювання складної радіоелектронної техніки та її складових частин властиві великі часові втрати корисного часу, які дуже часто перевищують припустимі нормативні показники та в кінцевому разі можуть призводити до зриву вчасного виконання ремонту в цілому.

Це обумовлено недосконалістю процесу проведення настроювання та необхідністю врахування вказаних факторів та їх ймовірнісного впливу на процес настроювання складної РЕТ та її СЧ при його математичному описі. Існуючі математичні моделі процесу ремонту [4–6] не в повній мірі враховують їх ймовірнісний вплив та не можуть бути прийнятними для опису виконання настроювання складної РЕТ та її СЧ у РО.

Отже *метою статті* є розробка відповідної математичної моделі настроювання складної РЕТ та її СЧ при проведенні ремонту у РО яка враховує ймовірнісний вплив вказаних факторів на виконання настроювання з метою їх кількісної та якісної оцінки яка дозволить більш обґрунтовано підходити до виконання підвищити ефективність як настроювання так і ремонту складної РЕТ у цілому.

Постановка задачі дослідження. Для цього розробимо відповідну математичну модель настроювання складної РЕТ та її СЧ при проведенні ремонту у РО.

Процес виконання настроювання складної РЕТ та її СЧ при проведенні ремонту у РО представимо у вигляді відновлюваної системи з часовою надмірністю [2]. Для виконання завдання з настроювання надається понад мінімального необхідного (основного) часу $t_{3н}$ ще й резервний час $t_{рн}$, так що припустимий час $t_{н} = t_{3н} + t_{рн}$. Виходячи з нормативних документів припустимий час виконання настроювання $t_{н}$ – відома, детермінована, постійна величина. При виконанні настроювання, тривалість якого в ідеальних умовах – $t_{3н}$, можлива поява затримок. Затримки при виконанні настроювання складної РЕТ та її СЧ виникають по причині збоїв та неготовності спеціального оснащення і устаткування, дефектів і невідповідності параметрів відремонтованої складної РЕТ і її СЧ нормативно-технічній та (або) конструкторській документації, недотримання або порушення технічних умов і вказівок щодо виконання настроювання, помилками ремонтно-експлуатаційного персоналу.

Зазначимо, що в цьому випадку вплив фактора, який викликає затримку при виконанні настроювання буде носити ймовірнісний характер, та створювати умови, які можуть привести до простоїв, пов'язаних з повторенням операцій настроювання складної РЕТ та її СЧ, яка виконана раніше. Порядок проведення операцій настроювання передбачає комплексне виконання всього переліку робіт відповідно до нормативних документів. Невиконання будь-якої операції буде спричиняти затримку та викликати знецінювання всієї виконаної раніше роботи та повторення настроювання складної РЕТ та її СЧ спочатку. Тоді наробіток між затримками при настроюванні $t_{0н}$ і час поновлення настроювання $t_{Вн}$ при впливі фактору i -го типу – взаємно незалежні ВВ із відомими або заданими ФР $F_{н}(t)$ та $F_{Вн}(t)$, що мають кінцеві МОЧ. Щодо продовження виконання настроювання після поновлення приймемо наступні припущення: у момент закінчення поновлення настроювання складної радіоелектронної техніки з імовірністю p_i ($0 \leq p_i \leq 1$) триває з урахуванням попередніх операцій або з імовірністю $1 - p_i$ починається із самого початку Резерв часу при цьому витрачається не тільки на поновлення настроювання складної РЕТ та її СЧ, але і на повторення знецінених операцій.

Настроювання вважається виконаним, якщо протягом часу t_{3H} у процесі виконання не буде виникати затримок або сумарний час простою при поновленні настроювання $t_{ПРН}$ виявиться меншим резервного часу $t_{РН}$, і настроювання буде проходити без затримок після поновлення протягом часу t_{3H} . Внаслідок виникнення затримок реальний час виконання настроювання стає ВВ $t_{В3H}$ із невідомою ФР.

В якості показника за яким буде оцінюватися якість виконання настроювання обрано ймовірність виконання настроювання за припустимий час $t_H \geq t_{3H}$ при її одноетапному виконанні, а також математичне сподівання реального часу виконання настроювання $t_{В3H}$.

Основна частина. Перейдемо до знаходження ФР $P\{t_{В3H} < t_H\}$ часу $t_{В3H}$ першого досягнення процесом $Z(t)$ фіксованого рівня $t_{В3H}$, що при заданих значеннях t_{3H} і t_H визначає шукану ймовірність виконання настроювання за припустимий час $t_H \geq t_{3H}$ $P_H = P(t_{3H}, t_H) = P\{t_{В3H} < t_H\}$.

З огляду на те, що час виконання настроювання $t_{В3H}$ пов'язаний із сумарним часом $t_{ПРН}$ простою на відновленні (затримці виконання настроювання РЕТ) очевидною рівністю $t_{В3H} = t_{3H} + t_{ПРН}$, представимо ймовірність виконання настроювання за припустимий час, як ймовірність $P(t_{3H}, t_{РН})$ того, що сумарний час простою $t_{ПРН}$ менше виділеного резерву часу $t_{РН} = t_H - t_{3H}$, тобто

$$P_H = P(t_{3H}, t_{РН}) = P\{t_{ПРН} < t_{РН}\}.$$

Отже, припустимо, що в ході виконання настроювання складної РЕТ та її СЧ виникають затримки, збої N типів $i = \overline{1, N}$, а наробіток між затримками при виконанні настроювання складної складної РЕТ та її

СЧ i -го типу розподілений за експоненціальним законом з параметром I_{Hi} , $I_H = \sum_{i \geq 1} I_{Hi}$, тобто для спрощення прийmemo $F_{Hi}(t) = 1 - \exp(-I_{Hi}t)$, $t > 0$, $p_i \neq 0$, ФР часу поновлення $F_{ВHi}(t)$. [1, 2, 3]. Введемо кілька позначень, необхідних надалі. Нехай є ряд невід'ємних чисел $C_i \geq 0$ таких, що $\sum_i C_i = 1$

($i \geq 1$), і послідовність ВВ q із ФР $A_i(t)$ ($i \geq 1$). Тоді під

$$\begin{cases} q_1 \text{ з ймовірністю } C_1 \\ q_2 \text{ з ймовірністю } C_1 \\ \dots \\ q_i \text{ з ймовірністю } C_i \end{cases} \quad (1)$$

будемо розуміти ВВ z із ФР

$$A_0(t) = P\{z < t\} = \sum_i C_i A_i(t), \quad i \geq 1. \quad (2)$$

У роботі [3] показано, що функціонування такої системи при виконанні робіт на j -му етапі може бути описано однорідним марковським процесом. Використовуючи це з врахуванням прийнятих вихідних передумов, а також вирази (1), (2) і формулу повної ймовірності, запишемо наступне стохастичне співвідношення:

$$t_{В3H}(x) = \Delta t + \begin{cases} t_{В3H}(x + \Delta t) \text{ з ймовірністю } (1 - I_H \Delta t) + O(\Delta t), \\ t_{В3H}(x) + t_{ВH} \text{ з ймовірністю } \sum_{i=1}^N p_i I_{Hi} \Delta t + O(\Delta t), \\ t_{В3H}(0) + t_{ВH} \text{ з ймовірністю } \sum_{i=1}^N (1 - p_i) I_{Hi} \Delta t + O(\Delta t), \end{cases} \quad (3)$$

де $t_{В3H}(x)$ – час виконання настроювання за умови, що у момент початку розгляду настроювання процес вже виконувався протягом часу x ($x \geq 0$);

$t_{В3H}(0) = t_{В3H}$ – час виконання операцій настроювання за умови, що $x = 0$;

$O(\Delta t)$ – величина другого порядку малості у порівнянні у Δt

Позначаючи

$$f(S, x) = M \exp(-St_{В3H}(x)), \quad f(S) = M \exp(-St_{В3H}),$$

і переходячи в (3) до перетворення Лапласа – Стілтьєса, одержуємо

$$f(S, x) = (1 - S\Delta t)\{f(S, x + \Delta t)(1 - I\Delta t) + f(S, x)\Delta t p I P_{\text{Вн}}^{\%}(S) + f(S)\Delta t(1 - p)I P_{\text{Вн}}^{\%}(S) + O(\Delta t)\}.$$

Звідки після нескладних перетворень приходимо до диференціального рівняння:

$$\frac{df(S, x)}{dx} = f(S, x)R(S) - f(S)W(S), \tag{4}$$

де

$$R(S) = S + I_{\text{н}} - \sum_{i \geq 1} p_i I_{\text{н}i} P_{\text{Вн}i}^{\%}(S), \tag{5}$$

$$W(S) = \sum_{i \geq 1} (1 - p_i) I_{\text{н}i} P_{\text{Вн}i}^{\%}(S), \tag{6}$$

$$P_{\text{Вн}i}^{\%}(S) = \int_0^{\infty} \exp(-St) dF_{\text{Вн}i}(t), \tag{7}$$

Застосовуючи метод варіації постійних [7] і враховуючи, що $f(S, t_{3\text{н}}) \equiv 1$, з (4) одержуємо співвідношення:

$$f(S, x) = \exp[R(x)(x - t_{3\text{н}})] + f(S)[1 - \exp(R(S)(x - t_{3\text{н}}))]W(S) / R(S),$$

з якого, вважаючи $x = 0$ й $f(S, 0) = f(S)$, знаходимо перетворення Лапласа – Стілтєса $f(S)$ ФР $P_1(t_{3\text{н}}, t_{\text{н}})$ ВВ $t_{3\text{н}}$ часу виконання настроювання за припустимий час у наступному виді:

$$f(S) = \exp[-(t_{3\text{н}})R(S)] \left\{ 1 - \frac{W(S)}{R(S)} [1 - \exp(-(t_{3\text{н}})R(S))] \right\}^{-1}. \tag{8}$$

У випадку, коли час поновлення настроювання складної РЕТ та її СЧ $t_{\text{Вн}i}$ після затримки при виконанні настроювання i -го типу розподілено за експоненціальним законом з параметром $m_{\text{н}i}$ одержимо:

$$P_{\text{Вн}i}^{\%}(S) = \frac{m_{\text{н}i}}{m_{\text{н}i} + S}, \tag{9}$$

Враховуючи (5), (6), (9) формула (8) приймає вигляд:

$$f(S) = \frac{\left[S + I_{\text{н}} - \sum_{i \geq 1} \frac{p_i I_{\text{н}i} m_{\text{н}i}}{m_{\text{н}i} + S} \right] \exp \left\{ -t_{3\text{н}} \left[S + I_{\text{н}} - \sum_{i \geq 1} \frac{p_i I_{\text{н}i} m_{\text{н}i}}{S + m_{\text{н}i}} \right] \right\}}{S + I_{\text{н}} - \sum_{i \geq 1} \frac{p_i I_{\text{н}i} m_{\text{н}i}}{S + m_{\text{н}i}} - \sum_{i \geq 1} \frac{(1 - p_i) I_{\text{н}i} m_{\text{н}i}}{S + m_{\text{н}i}} \left(1 - \exp \left\{ -t_{3\text{н}} \left[S + I_{\text{н}} - \sum_{i \geq 1} \frac{p_i I_{\text{н}i} m_{\text{н}i}}{S + m_{\text{н}i}} \right] \right\} \right)} \right)}. \tag{10}$$

Розкладаючи (10) у ряд за степенями експоненти і переходячи до оригіналу, можна одержати формулу для ймовірності виконання настроювання складної РЕТ та її СЧ за припустимий час – $P_{\text{д}}(t_{\text{д}})$, у явному вигляді. Однак ця формула дуже громіздка і тут не наводиться. Одержимо відносно простий та зручний для розрахунків вираз, що викликає інтерес в інженерній практиці. Допустимо, час поновлення виконання настроювання складної радіоелектронної техніки настільки малий порівняно з мінімально необхідним часом $t_{3\text{н}}$ для виконання настроювання, що ним можна практично знехтувати. У цьому випадку у виразах (5) і (6) варто підставити $P_{\text{Вн}}^{\%}(S) \equiv 1, i > 0$, і формули (8) і (9) помітно спростяться:

$$f(S) = \frac{(S + a) \exp[-t_{3\text{н}}(S + a)]}{S + a \exp[-t_{3\text{н}}(S + a)]}, \quad a = I_{\text{н}} - \sum_{i \geq 1} p_i I_{\text{н}i}. \tag{11}$$

Розкладаючи (11) за ступенями експоненти і виконуючи зворотне перетворення, знаходимо формулу для $P_{\text{н}} = P(t_{3\text{н}}, t_{\text{н}}) = P\{t_{3\text{н}} < t_{\text{н}}\}$ ймовірності виконання настроювання за припустимий час

$$P(t_{3\text{н}}, t_{\text{н}}) = \sum_{i=0}^{\lfloor t_{\text{н}}/t_{3\text{н}} \rfloor - 1} (-1)^i e^{-(i+1)at_{3\text{н}}} \frac{a^i}{i!} [t_{\text{н}} - (i+1)t_{3\text{н}}]^i \times, \tag{12}$$

$$+ \{1 + a[t_{\text{н}} - (i+1)t_{3\text{н}}] / (i+1)\}, \quad 0 \leq p_i \leq 1.$$

де запис $\lfloor t_{\text{н}} / t_{3\text{н}} \rfloor$ означає операцію округлення частки $t_{\text{н}} / t_{3\text{н}}$ до цілого (меншого) числа.

При одному типі $i = 1$ затримок, що знецінюють, при виконанні настроювання складної РЕТ та її СЧ при проведенні ремонту у РО вираз для ймовірності виконання настроювання за припустимий $t_{\text{н}}$ час (3.13) набуде вигляду:

$$P(t_{3H}, t_H) = \sum_{i=0}^{\lfloor t_H/t_{3H} \rfloor - 1} (-1)^i e^{-(i+1)(1-p)I_H t_{3H}} \frac{[(1-p)I_H]^i}{i!} \times \\ \times [t_H - (i+1)t_{3H}]^i \{1 + (1-p)I_H [t_H - (i+1)t_{3H}] / (i+1)\}, \quad 0 \leq p \leq 1.$$

Використовуючи співвідношення:

$$\bar{t}_{B3H} = f'(S)|_{S=0},$$

і формулу (10), знайдемо МОЧ \bar{t}_{B3H} часу виконання настроювання.

Зокрема, для середнього часу виконання настроювання при затримках, що знецінюють, і одноетапному виконанні одержуємо наступну формулу для \bar{t}_{B3H} :

$$\bar{t}_{B3H} = \frac{1}{a} \left\{ 1 + \sum_{i \geq 1} I_{Hi} \bar{t}_{BHi} - e^{-at_{3H}} \left[\sum_{i \geq 1} I_{Hi} \bar{t}_{BHi} (1-p_i) + at_{3H} \left(1 + \sum_{i \geq 1} I_{Hi} p_i \bar{t}_{BHi} \right) \right] \right\} - \\ - \left(1 + \sum_{i \geq 1} I_{Hi} p_i \bar{t}_{BHi} \right) (1 - I t_{3H}) e^{-at_{3H}}, \quad 0 \leq p_i \leq 1 \quad (13)$$

При одному типі $i=1$ затримок, що знецінюють, у виконанні настроювання вираз для середнього часу виконання настроювання складної РЕТ та її СЧ при проведенні ремонту у РО (13) набуде вигляду:

$$\bar{t}_{B3H} = \frac{1}{I_H(1-p)} (1 + I_H \bar{t}_{BH}) (e^{I_H t_{3H} (1-p)} - 1), \quad 0 \leq p \leq 1, \quad (14)$$

Для випадку, коли час поновлення настроювання дуже малий порівняно з мінімальним часом виконання настроювання і ним можна практично знехтувати, формула (14) помітно спрощується

$$\bar{t}_{B3H} = \frac{1}{a} (e^{t_{3H} a} - 1),$$

Висновки. Таким чином, розроблено математичну модель настроювання складної РЕТ та її СЧ при проведенні ремонту у РО і одержано аналітичні вирази в явному вигляді для обраних показників ефективності виконання настроювання: ймовірності виконання настроювання за припустимий час t_H та середнього часу виконання настроювання \bar{t}_{B3H} . Математична модель дозволяє формалізувати процес настроювання складної РЕТ та її СЧ при проведенні ремонту у РО в умовах ймовірнісного впливу факторів, які можуть знецінюють виконану роботу. Модель може використовуватися для раціонального планування процесу настроювання складної РЕТ та її СЧ при проведенні ремонту у РО буд-якої складності (поточного, середнього, за технічним станом).

Література

1. Ковтуненко М.А., Шишанов В.В., Зубарев В.В. Основы теории восстановления эксплуатационных свойств технических систем / Ковтуненко М.А., Шишанов В.В., Зубарев В.В. – К. : Книжкове вид-во НАУ, 2007. – 296 с.
2. Надежность и эффективность в технике : справочник в 10 т. / Под ред. В.И. Патрушева и А.И. Рембезы. – М. : Машиностроение, 1988. – Т. 5. – 316 с.
3. Буяло О.В. Математичні моделі середнього ремонту сучасних радіоелектронних засобів озброєння, що проводиться у військових ремонтних органах : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 20.02.14 / ВІКНУ – К., 2005. – 23 с.
4. Браун В.О. Методика оптимізації параметрів системи планових ремонтів радіоелектронної техніки / В.О. Браун, С.В. Ленков, М.І. Резніков // 36. наук. пр. Одеського ін-ту Сухопутних військ. – Одеса : ОІСВ, 2005. – № 10. – С. 17 – 21.
5. Ушаков И.А. Территориально-распределенная система технического обслуживания и ремонта / И.А. Ушаков, В. Пушер // Методы менеджмента качества. – 2002. – № 2. – С. 32–36.
6. Lenkov S.V. Formalization of process of carrying out of repair of components of radio-electronic equipment / S.V. Lenkov, V.V. Zubarev, R.M. Salimov, V.A. Protsenko // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – Черкаси, 2009. – С. 20–22.
7. Справочник по математике: для научных сотрудников и инженеров / Г. Корн, Т. Корн ; пер. с англ. – М. : Наука, 1978. – 832 с.

Рецензент: д.т.н. Шинкарук О.М.
Надійшла 18.2.2012 р.

ЗАВАДОСТІЙКІСТЬ БІНАРНОГО АВТОКОРЕЛЯЦІЙНОГО ПРИЙМАЧА ШУМОВИХ ОРТОГОНАЛІЗОВАНИХ СИГНАЛІВ З ДВОМА ЛІНІЯМИ ЗАТРИМКИ

Представлено результати дослідження впливу ортогоналізації сигналу передавача на завадостійкість бінарної системи передачі інформації шумовими сигналами в каналі з постійними параметрами при дії адитивної завади типу білого гауссового шуму.

There are represented the research results of influence of transmitter signal orthogonalization on noise immunity of binary asymmetric noise signal transmission system through the channel with stable parameters under the influence of additive white Gaussian noise.

Ключові слова: шумові сигнали, завадостійкість, ортогоналізація, автокореляційний приймач.

Вступ

Можливості застосування у техніці зв'язку шумових та шумоподібних сигналів привертає увагу науковців, починаючи із 60–70-х років минулого століття [1]. Такий інтерес пов'язаний з тим, що використання надширокосмугових систем передачі даних для систем безпроводного зв'язку має ряд переваг порівняно із традиційними радіосистемами; зокрема, підвищуються скритність передачі інформації та використання смуги частот каналу. Розвиток елементної бази радіосистем і технологій обробки сигналів дозволяють по-новому розглянути можливості практичного застосування раніше запропонованих схем та перспективи їх удосконалення, підвищити завадостійкість системи.

Питання удосконалення систем зв'язку з використанням шумових сигналів розглянуті у працях [2, 3]. Основним з них є підвищення завадостійкості автокореляційних систем зв'язку, що використовують шумові та шумоподібні сигнали для передачі даних. Одним із напрямків удосконалення автокореляційних систем з шумовими сигналами є підвищення їх завадостійкості через зменшення впливу системної помилки шляхом ортогоналізації сигналів передавача.

Постановка завдання

У роботі [4] описано пристрій для передачі інформації шумовими сигналами, схему якого наведено на рис. 1. На даному рисунку використані наступні позначення: Γ – генератор шумового процесу $x(t)$; ЛЗ₁, ЛЗ₂ – лінія затримки на час τ та 2τ відповідно; α – джерело інформаційного повідомлення; І₁, І₂ – інтегратори; В – вирішувачий пристрій.

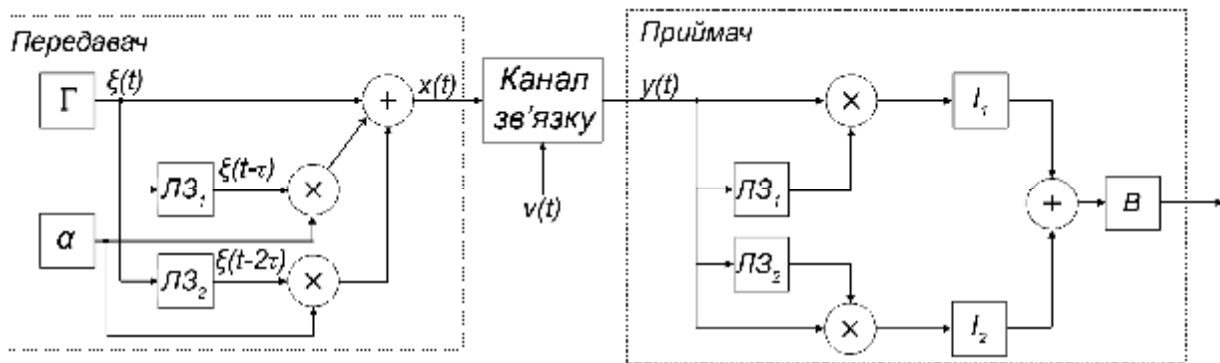


Рис. 1. Система передачі інформації шумовими сигналами з двома лініями затримки

На виході передавача сигнал описується виразом:

$$x(t) = x(t) + a_i \cdot g(x(t-t) + x(t-2t)), \quad t = [0; T] \quad (1)$$

де $a_i \in \{-1, +1\}$ – i -й переданий інформаційний символ, що відповідає логічним бінарним сигналам «0» та «1»; γ – коефіцієнт підсилення інформаційної складової сигналу; T – довжина символного інтервалу.

На вхід приймача надходить сигнал виду

$$y(t) = x(t) + n(t) = x(t) + a_i \cdot g \cdot x(t-t) + a_i \cdot g \cdot x(t-2t) + n(t), \quad (2)$$

де $n(t)$ – адитивна завада типу білого гауссового шуму, що додається до сигналу в каналі зв'язку.

Значення сигналу на вході вирішувачого пристрою визначається величиною

$$J = J_1 + J_2 = \int_{t_1}^{T+t_1} y(t) \cdot y(t-t) dt + \int_{t_2}^{T+t_2} y(t) \cdot y(t-2t) dt, \quad (3)$$

де J_1, J_2 – сигнали на виходах інтеграторів I_1 та I_2 відповідно.

Пристрій прийняття рішень по значенню величини J фіксує передачу символу (оцінку сигналу) $\hat{a}_i = 1$, якщо сигнал на виході корелятора має додатне значення, або іншу оцінку $\hat{a}_i = -1$ у протилежному випадку.

Одним із способів підвищення завадостійкості даної системи є модифікація передавача шляхом здійснення ортогоналізації його сигналу [5]. Для цього доповнимо схему передавача пристроєм, який назвемо «ортогоналізатором». Зауважимо, що величину затримки в модифікованій системі зручно вибрати кратною тривалості символного інтервалу: $t = T$.

Ортогоналізатор реалізує наступну модель перетворення сигналу відповідно до процесу ортогоналізації Грама-Шмідта:

$$z(t) = x(t) - \sum_{j=1}^4 \frac{\int_0^T x(t) \cdot z(t-jT) dt}{\int_0^T z(t-jT)^2 dt} \cdot z(t-jT). \quad (4)$$

Сигнал $z(t)$, що спостерігається на виході, буде ортогональним до сигналів чотирьох попередніх символних інтервалів. Вказана модифікація системи стосується передавача і не змінює структуру та алгоритм роботи приймача.

Метою даної роботи є дослідження завадостійкості модифікованої системи передачі даних шумовими сигналами у випадку застосування ортогоналізації сигналів передавача.

Результати дослідження

Для вирішення поставленого завдання треба знайти функцію щільності розподілу J , для чого спочатку знайдемо функції щільності розподілу для J_1 та J_2 . Врахуємо, що у випадку симетричного каналу зв'язку завадостійкість системи достатньо розглянути лише при умові передачі бінарного символу «1», тобто коли $a_i = +1$. Для J_1 запишемо:

$$\begin{aligned} J_1 &= \int_0^T [z(t) + a_i \cdot g \cdot z(t-T) + a_i \cdot g \cdot z(t-2T) + n(t)][z(t-T) + a_i \cdot g \cdot z(t-2T) + a_i \cdot g \cdot z(t-3T) + n(t-T)] dt = \\ &= h_{z,z}(t, t-T) + a_i \cdot g \cdot h_{z,z}(t, t-2T) + a_i \cdot g \cdot h_{z,z}(t, t-3T) + h_{z,n}(t, t-T) + a_i \cdot g \cdot h_{z,z}(t-T, t-T) + \\ &+ a_i^2 \cdot g^2 \cdot h_{z,z}(t-T, t-2T) + a_i^2 \cdot g^2 \cdot h_{z,z}(t-T, t-3T) + a_i \cdot g \cdot h_{z,n}(t-T, t-T) + a_i \cdot g \cdot h_{z,z}(t-2T, t-T) + \\ &+ a_i^2 \cdot g^2 \cdot h_{z,z}(t-2T, t-2T) + a_i^2 \cdot g^2 \cdot h_{z,z}(t-2T, t-3T) + a_i \cdot g \cdot h_{z,n}(t-2T, t-T) + h_{n,z}(t, t-T) + \\ &+ a_i \cdot g \cdot h_{n,z}(t, t-2T) + a_i \cdot g \cdot h_{n,z}(t, t-3T) + h_{n,n}(t, t-T), \end{aligned} \quad (5)$$

де введено позначення:

$$h_{s,p}(c, k) = \int_0^T s(c) \cdot p(k) dt \quad (6)$$

Оскільки сигнали $\{z(t), z(t-T), z(t-2T), z(t-3T), z(t-4T)\}$ є попарно ортогональними, то всі доданки із (5) виду $h_{z,z}(c, k)$, $c \neq k$, рівні нулю.

Оскільки випадковий процес $z(t)$ створений лінійними перетвореннями з гауссового процесу $x(t)$, то він є гауссовим, центрованим, дельтакорельованим і стаціонарним в широкому сенсі. Позначимо дисперсії випадкових процесів $x(t)$ та $n(t)$ як S_x^2 та S_n^2 відповідно. Якщо проаналізувати значення перших двох початкових моментів випадкового процесу $z(t)$, то можна показати, що їх оцінки вибіркового параметрів при значенні параметру $T \gg 1$ співпадають з відповідними моментами процесу $x(t)$. Тому вважаємо, що і дисперсія $z(t)$ рівна S_x^2 . Дане припущення підтверджується результатами статистичних досліджень імітаційної моделі ортогоналізатора.

При цих припущеннях визначимо значення початкових моментів складових величини J_1 у (5). Так, враховуючи некорельованість та центрованість процесу $z(t)$, маємо

$$m_1^{h_{z,n}(t, t-T)} = M \int_0^T z(t)n(t-T) dt = \int_0^T M\{z(t)\}M\{n(t-T)\} dt = 0. \quad (7)$$

Відповідно можна знайти значення наступних моментів:

$$\begin{aligned}
m_1^{h_{z,n}(t-T,t-T)} &= m_1^{h_{z,n}(t-2T,t-T)} = m_1^{h_{n,z}(t,t-T)} = m_1^{h_{n,z}(t,t-2T)} = \\
&= m_1^{h_{n,z}(t,t-3T)} = m_1^{h_{n,n}(t,t-T)} = 0; \\
m_1^{a \cdot g \cdot h_{z,z}(t-T,t-T)} &= a \cdot g \int_0^T M\{z^2(t-T)\} dt = a \cdot g \cdot S_x^2 \int_0^T dt = a \cdot g \cdot S_x^2 \cdot T; \\
m_1^{a^2 \cdot g^2 \cdot h_{z,z}(t-2T,t-2T)} &= a^2 \cdot g^2 \int_0^T M\{z^2(t-2T)\} dt = \\
&= a^2 \cdot g^2 \cdot S_x^2 \int_0^T dt = a^2 \cdot g^2 \cdot S_x^2 \cdot T.
\end{aligned} \tag{8}$$

Підсумовуючи величини, представлені у виразах (7), (8), маємо

$$m_1^{J_1} = M\{J_1\} = a \cdot g \cdot S_x^2 \cdot T + a^2 \cdot g^2 \cdot S_x^2 \cdot T. \tag{9}$$

Обчислення другого початкового моменту $m_2^{J_1}$ пов'язане з розрахунком значення

$$\begin{aligned}
m_2^{J_1} &= M\{J_1^2\} = M\{[h_{z,n}(t,t-T) + a_i \cdot g \cdot h_{z,z}(t-T,t-T) + a_i \cdot g \cdot h_{z,n}(t-T,t-T) + \\
&+ a_i^2 \cdot g^2 \cdot h_{z,z}(t-2T,t-2T) + a_i \cdot g \cdot h_{z,n}(t-2T,t-T) + h_{n,z}(t,t-T) + \\
&+ a_i \cdot g \cdot h_{n,z}(t,t-2T) + a_i \cdot g \cdot h_{n,z}(t,t-3T) + h_{n,n}(t,t-T)]^2\}.
\end{aligned} \tag{10}$$

Знайдемо значення величини

$$\begin{aligned}
m_2^{h_{n,n}(t,t-T)} &= M\{h_{n,n}^2(t,t-T)\} = M\left\{\left[\int_0^T n(t)n(t-T) dt\right]^2\right\} = \\
&= M\left\{\int_0^T n(t)n(t-T) dt \int_0^T n(x)n(x-T) dx\right\} = \int_0^T \int_0^T M\{n(t)n(x)n(t-t_1)n(x-t_1)\} dx dt.
\end{aligned} \tag{11}$$

Для моменту четвертого порядку спільно гауссових центрованих випадкових величин $n(t)$, $n(x)$, $n(t-T)$, $n(x-T)$ скористаємося наступною формулою [6, с. 43]:

$$\begin{aligned}
M\{n(t)n(x)n(t-T)n(x-T)\} &= M\{n(t)n(x)\}M\{n(t-T)n(x-T)\} + \\
&+ M\{n(t)n(t-T)\}M\{n(x)n(x-T)\} + M\{n(t)n(x-T)\}M\{n(x)n(t-T)\}.
\end{aligned} \tag{12}$$

Користуючись співвідношеннями (11) та (12), одержимо

$$\begin{aligned}
m_2^{h_{n,n}(t,t-T)} &= S_n^2 \int_0^T \int_0^T M\{n(t)n(x)\} d(t-T) dx dt + S_n^4 d(T)d(T) \int_0^T \int_0^T dx dt + \\
&+ S_n^4 \int_0^T \int_0^T d(t-x+T)d(t-x-T) dx dt,
\end{aligned} \tag{13}$$

де $d(x)$ – дельта-функція Дірака.

З урахуванням фільтруючої властивості дельта-функції маємо

$$m_2^{h_{n,n}(t,t-T)} = S_n^4 T. \tag{14}$$

Для $a_i \cdot g \cdot h_{z,z}(t-T,t-T)$, $a_i^2 \cdot g^2 \cdot h_{z,z}(t-2T,t-2T)$ маємо:

$$\begin{aligned}
m_2^{a \cdot g \cdot h_{z,z}(t-T,t-T)} &= a^2 g^2 S_x^4 (2T + T^2); \\
m_2^{a^2 \cdot g^2 \cdot h_{z,z}(t-2T,t-2T)} &= a^4 g^4 S_x^4 (2T + T^2).
\end{aligned} \tag{15}$$

З формули (11), враховуючи незалежність випадкових величин $n(t)$, $z(x)$ і фільтруючої властивості дельта-функції, можна знайти значення моменту

$$m_2^{h_{z,n}(t,t-T)} = \int_0^T \int_0^T M\{n(t)n(x)\} S_x^2 d(t-x) dx dt = S_n^2 S_x^2 T. \tag{16}$$

Подібним чином з (11) можна знайти значення моментів

$$\begin{aligned}
m_2^{h_{n,z}(t,t-T)} &= S_x^2 S_n^2 T; \\
m_2^{h_{z,n}(t-T,t-T)} &= m_2^{h_{z,n}(t-2T,t-T)} = m_2^{h_{n,z}(t,t-2T)} = m_2^{h_{n,z}(t,t-3T)} = a^2 g^2 S_x^2 S_n^2 T.
\end{aligned} \tag{17}$$

Подвоєні парні добутки елементів, записаних у квадратних дужках виразу (10), дорівнюють нулю, за винятком $2 \cdot h_{z,z}(t-T,t-T) \cdot h_{z,z}(t-2T,t-2T)$. Це узагальнення впливає з наступного добутку:

$$M\{2h_{n,n}(t,t-T)h_{x,n}(t,t-T)\} = 2 \int_0^T M\{z(t)z(t-T)z(x)z(x-T)\} dt dx = 0. \tag{18}$$

Для $2 \cdot h_{z,z}(t-T,t-T) \cdot h_{z,z}(t-2T,t-2T)$ маємо:

$$\begin{aligned}
&M\{2 \cdot h_{z,z}(t-T,t-T) \cdot h_{z,z}(t-2T,t-2T)\} = \\
&= 2a^3 g^3 \int_0^T \int_0^T z(t-T) \cdot z(t-T) \cdot z(x-2T) \cdot z(x-2T) dx dt = \\
&= 2a^3 g^3 \left(\int_0^T \int_0^T M\{z^2(t-T)z(x-2T)\} dx dt + \right. \\
&\quad \left. + 2 \int_0^T \int_0^T M\{z(t-T) \cdot z(x-2T)\} M\{z(t-T) \cdot z(x-2T)\} dx dt \right) = \\
&= 2a^3 g^3 \left(S_x^4 T^2 + 2S_x^4 \int_0^T \int_0^T d(t-x+T)d(t-x+T) dx dt \right) = 2a^3 g^3 S_x^4 T^2
\end{aligned} \tag{19}$$

Підсумовуючи наведені вище результати, і враховуючи, що $a_i = +1$, можна записати:

$$m_2^{J_1} = M\{J_1^2\} = T \left[S_x^4 (2g^2 + 2g^4) + g^2 S_x^4 T + g^4 S_x^4 T + 2g^3 S_x^4 T + 2S_x^2 S_n^2 (1 + 2g^2) + S_n^4 \right]. \tag{20}$$

Маючи значення перших двох початкових моментів випадкової величини J_1 , визначимо її дисперсію

$$\begin{aligned}
D_2^{J_1} &= m_2^{J_1} - (m_1^{J_1})^2 = T \left[S_x^4 (2g^2 + 2g^4) + g^2 S_x^4 T + g^4 S_x^4 T + 2g^3 S_x^4 T + 2S_x^2 S_n^2 (1 + 2g^2) + S_n^4 \right] - \\
&- (a \cdot g \cdot S_x^2 \cdot T + a^2 \cdot g^2 \cdot S_x^2 \cdot T)^2 = T \left[S_x^4 (2g^2 + 2g^4) + 2S_x^2 S_n^2 (1 + 2g^2) + S_n^4 \right].
\end{aligned} \tag{21}$$

Всі добутки, що входять до складу формули (5), за винятком $h_{z,z}(t-T,t-T)$ та $h_{z,z}(t-2T,t-2T)$, є добутками незалежних гауссових випадкових величин, а отже, також є гауссовими величинами. Добутки $h_{z,z}(t-T,t-T)$, $h_{z,z}(t-2T,t-2T)$ мають розподіл c^2 , проте при значеннях $T \gg 1$ їх теж можна вважати наближеними до гауссового розподілу. Таким чином, J_1 , як сума гауссових величин, може розглядатися як випадкова величина з гауссовим розподілом. Звідси щільність розподілу значення сигналу на виході інтегратора I_1 можна описати виразом:

$$f(J_1) = \frac{1}{\sqrt{2pD_2^{J_1}}} \cdot \exp\left(-\frac{(J_1 - m_1^{J_1})^2}{2D_2^{J_1}}\right). \tag{22}$$

Для величини J_2 вираз (5) перепишемо у вигляді:

$$\begin{aligned}
 J_2 = & \int_0^T [z(t) + a_i \cdot g \cdot z(t-T) + a_i \cdot g \cdot z(t-2T) + n(t)][z(t-2T) + a_i \cdot g \cdot z(t-3T) + \\
 & + a_i \cdot g \cdot z(t-4T) + n(t-2T)] dt = \\
 = & h_{z,z}(t, t-2T) + a_i \cdot g \cdot h_{z,z}(t, t-3T) + a_i \cdot g \cdot h_{z,z}(t, t-4T) + h_{z,n}(t, t-2T) + \\
 & + a_i \cdot g \cdot h_{z,z}(t-T, t-2T) + a_i^2 \cdot g^2 \cdot h_{z,z}(t-T, t-3T) + a_i^2 \cdot g^2 \cdot h_{z,z}(t-T, t-4T) + \\
 & + a_i \cdot g \cdot h_{z,n}(t-T, t-2T) + a_i \cdot g \cdot h_{z,z}(t-2T, t-2T) + a_i^2 \cdot g^2 \cdot h_{z,z}(t-2T, t-3T) + \\
 & + a_i^2 \cdot g^2 \cdot h_{z,z}(t-2T, t-4T) + a_i \cdot g \cdot h_{z,n}(t-2T, t-2T) + h_{n,z}(t, t-2T) + \\
 & + a_i \cdot g \cdot h_{n,z}(t, t-3T) + a_i \cdot g \cdot h_{n,z}(t, t-4T) + h_{n,n}(t, t-2T).
 \end{aligned} \tag{23}$$

Оскільки сигнали $\{z(t), z(t-T), z(t-2T), z(t-3T), z(t-4T)\}$ є попарно ортогональними, то всі доданки із (23) виду $h_{z,z}(c, k), c \neq k$ рівні нулю.

Аналогічно до (7), (8) маємо:

$$\begin{aligned}
 m_1^{h_{z,n}(t, t-2T)} &= m_1^{h_{z,n}(t-T, t-2T)} = m_1^{h_{z,n}(t-2T, t-2T)} = m_1^{h_{n,z}(t, t-2T)} = m_1^{h_{n,z}(t, t-3T)} = \\
 &= m_1^{h_{n,z}(t, t-4T)} = m_1^{h_{n,n}(t, t-2T)} = 0;
 \end{aligned} \tag{24}$$

$$m_1^{h_{z,z}(t-2T, t-2T)} = a \cdot g \int_0^T M\{z^2(t-2T)\} dt = a \cdot g \cdot s_x^2 \int_0^T dt = a \cdot g \cdot s_x^2 \cdot T.$$

Таким чином, початковий момент першого порядку для J_2 рівний сумі доданків із (24) і дорівнює

$$m_1^{J_2} = M\{J_2\} = a \cdot g \cdot s_x^2 \cdot T. \tag{25}$$

Другий початковий момент $m_2^{J_2}$ розрахуємо відповідно до значення

$$\begin{aligned}
 m_2^{J_1} = & M\{J_1^2\} = M\{[h_{z,n}(t, t-2T) + a_i \cdot g \cdot h_{z,n}(t-T, t-2T) + a_i \cdot g \cdot h_{z,z}(t-2T, t-2T) + \\
 & + a_i \cdot g \cdot h_{z,n}(t-2T, t-2T) + h_{n,z}(t, t-2T) + a_i \cdot g \cdot h_{n,z}(t, t-3T) + \\
 & + a_i \cdot g \cdot h_{n,z}(t, t-4T) + h_{n,n}(t, t-2T)]^2\}.
 \end{aligned} \tag{26}$$

Відповідно до співвідношень (11) – (17), отримаємо:

$$\begin{aligned}
 m_2^{h_{n,n}(t, t-2T)} &= s_n^4 T; \\
 m_2^{h_{z,z}(t-2T, t-2T)} &= a^2 g^2 s_x^4 (2T + T^2); \\
 m_2^{h_{n,z}(t, t-2T)} &= m_2^{h_{z,n}(t, t-2T)} = s_x^2 s_n^2 T; \\
 m_2^{h_{z,n}(t-T, t-2T)} &= m_2^{h_{z,n}(t-2T, t-2T)} = m_2^{h_{n,z}(t, t-3T)} = m_2^{h_{n,z}(t, t-4T)} = a^2 g^2 s_x^2 s_n^2 T.
 \end{aligned} \tag{27}$$

Подвоєні парні добутки елементів, записаних у квадратних дужках виразу (26), дорівнюють нулю відповідно до (18).

Підсумовуючи наведені вище результати, і враховуючи, що $a_i = +1$, можна записати:

$$m_2^{J_2} = M\{J_2^2\} = T \left(2g^2 s_x^4 + g^2 s_x^4 T + 2s_x^2 s_n^2 (1 + 2g^2) + s_n^4 \right). \tag{28}$$

Дисперсія випадкової величини J_2 дорівнює

$$D_2^J = m_2^{J_2} - (m_1^{J_2})^2 = T \left(2g^2 s_x^4 + g^2 s_x^4 T + 2s_x^2 s_n^2 (1 + 2g^2) + s_n^4 \right) - (a \cdot g \cdot s_x^2 \cdot T)^2 = T \left(2g^2 s_x^4 + 2s_x^2 s_n^2 (1 + 2g^2) + s_n^4 \right). \tag{29}$$

Знаючи щільності розподілів для J_1 і J_2 , можна отримати щільність розподілу їх суми J відповідно до [7, с. 102]:

$$f(J) = \frac{1}{\sqrt{2p D_2^J}} \cdot \exp\left(-\frac{(J - m_1^J)^2}{2D_2^J}\right), \tag{30}$$

де

$$m_1^J = m_1^{J1} + m_1^{J2} = 2a \cdot g \cdot s_x^2 \cdot T + a^2 \cdot g^2 \cdot s_x^2 \cdot T = 2g \cdot s_x^2 \cdot T + g^2 \cdot s_x^2 \cdot T;$$

$$D_2^J = D_2^{J1} + D_2^{J2} = 2T \left[s_x^4 (2g^2 + g^4) + 2s_x^2 s_n^2 (1 + 2g^2) + s_n^4 \right]. \quad (31)$$

Слід врахувати, що $\forall a \in \{-1; +1\}$ $a^2 = 1$, тому, незалежно від значення переданого символу, до складу величини J входить доданок $g^2 \cdot s_x^2 \cdot T$. Тобто, для відновлення симетричності системи, в якості порогу вирішую чого пристрою В приймача слід використати не 0, а величину $g^2 \cdot s_x^2 \cdot T$.

Ймовірність виникнення помилки при передачі інформаційного символу «1» визначається з виразу

$$P = \frac{1}{\sqrt{2pD_2^J}} \int_{-\infty}^{g^2 \cdot s_x^2 \cdot T} \exp\left(-\frac{(x - m_1^J)^2}{2D_2^J}\right) dx, \quad (32)$$

а для симетричного каналу це визначає й завадостійкість приймача.

Вираз (32) заміною змінної інтегрування може бути приведений до більш зручного для обчислень вигляду:

$$P = \frac{1}{\sqrt{p}} \int_{-\infty}^G e^{-t^2} dt, \quad (33)$$

де величина

$$G = -\frac{m_1^J}{\sqrt{2D_2^J}} = -\frac{2 \cdot g \cdot s_x^2 \cdot T}{\sqrt{4T \left[s_x^4 (2g^2 + g^4) + 2s_x^2 s_n^2 (1 + 2g^2) + s_n^4 \right]}}. \quad (34)$$

Виразимо параметр s_n^2 з використанням значення перевищення енергії біта E_b над спектральною щільністю N_0 завади:

$$\frac{E_b}{N_0} = \frac{(1 + 2g^2) \cdot s_x^2 \cdot T}{2s_n^2}; \quad s_n^2 = \frac{(1 + 2g^2) \cdot s_x^2 \cdot T}{2(E_b / N_0)}. \quad (35)$$

З урахуванням (35) формула (34) набуде вигляду

$$G = -\frac{g \cdot \sqrt{T}}{\sqrt{2g^2 + g^4 + \frac{T(1 + 2g^2)^2}{(E_b / N_0)} + \frac{T^2(1 + 2g^2)^2}{4(E_b / N_0)^2}}}. \quad (36)$$

Проведемо також пошук оптимального значення коефіцієнта масштабування інформаційної складової сигналу γ . Для цього знаходимо похідну $\frac{dP(g)}{dg}$, що в даному випадку визначається виразом:

$$\frac{dP(g)}{dg} = \frac{d}{dg} \left[\frac{1}{\sqrt{p}} \int_{-\infty}^G e^{-t^2} dt \right] = \frac{1}{\sqrt{p}} \cdot e^{-(G)^2} \cdot \frac{dG}{dg}, \quad (37)$$

та прирівнюємо її до нуля:

$$\frac{1}{\sqrt{p}} \cdot e^{-(G)^2} \cdot \frac{dG}{dg} = 0. \quad (38)$$

Оскільки величина $\frac{1}{\sqrt{p}} e^{-(G)^2} \neq 0$ для $G \neq \infty$, то задача зводиться до пошуку такого γ , при якому G набуває екстремального значення. Виконуючи пошук похідної від G з використанням чисельних методів, можна показати, що значення коефіцієнта γ визначається величиною $g \approx \frac{1}{\sqrt{n}}$.

Для експериментального дослідження описаної системи передачі даних було створено імітаційну модель у середовищі Borland Delphi. На рис. 2 наведено графік залежності завадостійкості системи передачі даних шумовими сигналами з двома лініями затримки з ортогоналізацією та без неї від відношення «сигнал/шум», при $T=100$, $g = \frac{1}{\sqrt{2}} \approx 0,7071$, а також результати виконання імітаційного моделювання із аналогічними параметрами.

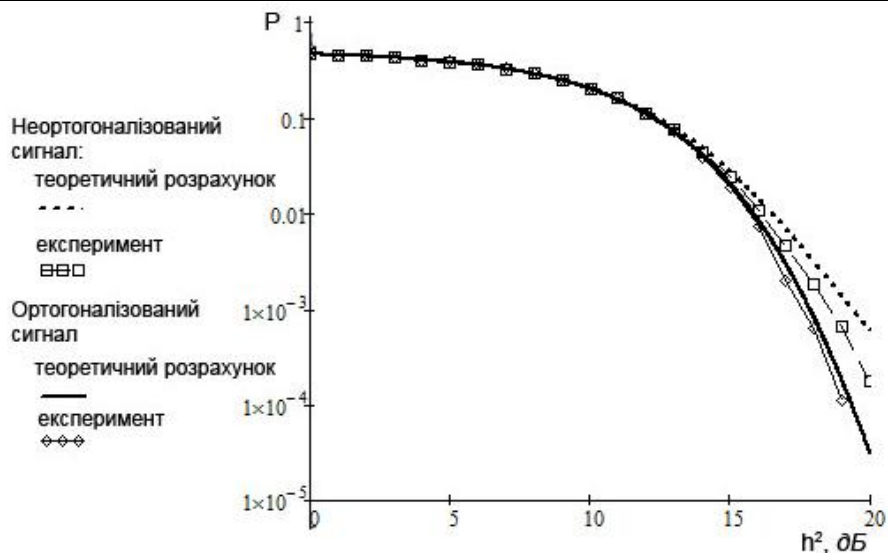


Рис. 2. Залежність завадостійкості системи передачі даних шумовими сигналами від відношення «сигнал/шум» (дБ)

З графіка видно, що ортогоналізація покращує завадостійкість системи передачі даних; зокрема, при $E_b/N_0 = 20$ дБ маємо ймовірність помилки, меншу майже на порядок. При цьому вплив ортогоналізації на завадостійкість системи передачі даних суттєвий при ймовірності помилки, меншій за 0,01, а саме за таких значень завадостійкості використання систем передачі даних є доцільним.

Висновок

Проведений аналіз завадостійкості бінарного приймача шумових сигналів, що має дві лінії затримки та ортогоналізатор. Результати теоретичного аналізу перевірені на імітаційній моделі системи.

Застосування ортогоналізації сигналів передавача дозволяє збільшити завадостійкість системи передачі даних шумовими сигналами з двома лініями затримки без погіршення інших характеристик даної системи. Це дозволяє використовувати описану модифікацію системи для покращення її характеристик.

Література

1. Семенов А.М. Широкополосная радиосвязь / А.М. Семенов, А.А. Сикарев. – М., Воениздат, 1970. – 280 с.
2. Wai Tam, Francis Lau, Chi Tse, Digital communication with chaos. – N.Y.: Elsevier, 2006. – 256 p.
3. Feng J.C., Tse C.K., Reconstruction of chaotic signals with applications to chaos-based communications. – Singapore, World Scientific Publishing Co, 2007. – 218 p.
4. Журавель П.Д. Завадостійкість автокореляційного бінарного приймача шумового сигналу з двома субканалами / П.Д. Журавель, С.М. Первунінський // матеріали V Міжнародного науково-технічного симпозіуму «Новітні технології в комунікаціях». Карпати, Вишків, 17-21.01.2012. Збірник тез ДУІКТ-Карпати'2012. – К., 2012, С. 135–136.
5. Дідковський Р. М. Теоретичне та експериментальне дослідження завадостійкості системи на основі кореляційно-шумової модуляції з додаванням ортогоналізованої компоненти / Р.М. Дідковський, С.С. Гузнін // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 1. – С. 217–225.
6. Тихонов В.И. Статистический анализ и синтез радиотехнических устройств и систем / В.И. Тихонов, В.Н. Харисов. – М. : «Радио и связь», 1991. – 608 с.
7. Вадзинский Р.Н. Справочник по вероятностным распределениям / Вадзинский Р.Н. . – СПб., Наука, 2001. – 295 с.

Рецензент: д.т.н. Рудницький В.М.
Надійшла 11.2.2012 р.

ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ ВИМІРЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ КІЛЬКІСНИХ ВИМІРЮВАНЬ

В різних країнах світу та міжнародних метрологічних організаціях використовують поняття невизначеність. Фірми з виготовлення засобів вимірювання також переходять на їх нормування з використанням невизначеності, тому в цій статті проводиться дослідження з оцінювання невизначеності вимірювань.

In the miscellaneous states of a world and international entities will utilize concept of equivocation of measuring of results of quantitative measurings. The corporations on fabrication of facilities of measurings also pass to their rationing of petroleum products with usage of equivocation, therefore in the given paper the studies are carried out (conducted) according to equivocation of measuring of results of quantitative measurings.

Ключові слова: невизначеність, вимірювання, метрологічні дослідження, статистичні вимірювання, похибки вимірювання.

Основою статистичних досліджень є виміри тобто метрологічні дослідження. В останні роки в теоретичній та практичній метрології виникають зміни, які пов'язані з введенням, в першу чергу, поняття «невизначеність» для оцінювання достовірності результатів вимірювань та засобів вимірювання. Поряд з цим при проведенні деяких метрологічних робіт зберігається використання поняття «похибка». Така подвійність оцінки результатів вимірювань зумовлює досить повільне впровадження невизначеності в метрологічну практику України. Об'єктами дослідження є метрологічні характеристики та методи їх визначення.

Постановка завдання.

В останні роки в теоретичній та практичній метрології виникають зміни, які пов'язані з введенням, в першу чергу, поняття «невизначеність» для оцінювання достовірності результатів вимірювань та засобів вимірювання. Поряд з цим при проведенні деяких метрологічних робіт зберігається використання поняття «похибка». Така подвійність оцінки результатів вимірювань зумовлює досить повільне впровадження невизначеності в метрологічну практику України [1].

Результати та їх обговорення.

Для кращого розуміння різниці в поняттях похибки та невизначеності проаналізуємо їх концепції. Для опису вимірювання в концепції похибки істинне значення вимірюваної величини вважається унікальним але практично невідомим. В концепції невизначеності вважається, що в наслідок належного визначення вимірюваної величини недостатньо певної кількості факторів (деталей). Тоді не існує єдиного значення величини, а існує сукупність істинних значень, адекватних визначенню величини, однак ця сукупність значень практично невідома. Поряд із зазначеним можна обходитись без поняття істинного значення величини шляхом використання поняття метрологічної сумісності результатів вимірювання для оцінки їх обґрунтованості [2–5].

Якщо невизначеність визначення вимірюваної величини нескінченно мала по відношенню до інших складових невизначеності вимірювання, тоді вимірювана величина може розглядатися як така, що має унікальне істинне значення.

Інколи для визначення поняття «умовного значення величини» використовують термін «умовне істинне значення величини», але використання цього терміну є небажаним. Умовне значення величини інколи є оцінкою істинного значення величини. В загальному сенсі умовне значення величини описується як значення, що асоціюється з достатньо малою прийнятною невизначеністю вимірювання, яка може бути близькою до нуля.

Виходячи із зазначеного термін «невизначеність вимірювання» можна трактувати як параметр, який характеризує розсіювання значень величини, що належать вимірюваній величині на основі використаної інформації.

Таким чином невизначеність вимірювання включає в себе складові, які викликані систематичними впливами. До них відносять:

- складові, які асоціюються з введеними на них поправками;
- складові, які пов'язані з передавальними вимірювальними еталонами значень величини;
- складові, пов'язані з невизначеністю визначення.

Інколи при оцінюванні систематичних впливів поправки не вводяться, а замість них враховують відповідні складові невизначеності. До таких складових можна віднести стандартну невизначеність вимірювання або встановлене їй кратне значення (півширина довірчого інтервалу з заданою ймовірністю).

Невизначеність вимірювання включає в себе багато складових. Деякі з них можуть оцінюватися невизначеністю вимірювання типу *A* виходячи з статистичного розподілу значень величини, які отримані в серії вимірювань, і можуть бути охарактеризовані стандартними відхиленнями. Інші складові можуть бути оцінені невизначеністю типу *B*, які також можуть характеризуватися стандартними відхиленнями що включають застосування функцій щільності ймовірностей, отриманими на основі експерименту або на іншій

інформації.

Вище перераховані види складових невизначеності жорстко не пов'язані з способами розрахунків, визначеними типом *A* або *B*. Таким чином кожен з цих видів невизначеності може містити складові невизначеності типу *A* та типу *B* [4–6].

Проаналізуємо особливості термінів визначення похибки вимірювання. Так «похибка вимірювання» це виміряне значення величини мінус опорне значення величини. Поняття похибки вимірювання може бути використане у випадку коли похибка є відомою (є єдине опорне значення величини або дано умовне значення величини), а також якщо похибка вимірювання є невідомою (вимірювана величина представлена унікальним істинним значенням або сукупністю істинних значень у мізерно малому діапазоні).

«Опорне значення величини» – значення величини, що використовується в якості основи для порівняння із значенням величини такого ж роду. Опорне значення величини може бути істинним значенням величини, яке є невідомим, або умовним значенням величини, яке є відомим. Це значення з відповідною невизначеністю вимірювання зазвичай вказують для матеріалу (сертифікованого опорного матеріалу), устаткування, опорної методики вимірювання та порівняння вимірювальних еталонів.

Таким чином поняття похибки в концепції невизначеності частково збережене, але отримало суттєву зміну. Похибка може бути визначена у тих випадках, коли є визначене значення величини, спираючись на яке можна обчислити похибку, а також коли опорне значення є умовним значенням величини. У випадку, якщо за опорну величину приймається істинне значення величини, тоді обчислити похибку неможливо.

В концепції невизначеності застосування похибки досить обмежене і може використовуватися тільки при проведенні спеціальних метрологічних робіт (при порівнянні вимірювальних еталонів, визначенні компетентності лабораторії тощо).

В загальному випадку при виконанні звичайних вимірювань, коли опорне значення величини є невідомим, для оцінки вимірюваної величини потрібно використовувати невизначеність. В основі розбіжностей двох концепцій метрології знаходяться різні філософські підходи до вимірювання. Вони полягають в різних тлумаченнях двох основних понять метрології, які стосуються істинного значення вимірюваної величини та результату вимірювання.

Адекватним представленням вимірюваної величини потрібно вважати не величину з унікальним (єдиним) числовим значенням, а величину, яка характеризується набором числових значень, що знаходяться в межах деякого інтервалу. Цей інтервал називають невизначеністю визначення вимірюваної величини і він визначає неповноту врахування деталей (факторів) при опису вимірюваної величини. Невизначеність відповідає вимогам адекватності істинного значення величини його визначенню.

Ціллю вимірювання в концепції невизначеності є визначення інтервалу обґрунтованих значень вимірюваної величини, який базується на припущенні, що при виконанні вимірювань не було припущено помилок.

Таким чином невизначеність визначення вимірюваної величини є мінімальною невизначеністю вимірювання. Цей інтервал, який називається вимірюваним значенням величини, може бути представлений одним з його значень.

Точність вимірювання в концепції невизначеності визначається розміру довірчого інтервалу з встановленою довірчою ймовірністю, яка приймається для вимірюваної величини. Збільшення або зменшення цього інтервалу відповідає різним численним значенням однієї й тієї вимірюваної величини.

Приклад. При вимірюванні розривного навантаження текстильної нитки отримано результат 36 ± 1 сН. З точки зору концепції похибки значення 36 сН є результатом вимірювання, а значення ± 1 сН є похибкою. З точки зору концепції невизначеності отримані значення є невід'ємним інтервалом $35\text{--}37$ сН, який задається для вимірюваної величини.

Оцінювання невизначеності – процес творчий. Усіх факторів, які спричиняють невизначеність вимірювання, врахувати практично неможливо. Тому що, коли вже враховані усі похибки приладів, поправки, впливи зовнішніх факторів і суб'єктивні впливи, невизначеності властивостей речовин, то невизначеності, наприклад, взаємодії молекул речовин, припущення щодо будови текстильного матеріалу, невизначеності, спричинені ще безліччю інших факторів, залишатимуться не врахованими.

Тому, творчість в оцінюванні невизначеності і полягає саме у визначенні межі, на якій вже варто зупинитись. Тобто потрібно не намагатись оцінити усі фактори, а лише необхідні і достатні, які суттєво впливають на результат випробовування (вимірювання).

Оцінювати невизначеність методів випробовування або результатів випробування (вимірювання) повинні фахівці, добре обізнані із об'єктом випробовування, методом (процедурою) випробовування і особливостями застосування засобів вимірювальної техніки (далі – ЗВТ) та інших засобів випробовування.

Окрім того, фахівець, який оцінює невизначеність повинен сумлінно виконувати оцінювання, не приховуючи тих аспектів невизначеності, які він не знає як врахувати.

Основи забезпечення єдності вимірювання. В 2003 Україна приєдналася до «Угоди про взаємне визнання національних еталонів і сертифікатів калібрування та вимірювання, що видаються національними метрологічними інститутами (CIPM MRA)», що зумовлює потребу у переході до нової системи забезпечення єдності вимірювання [1, 6].

Єдність вимірювань – стан вимірювань, за якого результати вимірювання виражають в узаконених

одинах вимірювання, а характеристики невизначеності (похибок) вимірювання відомі із заданою ймовірністю та не виходять за встановлені межі.

Єдина система забезпечення єдності вимірювання необхідна для забезпечення їхньої придатності до застосування та взаємозв'язання результатів вимірювання.

Принципи єдності вимірювання:

1. Результати вимірювань є випадковою величиною;

2. Задачі вимірювання:

- отримати значення вимірюваної величини;
- розрахувати характеристики точності результату вимірювання (невизначеність);
- оцінити характеристику достовірності отриманого результату (рівень довіри. Відповідний

термін в теорії похибок – довірча ймовірність).

3. Функція розподілу ймовірностей – є вичерпним описом випадкової величини;

4. Щільність розподілу ймовірностей визначають як похідну від функції розподілу випадкової величини, і вона є наочним поданням розподілу ймовірностей.

Результат вимірювання завжди відрізняється від істинного значення величини, через:

- недосконалість методу випробовування (вимірювання);
- недоліки ЗВТ;
- взаємодію ЗВТ із об'єктом випробовування;
- суб'єктивні помилки оператора;
- вплив випробувального середовища тощо.

Класифікація невизначеностей.

1. За способом оцінювання розрізняють:

- стандартну невизначеність, u – невизначеність результату вимірювання, оцінена за середньоквадратичним відхиленням.

а) стандартну невизначеність типу A , u_A – невизначеність, яка зумовлена дисперсією результатів вимірювання і може бути оцінена статистичними методами.

б) стандартну невизначеність типу B , u_B – невизначеність спричинена різноманітними впливовими факторами і може бути оцінена ймовірнісними методами.

- сумарну невизначеність – ймовірнісну суму стандартних невизначеностей .
- розширену невизначеність – інтервал навколо результату вимірювання, в межах якого ймовірно розташована більшість розподілу значень, які з достатнім обґрунтуванням можуть бути приписані вимірюваній величині.

2. За джерелом виникнення невизначеність буває: методична; інструментальна та суб'єктивна.

Причини і джерела методичної складової невизначеності результатів випробовування (вимірювання):

- неточності визначення умов випробувального середовища;
- неточності відтворення умов випробовування;
- недосконале врахування впливу зовнішніх факторів, неадекватне їх оцінювання;
- недосконале визначення об'єкту випробовування (вимірювання), його властивостей, неповна ідентифікація вимірювальної величини;
- недосконала реалізація методики випробовування;
- будь-які припущення, нехтування, апроксимація;
- похибки характеристик ЗВТ;
- взаємодія ЗВТ із об'єктом випробовування (вимірювання);
- неточності перевідних коефіцієнтів, констант тощо;
- неточні значення величин, приписані робочим еталонам, стандартним зразкам;
- невідповідність фізичного об'єкта його математичній моделі (порогова невідповідність);
- не виключені систематичні похибки;
- похибки введених поправок.

Примітка. Теорія невизначеності передбачає усунення усі факторів, які можуть спричинити систематичну похибку результату до початку вимірювання або, якщо фізично усунути впливові фактори неможливо, їх усувають математично, за допомогою поправок, з обов'язковим врахування невизначеності введених поправок.

Причини і джерела інструментальної складової невизначеності результатів випробовування (вимірювання): основної похибки ЗВТ (похибка за нормальних умов експлуатації); додаткової похибки ЗВТ (внаслідок впливу зовнішніх факторів за межами нормальних областей значень); похибка, спричинена варіацією показів ЗВТ; похибка ЗВТ внаслідок тимчасової нестабільності.

Причини і джерела суб'єктивної складової невизначеності результатів випробовування (вимірювання): вплив оператора на ЗВТ та об'єкт випробовування (вимірювання); похибка зчитування даних зі шкали аналогового ЗВТ; похибка округлення отриманих значень величин; неточності реалізації процедур випробовування (вимірювання); порушення інструкції з експлуатації ЗВТ; помилки під час обробки діаграм, таблиць, побудови графіків; помилки під час пересилання (перенесення) даних.

Оцінювання невизначеності

Оцінюють невизначеність як методів випробовування (вимірювання), так і конкретних результатів вимірювання. Оцінка невизначеності, яка характеризує точність методу випробовування (вимірювання) називається апіорною, її визначають: під час розробки методики випробовування (вимірювання) з метою регламентування встановленого значення невизначеності в усіх, передбачених методикою, умовах випробовування; за відсутності методики або встановленого значення невизначеності – перед випробовуванням (вимірюванням), для оцінки найбільшої можливої невизначеності. Актуальною є автоматизація процесу визначення оцінок невизначеності вимірювання [4].

На підставі усієї наявної інформації про причини і джерела невизначеності обчислюють окремі невизначеності за типом В, сумарну стандартну невизначеність та розширену невизначеність. Основою апіорного оцінювання невизначеності є теорія ймовірності, яка дозволяє досліджувати і описувати закони розподілу випадкових величин.

Оцінка невизначеності для конкретних результатів вимірювання є апостеріорною, її визначають безпосередньо після випробовування (вимірювання), за конкретних умов, за визначеною методикою із застосуванням конкретних ЗВТ.

Примітка. Апіорно оцінена невизначеність – найбільша, за найгіршого збігу обставин випробовування, апостеріорна невизначеність результатів конкретного випробовування може бути на порядок меншою.

Оцінювання невизначеності за типом А

1. Якщо кількість дослідів $n < 10$, u_A не оцінюють. Для $10 \leq n < 20$ – якщо закон розподілу ймовірностей невідомий, для оцінювання u_A приймають рівномірний закон. Якщо $n \geq 20$ – закон розподілу ймовірностей визначають апроксимацією експериментальних даних.

2. Для прямого вимірювання результат визначають як середнє арифметичне отриманих значень, тоді невизначеність за типом А обчислюють за формулою:

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n \cdot (n-1)}}, \quad (1)$$

де x_i – отриманий результат вимірювання; $\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$ – середнє арифметичне результатів вимірювання; n – кількість проведених вимірювань.

3. Для опосередкованого вимірювання результат визначають за оцінками декількох величин, тоді невизначеність за типом А обчислюють для кожної вихідної величини:

- якщо значення величини розподілені за рівномірним законом, за формулою:

$$u_A = \frac{b}{\sqrt{3}} \quad (2)$$

де b – півширина інтервалу (для несиметричного закону розподілу $b = ((b+) + (-b))/2$);

- якщо значення величини розподілені за нормальним законом, невизначеність обчислюють як середньоквадратичне відхилення, за формулою:

$$u_A = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (3)$$

У випадку коли дисперсія результатів врахована у невизначеності, то додатково похибку ЗВТ враховувати непотрібно – вона відображена у дисперсії.

Оцінювання невизначеності за типом В

1. Ґрунтуючись на рівнянні залежності вимірюваної величини від вихідних величин складають переліки: вимірюваних вихідних величин; не вимірюваних впливових вихідних величин; введених поправок на відомі систематичні похибки; коефіцієнтів і констант; додаткових похибок тощо.

2. Невизначеності усіх вхідних величин оцінюють інтервалами і перетворюють їх у середньоквадратичне відхилення, при цьому закон розподілу їхніх ймовірностей, якщо він невідомий, приймають рівномірним. Формула перерахування інтервальної оцінки у середньоквадратичне відхилення:

$$s = b/t, \quad (4)$$

де σ – середньоквадратичне відхилення; b – на півширина інтервалу; t – значення функції Лапласа для нормального закону розподілу ймовірностей (або аналог значення функції Лапласа для іншого закону).

Окремі випадки оцінювання невизначеності

1 Невизначеність констант, коефіцієнтів та поправок для констант, коефіцієнтів, а також поправок інтервалами розсіювання є одиниця найменшого розряду їхніх числових значень. Тоді невизначеність обчислюють за формулою:

$$u_B = \frac{q}{2\sqrt{3}}, \quad (5)$$

де q – одиниця найменшого розряду числового значення.

2 Невизначеність зчитування показів з аналогової шкали приладу. Для оцінювання невизначеності зчитування показів з аналогової шкали приймають рівномірний закон розподілу:

$$u_B = \frac{\left(x + \frac{q}{4}\right) - \left(x - \frac{q}{4}\right)}{2\sqrt{3}} = \frac{q}{4\sqrt{3}}, \quad (6)$$

де x – виміряне значення величини; q – ціна поділки шкали приладу.

Якщо шкала нерівномірна, невизначеність оцінюють окремо для кожного діапазону, для якого визначена ціна поділки.

Похибка округлення. Невизначеність заокруглення залежить від кількості значущих цифр, які залишають.

Правила заокруглення результату вимірювання. Спершу округляють значення розширеної невизначеності результату випробовування (вимірювання). Залишають 1 або 2 значущі цифри, застосовуючи ряд: 0,10; 0,15; 0,20; 0,25; 0,3; 0,4; 0,5...

Потім округляють числове значення результату вимірювання, при цьому одиниця найменшого розряду повинна відповідати розмірності невизначеності (похибки). Під час проміжних обчислень залишають на одну значущу цифру більше. Невизначеність округлення визначають аналогічно невизначеності констант, за формулою (5).

Сумарна стандартна невизначеність. Якщо величини, що входять у рівняння, мають різні одиниці вимірювання, то безпосередньо сумувати інтервальні оцінки невизначеності не можна, їх необхідно звести до безрозмірних величин – середньоквадратичних відхилень згідно із формулою (4), за однакових рівнів довіри $P(\delta)$.

Якщо закон розподілу невідомий, то під час перерахунку інтервальної оцінки в середньоквадратичне відхилення, приймають рівномірний закон, а під час перерахунку середньоквадратичного відхилення в інтервальну оцінку – нормальний закон. Тобто значення функції Лапласа t або його аналогу обирають таким, щоб забезпечити «запас» невизначеності. Якщо закон розподілу відомий, то коефіцієнт для перерахунку приймають згідно з цим законом.

1. Під час вимірювання показників якості текстильних матеріалів сумарну стандартну невизначеність типу A визначають за формулою для некорельованих величин:

$$u_{CA} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \cdot u_A^2(x_i)}, \quad (7)$$

де $f(x_1, x_2, \mathbf{K}, x_n)$ – залежність вимірюваної величини від вхідних величин (рівняння вимірювання);

$\frac{\partial f}{\partial x_i}$ – коефіцієнт впливу (ваговий коефіцієнт), який визначають як часткову похідну рівняння залежності

вимірюваної величини за однією з вихідних величин. Коефіцієнт впливу (ваговий коефіцієнт) відображає як зміна даної вхідної величини може впливати на результат вимірювання; $u_A(x_i)$ – стандартна невизначеність за типом A вихідної величини.

2. Сумарну стандартну невизначеність типу B визначають за формулою:

$$u_{CB} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 \cdot u_B^2(x_i) + u_B^2(x_i)}, \quad (8)$$

де $u_B(x_i)$ – стандартна невизначеність за типом B величин, що входять у рівняння залежності вимірюваної величини; $u_B(z_i)$ – стандартна невизначеність за типом B величин, що не входять у рівняння залежності вимірюваної величини.

Якщо впливовий фактор не входить у рівняння залежності вимірюваної величини, його враховують у невизначеності, але без урахування коефіцієнту впливу (вагового коефіцієнту).

3. Тоді, сумарна стандартна невизначеність:

$$u_C = \sqrt{u_{CA}^2 + u_{CB}^2}, \quad (9)$$

Розширена невизначеність. Розширену невизначеність визначають за наступною формулою:

$$U = k \cdot u_C, \quad (10)$$

де k – коефіцієнт охоплення, який залежить від заданого рівня довіри $P(\delta)$ і ефективного числа ступенів волі. Порядок визначення ефективного числа ступенів волі викладений у [7–9].

Для рівня довіри $P(\delta) = 0,95$ за нормального закону розподілу ймовірностей коефіцієнт охоплення $k = 1,96$, за рівномірного закону розподілу – $k = 1,65$.

Висновки

1. Термін «невизначеність вимірювання» можна трактувати як параметр, який характеризує розсіювання значень. Невизначеність вимірювання включає в себе складові, які викликані систематичними впливами.

2. Оцінка невизначеності, яка характеризує точність методу випробовування (вимірювання) називається апіорною, її основою є теорія ймовірності, яка дозволяє досліджувати і описувати закони розподілу випадкових величин. Оцінка невизначеності для конкретних результатів вимірювання є апостеріорною, її визначають безпосередньо після випробовування (вимірювання), за конкретних умов, за визначеною методикою із застосуванням конкретних ЗВТ.

3. Апіорно оцінена невизначеність – найбільша, за найгіршого збігу обставин випробовування, апостеріорна невизначеність результатів конкретного випробовування може бути на порядок меншою.

4. Невизначеність визначення вимірюваної величини є мінімальною невизначеністю вимірювання. Цей інтервал, який називається вимірюваним значенням величини, може бути представлений одним з його значень.

Література

1. Про метрологію та метрологічну діяльність : Закон України № 113/98-ВР від 11.02.1998» (зі змінами, внесеними згідно із Законом № 762-IV від 15.05.2003, в редакції Закону № 1765-IV від 15.06.2004). [Електронний ресурс]. – Режим доступу : zakon.rada.gov.ua/laws/show/113/98-вр.
2. Чалый В.П. Неопределенность и погрешность, их сходство, различие и употребление в разных метрологических процедурах / В.П. Чалый // Збірник наукових праць. Системи обробки інформації. – вип. 7(56). Невизначеність вимірювання: наукові, нормативні та прикладні аспекти, 2006. – С. 82–86.
3. Захаров И.П. Теория неопределенности в измерениях : [учеб. пособие] / И.П. Захаров, В.Д. Кукуш. – Харьков, Консум, 2002–256 с.
4. Новиов В.В. Автоматизация процесса вычисления оценок неопределенности вычислений / В.В. Новиов, А.Н. Коцюба // Системи обробки інформації. – Харків, 2006. – Вип. 7 (56). – С. 59–61.
5. Мержиевська В.В. Оцінювання невизначеності вимірювання параметрів автомобільних двигунів під час стендового випробовування / В.В. Мержиевська // Системи обробки інформації. – Харків. – 2008.
6. Паракуда В.В. Еволюція вимог до метрології / В.В. Паракуда, Б.Д. Колпак, В.П. Чалый // Український метрологічний журнал. – 2005. – № 3. – С. 56–60.
7. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: First edition. – ISO, Switzerland, 1993.
8. ДСТУ-Н РМГ 43:2006 Метрологія. Застосування «Руководства по выражению неопределенности измерений» (РМГ 43:2001, IDT).
9. Настанова з оцінювання невизначеності вимірювання результатів кількісних випробувань: Технічний звіт EUROLAB № 1/2006//Переклад з англ. та науково-технічне редагування: А. В. Абрамов; А. М. Коцюба, В. М. Новіков. – Київ, Євролаб-Україна, 2008. – 51 с.

Рецензент: д.т.н. Супрун Н.П.
Надійшла 10.2.2012 р.

УДК 681.51

Я.М. НИКОЛАЙЧУК, Н.Г. ШИРМОВСЬКА
Інститут мікропроцесорних систем енергетики НАН України

БАЗИС ГАЛУА ТА ЙОГО ВИКОРИСТАННЯ ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ СТАНІВ КВАЗІСТАЦІОНАРНИХ ОБ'ЄКТІВ

Теоретико-числові бази є фундаментальними теоретичними основами систем числення та методів кодування даних. Базис породжується системами ортогональних функцій. Математичною основою теоретико-числових базисів є системи ортогональних функцій на деякому інтервалі зміни аргументу.

Theoretical and numerical bases are fundamental theoretical foundations of number systems and methods of data encryption. Basis generated by systems of orthogonal functions. Mathematical foundation of theoretical and numerical bases is a system of orthogonal functions on some interval change argument.

Ключові слова: квазістаціонарні об'єкти, коди поля Галуа.

Вступ

Вибір базисної функції виконується залежно від системних характеристик різних каналів зв'язку та умов експлуатації комп'ютерних систем. В сучасних комп'ютерних та телекомунікаційних системах широко використовуються теоретико-числові бази на основі кусково-змінних дискретних функцій, які забезпечують значно простішу реалізацію цифрових генераторів, а також спрощують алгоритми цифрового приймання сигналів [1].

Розробка базисів на основі систем кусково-постійних ортогональних функцій, до яких належать відомі базиси: унітарний, Хаара, Крейга, Радемахера, Крестенсона, Галуа та ін. [2, 3], дозволила суттєво спростити цифрове оброблення базисних функцій на основі їх представлення у вигляді логічних кодових матриць.

З метою оцінки ефективності кодування даних на основі різних теоретико-числових базисів доцільно провести аналіз кодових матриць, які породжують різні системи числення. При цьому важливою характеристикою кожного базису є об'єм його кодової матриці M_j та число активних елементів m_j , що визначає характеристики надлишковості представлення інформації на основі аналітичної оцінки:

$$V_i = n_j \cdot N_j,$$

де n_j – розрядність числа; N_j – число незалежних кодових значень.

Огляд літератури та постановка задачі дослідження

Кодова послідовність Галуа базується на основі базису Галуа (рис. 1).

Коди поля Галуа [1] за загальною класифікацією відносяться до підкласу циклічних блокових кодів, які володіють всіма основними властивостями завадозахищених кодів. В блокових кодах, показаних на рис. 2, послідовність елементарних повідомлень розбивається на блоки символів ($B_1, B_2, B_3, \dots, B_n$) фіксованої довжини K , кожному з яких ставиться в відповідності певна комбінація символів кодового слова ($b_1, b_2, b_3, \dots, b_n$). Циклічні коди відносяться до систематичних кодів. Для даних кодів можна записати відповідний їм аналітичний вираз, чи деяке логічне співвідношення, яке визначається правилами створення цих кодів. Найбільш зручною формою представлення циклічних кодів – використання алгебраїчного виразу [1].

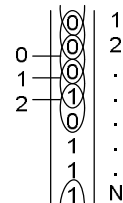


Рис. 1. Представлення коду Галуа

$$G(x) = a_{n-1} \cdot x^{n-1} + a_{n-2} \cdot x^{n-2} + \dots + a_1 \cdot x + a_0,$$

де $a_{n-1} - a_0$ – числа, що дорівнюють «0» чи «1», які визначають відповідні значення розрядів кодових комбінацій. Таким чином, дія над циклічними кодами зводиться до дії над відповідними математичними виразами. Коефіцієнти однакових степенів додаються за модулем 2. Дані коди є одними з найбільш досконалою упаковкою інформації.

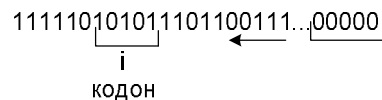


Рис. 2. Формування коду Галуа

Найбільш ефективно переваги даного базису можна використати при кодуванні інтегральних значень, оскільки при інтегруванні кожне наступне значення збільшується на одиницю. Тому, на відміну від базису Радемахера, кожне дискретне значення інтеграла функції $x(t)$ замість n -розрядного двійкового коду фіксується одним бітом Галуа [1].

Вдосконалення методів діагностування квазістаціонарних об'єктів на основі кодів поля Галуа

Значні успіхи у розвитку теоретичних засад кодування дискретних джерел інформації досягнуто на основі інформаційних технологій у теоретико-числовому базисі (ТЧБ) Галуа [3,4].

Особливістю ТЧБ Галуа є найвища компактність представлення даних, рекурентність, захищеність від помилок, нелінійність перетворень та інше. Даний базис породжує систему числення Галуа та коди поля Галуа (КПГ). КПГ широко використовується в сучасних інформаційних системах для кодування, передавання, захисту від помилок, стиснення та цифрового арифметико-логічного опрацювання даних.

Фундаментальною основою інформаційної технології перетворення та кодування даних у базисі Галуа є теорія чисел, а також теорія алгебраїчних та абелевих груп [5].

Просте поле Галуа утворюється повною системою найменших невід'ємних залишків по модулю простого числа P , яке позначається через $GF(P)$ або конкретніше G_r^P , де P – модуль, r – довжина кодового ключа. Кодовий ключ r визначається на основі незвідного полінома відповідного степеня і дозволяє рекурентно генерувати КПГ на основі логічного рівняння

$$G_{i+1} = a_i G_i \oplus a_{i-1} G_{i-1} \oplus \dots \oplus G_{i-r}, \tag{1}$$

де \oplus – операція визначення залишку за модулем P згідно з виразом

$$G_i \oplus G_{i-j} = \text{res}(G_i + G_{i-j}) \text{ mod } P;$$

коефіцієнти $a_i \in \overline{0,1}$, які визначаються рівнянням незвідного полінома

$$a_n x^n + a_{n-1} x^{n-1} + \dots + 1. \tag{2}$$

Залежно від величини простого модуля $P = 2, 3, 5, 7, 11, \dots$ утворюється для $P = 2$ бінарні КПГ, які породжують відомі послідовності максимальної довжини (M -послідовності), коди Баркера та їх модифікації, а також двовимірні шумоподібні коди [3]. При цьому у виразі (1) операція \oplus вироджується у виконання булевої операції еквівалентності (виключне АБО).

В полі Галуа арифметичні операції додавання, віднімання, множення та ділення виконуються за

модулем P .

Існують незвідні поліноми, які породжують КПП на основі рекурсії $G_{i+1} = G_i \oplus G_{i-r}$, які дозволяють генерувати КПП за модулем $P = 2, 3, 5, 7$ найбільш простими апаратно-програмними засобами (табл. 3) [6].

Таблиця 3

Кодові ключі генерації КПП			
P	r	Незвідний поліном	r
2	3	$x^3 + x + 1$	2
	4	$x^4 + x + 1$	3
	5	$x^5 + x^2 + 1$	3
	6	$x^6 + x + 1$	5
	7	$x^7 + x + 1$	6
	9	$x^9 + x^4 + 1$	5
	10	$x^{10} + x^3 + 1$	7
	11	$x^{11} + x^2 + 1$	9
	15	$x^{15} + x + 1$	14
	17	$x^{17} + x^3 + 1$	14
	18	$x^{18} + x^7 + 1$	11
	20	$x^{20} + x^3 + 1$	17
	21	$x^{21} + x^2 + 1$	19
	22	$x^{22} + x + 1$	21
	23	$x^{23} + x^5 + 1$	18
25	$x^{25} + x^3 + 1$	22	
3	3	$x^3 + 2x + 1, x^3 = x + 2$	2
9	4	$x^4 + x + 2, x^4 = 2x + 1$	3
5	2	$x^2 + x + 3, x^2 = 4x + 2$	1
7	2	$x^2 + x + 3, x^2 = 6x + 4$	1

Слід зазначити, що для отримання повнорозрядного КПП довжиною 2^P необхідно виконати операцію біт-стафінгу (вставки нуля) в кінці $P-1$ розрядної послідовності нулів прогенерованої M - послідовності, яка має довжину $2^P - 1$ і не відповідає повноті залишків простого поля Галуа.

Наприклад:

$$G_2^4 \Rightarrow G_{i+r} = G_i \oplus G_{i-3} \Rightarrow (1111010110010000);$$

$$G_2^{10} \Rightarrow G_i \oplus G_{i-9} \Rightarrow (1111111110101010101001...0000000000...);$$

$$G_3^3 \Rightarrow G_{i+1} = 2G_i \oplus G_{i-1} + 2G_{i-2} \Rightarrow (2221201011002111210202200001222).$$

Легко показати, що існують інверсні КПП, які утворюються шляхом інвертування кодів \bar{G}_i . Тобто для G_2^4 :

$$\bar{G}_2^4 \Rightarrow (0000101001101111).$$

Рекурентні властивості кодів базису Галуа дозволяють реалізувати вертикальну інформаційну технологію кодування чисел та представлення даних [3].

Вказана технологія забезпечує можливість інкрементного біт-орієнтованого формування інформаційних потоків, коли код двійкового числа базису Радемахера предсвляється одним бітом Галуа. Тобто нехай маємо код поля Галуа G_2^4 у вигляді послідовності $G_0, G_1, \dots, G_i, G_{15}$, кожному біту якої відповідає двійковий код базису Радемахера:

$$R \left\{ \begin{array}{l} G \{ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \} \\ \left[\begin{array}{cccccccccccccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 \end{array} \right] \end{array} \right.$$

На основі вертикальної інформаційної технології кодування даних у базисі Галуа автором розроблена інтегрально-імпульсна технологія (ІТ) кодування вимірвальної інформації у базисі Галуа [3] (рис.3).

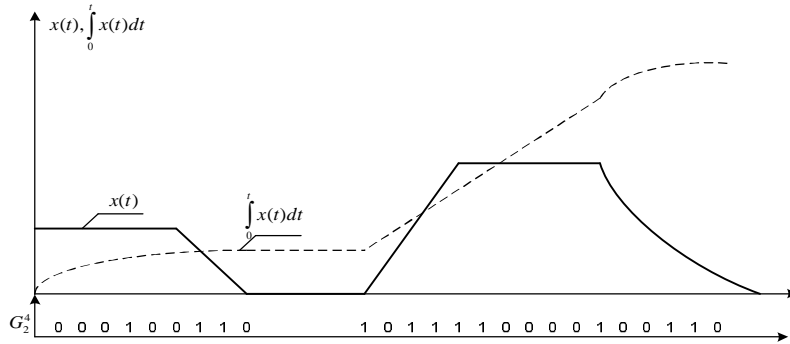


Рис. 3. Формування КППГ на основі інтегрально-імпульсної інформаційної технології у базисі Галуа

Як показано в роботі [3] ПТ має ряд переваг у порівнянні з традиційним кодуванням даних у базисі Радемахера наступного характеру:

- зменшення надлишковості вимірюваних даних, що реєструються та передаються по каналах зв'язку;
- відсутність необхідності інтегрування даних в задачах обчислення статистичних характеристик потоків інформації або визначення витрат енергоносіїв;
- можливість визначення миттєвих значень вимірюваних величин на основі різниць інтегралів або частоти формування бітів Галуа;
- висока завадозахищеність інформації за рахунок рекурентних властивостей кодів поля Галуа та можливість виявлення і виправлення помилок в інформаційних потоках.

Перераховані позитивні властивості кодів поля Галуа створюють перспективу їх ефективного застосування в задачах діагностування станів квазістаціонарних об'єктів та підвищення інформативності ЛСІМ.

Метод двохбітового кодування станів та діагностування об'єктів управління на основі базисних функцій Галуа нульового порядку

Слід визначити, що відомі широко застосовувані ЛСІМ-1-4 [7, 8] формують біт-орієнтовані потоки, які вразливі особливо в каналах зв'язку на ефекти стирання або вставок окремих бітів, що не дозволяє надійно ідентифікувати часові моменти виникнення передаварійних, аварійних та інших нештатних ситуацій на об'єктах контролю та управління.

В роботі [3] викладено застосування кодів поля Галуа для реєстрації та ідентифікації моментів зміни станів ОУ на основі базисних функцій Галуа нульового та першого порядку. Функціональним обмеженням даного способу кодування станів ОУ є відсутність інформації про апертуру ЛСІМ-1 [8].

Нами запропонований метод кодування ОУ та ідентифікації станів норми на основі двохбітових послідовностей Галуа вигляді інформаційного потоку:

$$\left\{ \begin{matrix} \bar{G}_i & G_i & G_i & \bar{G}_i & G_j & G_j & \dots & \bar{G}_j & \dots & G_k & G_k & \bar{G}_k \\ g_1 & g_2 & \dots & \dots & \bar{g}_i & \bar{g}_{i+1} & \dots & \dots & \dots & g_{n-2} & g_{n-1} & g_n \end{matrix} \right\},$$

де i, j, k – відповідні амплітудні стани ОУ; $\bar{G}_i, \bar{G}_j, \bar{G}_k$ – відповідні інтегровані біти рекурентних G – послідовностей Галуа з i, j, k – ключами, g_i – біт КППГ, який відображає моменти переходу ОУ за границі апертури (рис. 4).

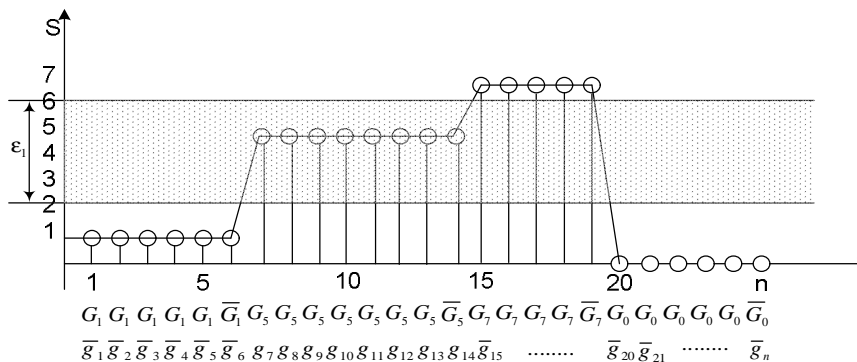


Рис. 4. Метод двохбітового кодування станів ОУ на основі обмежень апертури та базисних функцій Галуа нульового порядку

Розглянемо приклад двохбітового кодування станів ОУ для наступних дискретних параметрів станів:

- об'єм вибірки $n = 1024$;

- число ідентифікованих станів ОУ $S = 8$;
- розрядність ключів базисних функцій Галуа $k = 4$;
- розрядність кодів поля Галуа реєстрації ЛСІМ-1 $n = 10$.

В табл. 4 показано приклад формування двохбітових маніпульованих кодів полів Галуа, які кодують стани ОУ з врахуванням норми на фоні їх еталонних неманіпульованих послідовностей.

Таблиця 4

Коди поля Галуа		Неманіпульовані та маніпульовані коди поля Галуа																							
G_0^k, g_2^m		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	...	n
n		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	...	n
g_2^{10}		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	...	0
G_2^n		1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	...	0
$G_{i,j,k}$		1	1	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	1	...	x
g_n		0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	...	1

Запропоноване рішення ідентифікації коду стану ОУ та кодів ЛСІМ-1 у базисі Галуа має практичне застосування коли ОУ переходить з одного стаціонарного стану в інший. Такими об'єктами є технологічні установки буріння та електроенергетики, а також об'єкти з циклічним та дискретним процесом виробництва.

Коли динаміка станів ОУ описується функціями першого порядку з постійними додатними чи від'ємними приростами аналогічно для діагностування станів та відхилень від норми ОУ використовують базисні функції Галуа першого порядку. На рис. 5 показана реалізація способу кодування станів такого класу ОУ в базисі Галуа.

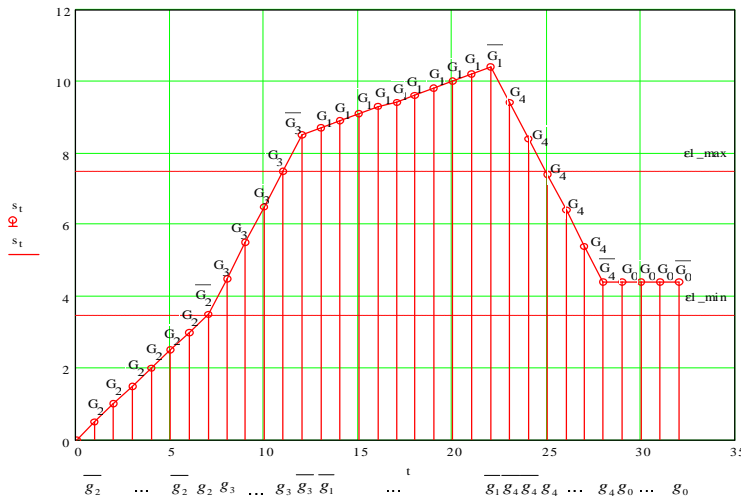


Рис. 5. Ідентифікація станів ОУ на основі базисних функцій Галуа першого порядку

Метод ідентифікації кластерних переходів на основі КПП

Важливим параметром ідентифікації відхилень від норми перед аварійних та аварійних нештатних переходів ОУ з S_j в S_g стани є їх кластеризація, що демонструє приклад на рис. 6.

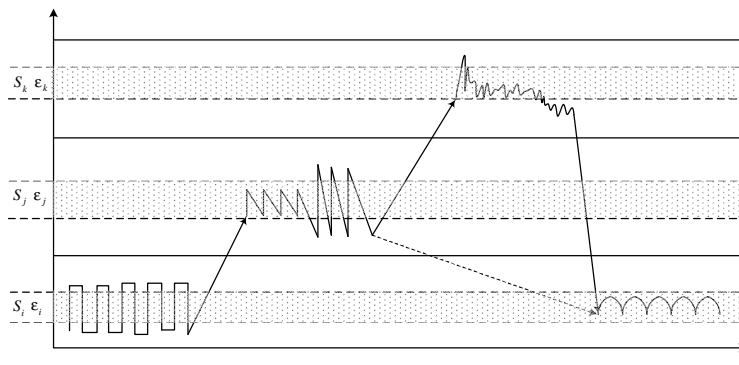
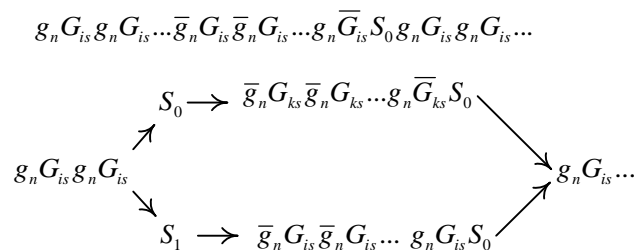


Рис. 6. Кластеризація станів квазістаціонарних ОУ в часі T

З рис. 6 видно, що в кластерах станів S_i, S_j, S_k , які групують певне їх число у кожному з них для квазістаціонарних ОУ повинні виконуватись оцінки ЛСІМ-1-5 згідно з e_i, e_j, e_k апертурами, а також контролюватися згідно з матрицею коефіцієнтів взаємкореляції $|P_{ij}|$ режимні штатні переходи $S_i \rightarrow S_j \vee S_k$, $S_j \rightarrow S_i \vee S_k$ та $S_k \rightarrow S_j \vee S_i$. Таким чином виникає необхідність розв'язання задачі відповідного синхронного кодування та ідентифікації відхилень від норми станів ОУ не тільки в межах кластера станів, а також появу нештатного переходу (на рис. 6 показано штрихпунктиром).

Застосування вертикальної інформаційної технології у базисі Галуа дозволяє реалізувати можливість компактного кодування даних на низовому рівні комп'ютеризованих систем. При цьому доцільно використати інтегровані біти $G_{i,jk}$, які реєструють початок процесів переходу ОУ з одного S_i -стану в інший S_j або S_k стани. Процес виявлення та реєстрації нештатного переходу ОУ з одного кластера стані у інший виконується шляхом порівняння факту даного переходу з відповідним коефіцієнтом кластерної матриці $|P_{ij}|$ згідно з умовою $P_{ij}^* > a$, де a задане в границях $0 \leq a \leq 1$.

Таким чином розроблений метод ідентифікації станів на основі інтегральної теорії у теоретико-числовому базисі Галуа необхідно функціонально розширити введенням додаткового біта "0" – норма, "1" – не норма, або групи бітів "00" – норма, "01" – відхилення, "10" – передаварія, "11" – аварія на границях переходів ОУ з одного кластера в інший. Тобто у результаті (рис. 6) отримуємо кодову послідовність Галуа наступного виду:



Даний метод при реалізації відповідними програмно-апаратними засобами дозволяє одночасно реєструвати та ідентифікувати відхилення від норми станів ОУ в границях окремого кластера згідно з перевіркою умов апертури e_i, e_j, e_k , а також реєструвати моменти часу, коли відбуваються події нештатних переходів з одного стану в інший. При цьому повинна вибиратися відповідна розрядність кодового ключа кодів поля Галуа g_n .

При реєстрації та відображенні станів ОУ в границях ергономіки сприйняття динаміки подій на дисплеї для оператора $t = 0.8 - 2.4$ с в границях однієї доби необхідно застосувати кодовий ключ Галуа з відповідною розрядністю 17 та 16 біт згідно з відповідними незвідними многочленами (табл. 4) [3] та кодовими ключами:

$$\Delta t = 0.8c; \quad x^{17} \oplus x^3 \oplus 1; \quad G_{i+1} = G_i \oplus G_{17}; \quad \Delta t = 2.4c; \quad x^{16} \oplus x^{12} \oplus x^3 \oplus x^1 \oplus 1; \\
 G_{i+1} = G_i \oplus G_{i-n} \oplus G_{i-13} \oplus G_{i-15}.$$

Висновок

Розроблений метод дозволяє більше ніж на порядок зменшити об'єми інформаційних потоків, які опрацьовуються комп'ютерами та серверами цехових рівнів, а також відповідно зменшити масиви інформації, які документуються в базах даних та базах знань.

Література

1. Петришин Л.Б. Цифровая обработка сигналов на основе преобразования кодов поля Галуа / Л.Б. Петришин, Я.М. Николайчук, С.М. Ищеряков // Методы и микроэлектронные средства цифровой обработки и преобразования сигналов. – Рига : ИЭВТ АН Латвии. – 1989. – С. 130–132.
2. Залмазон Л.А. Преобразование Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях / Залмазон Л.А. – М. : Наука, 1989. – 496 с.
3. Николайчук Я.М. Теорія джерел інформації : [монографія] / Николайчук Я.М. – Тернопіль : ТНЕУ, Економічна думка, 2008. – 396 с.
4. Николайчук Я.М. Проектування спеціалізованих комп'ютерних систем : [навчальний посібник] / Николайчук Я.М., Возна Н.Я., Пітух І.Р. – Тернопіль : ТзОВ «Терно-граф», 2010. – 392 с.
5. Бухштаб А.А. Теория чисел / Бухштаб А.А. – М. : Просвещение, 1966. – 384 с.
6. Алексеев В.Е. Основы информационных технологий. Графы и алгоритмы. Структуры данных. Модели вычислений / Алексеев В.Е. – М. : Сов. Радио. – 1968. – 460 с.
7. Лучук М.А. Идентификация информационных состояний объектов исследования на основе

системы логико-статистических информационных моделей. / М.А. Лучук, Л.И. Жуган, Я.М. Николайчук, Б.М. Шевчук // Ин-т кибернетики им. В.М. Глушкова АН УССР. – Киев, Препринт 88–45 ИК АН УССР. – 1988.

8. Андрушко І.В. Інформаційні технології побудови модифікацій амплітудної логіко-статистичної інформаційної моделі / І.В. Андрушко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – № 4. – Т. 2. – С. 140–146.

Рецензент: д.т.н. Горбійчук М.І.
Надійшла 8.2.2012 р.

УДК 621.395.664

А.А. ТАРАНЧУК, І.О. НЕЧИПОРУК, О.В. ПОМОРОВА
Хмельницький національний університет

ЕФЕКТ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЕХА В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ З ПАКЕТНОЮ ПЕРЕДАЧЕЮ ІНФОРМАЦІЇ

Проведений аналіз причин виникнення ефекту електричного еха в мережах з пакетною комутацією каналів та надані рекомендації щодо його можливого усунення.

The analysis of origins of effect of an electric echo in networks with package channel switching is carried out, recommendations about its possible suppression are made.

Ключові слова: IP- телефонія; електричне ехо; пакетна передача; затримка сигналу

Вступ. Найбільш популярною на сьогодні технологією пакетної передачі інформації є передача мови по мережах пакетної комутації – концепція “Voice over IP” (VoIP) – з використанням алгоритмів низькошвидкісного кодування мовних сигналів. Сучасне поняття IP-телефонії містить у собі деяку системну сукупність технологій, що забезпечують організацію телефонних з'єднань із використанням протоколів пакетної передачі IP. Передача пакетів може бути здійснена по різних каналах і мережах. У найпростішому випадку для організації, наприклад, внутрішньої телефонної мережі може бути використана локальна обчислювальна мережа якогось підприємства; такий тип додатків прийнято називати LAN-телефонією. Для передачі телефонних повідомлень може бути використана глобальна мережа Інтернет, такий вид зв'язку прийнято називати Інтернет-телефонією [1].

Підключення абонентів до мереж IP-телефонії здійснюється за допомогою спеціальних пристроїв, що одержали назву шлюзів, або з використанням спеціалізованих телефонних апаратів, що суміщають функцію шлюзів. У багатьох випадках у якості термінального пристрою IP-телефонії використовуються персональні комп'ютери, які працюють під керуванням спеціалізованого програмного забезпечення, у тому числі і ті, що використовують бездротове підключення до мережі.

Для передачі пакетів зазвичай використовується протокол RTP (Real-Time Transport Protocol) [2, 3], як правило, поверх UDP (рідко TCP), механізм реагування на зміни в мережі підтримується за допомогою протоколу RTCP (RTP Control Protocol). За замовчуванням довжина пакета встановлюється розраховуючи на тривалість відрізка мовного сигналу, рівною 20 мс. Мітки часу, передані у складі протоколу RTP, зазвичай використовуються для правильного відновлення мовного сигналу із прийнятих пакетів. Керування процесом установа з'єднань зазвичай здійснюється за протоколом SIP (Session Initiation Protocol) [4].

IP-телефонія є однією з областей передачі даних, де всі процеси передачі інформації повинні відбуватися в режимі реального часу й де особливо важлива динаміка передачі сигналу, яка забезпечується сучасними методами кодування й передачі інформації; у результаті збільшується пропускна здатність каналів у порівнянні із традиційними телефонними мережами.

Використання технології VoIP призводить до збільшення часу поширення сигналів навіть у відносно «коротких» каналах і, як наслідок, появи в них ехосигналів, які сильно впливають на якість IP-мережі. Виявлення причин виникнення ефекту електричного еха, а також пошук методів його придушення в телекомунікаційних мережах на теперішній час є одним з актуальних завдань.

Метою роботи є вивчення причин виникнення ефекту електричного еха в мережах з пакетною комутацією каналів та надання рекомендацій по його можливному усуненню.

Основний розділ

Одним з головних факторів, які впливають на якість IP-мережі, є затримка – проміжок часу, необхідний для передачі пакета через мережу. Затримка створює незручності при веденні діалогу, приводить до перекриття розмов і виникненню еха. Ехо – це витік голосу із тракту передачі в тракт приймання. Ехо стає важкою проблемою, коли затримка в петлі передачі більше, ніж 50 мс.

Ускладнення діалогу й перекриття розмов стають серйозним питанням якості, коли затримка в одному напрямку передачі перевищує 250 мс. Можна виділити наступні джерела затримки при пакетній передачі мови від одного абонента до другого (рис. 1) [5]:

- Затримка накопичення (іноді називається алгоритмічною затримкою): ця затримка обумовлена необхідністю збору кадру мовних відліків, виконувана в мовному кодері. Величина затримки визначається

типом мовного кодера й змінюється від невеликих величин (0,125 мкс) до декількох мілісекунд. Наприклад, стандартні мовні кодери мають наступні тривалості кадрів: G.729 CS-ACELP (8 кбіт/с) – 10 мс; G.723.1 - Multi Rate Coder (5,3 та 6,3 кбіт/с) – 30 мс.

Затримка обробки процесора й збору закодованих відліків у пакети для передачі через пакетну мережу створює певні затримки. Затримка кодування або обробки залежить від часу роботи процесора й використовуваного типу алгоритму обробки. Для зменшення завантаження пакетної мережі зазвичай декілька кадрів мовного кодера поєднуються в один пакет. Наприклад, три кадри кодових слів G.729, що відповідають 30 мс мови, можуть бути об'єднані для зменшення розміру одного пакета.

- Мережева затримка: затримка обумовлена фізичним середовищем і протоколами, використовуваними для передачі мовних даних, а також буферами, використовуваними для видалення джиттера пакетів на прийомному кінці. Мережева затримка залежить від ємності мережі й процесорів передачі пакетів у мережі.

Час затримки при передачі мовного сигналу можна віднести до одного із трьох рівнів [5]:

- Перший рівень до 200 мс – відмінна якість зв'язку. Для порівняння, у телефонній мережі загального користування припустимі затримки до 150–200 мс.

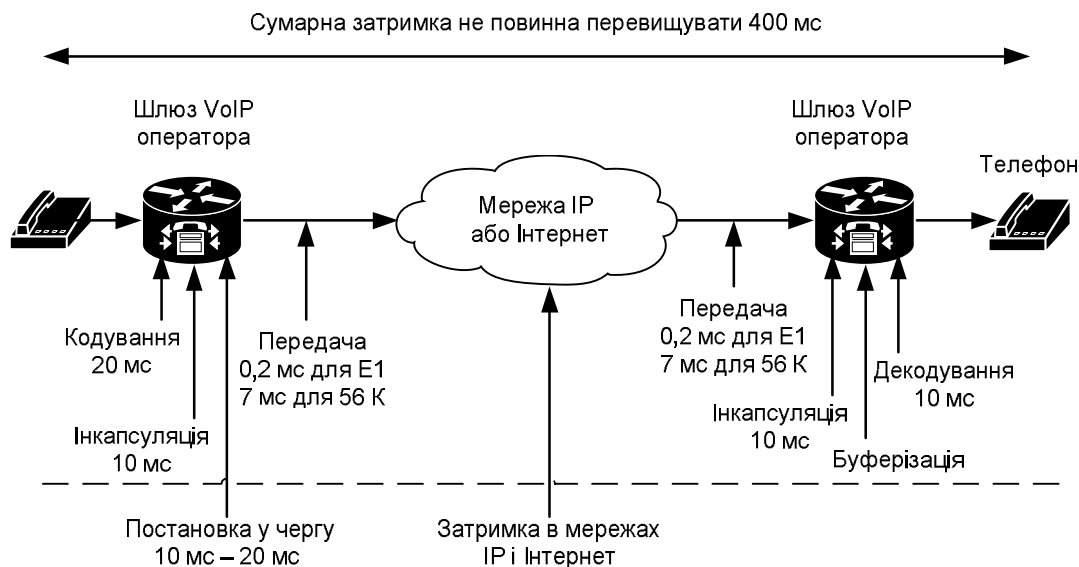


Рис. 1. Складові затримки в мережі IP-телефонії

- Другий рівень до 400 мс – вважається хорошою якістю зв'язку – це прямі VoIP з'єднання, стільникові мережі, супутникові мережі. Як правило, абонент не відчуває затримки якщо не має візуального контакту із протилежною стороною.

- Третій рівень до 700 мс – вважається прийнятною якістю зв'язку для ведення неділових переговорів. Ці затримки виникають при стикуванні декількох мереж, з великими транспортними затримками. У цих мережах спілкування ускладнене із-за великих затримок голосу при розмові абонентів.

Затримки понад 800 мс неприйнятні в мережах IP-телефонії.

Якість Інтернет-телефонії попадає під другий та третій рівні, причому неможливо упевнено сказати, що той або інший провайдер Інтернет-телефонії працює на другому рівні, тому що затримки в мережі Інтернет мінливі. Більш точно можна сказати про провайдерів IP-телефонії, що працюють по виділених каналах. Вони підпадають під 1–2 рівні. Також необхідно враховувати затримки при кодуванні/декодуванні голосового сигналу. Середні сумарні затримки при використанні IP-телефонії зазвичай знаходяться у межах 150–200 мс.

Існує два різні способи виникнення витоку з передавального тракту в прийомний: акустичний і електричний, внаслідок чого виникає ефект еха [6].

Акустичний має на увазі собою потрапляння звуку з динаміків телефонного апарата або колонок комп'ютера в мікрофон або в мікрофонну гарнітуру. Акустичне ехо може мати значну тривалість, а особливо неприємним буває зміна його характеристик при зміні, наприклад, взаємного розташування терміналу і абонента, що розмовляє, або навіть появи інших людей у приміщенні. Ці обставини роблять побудову пристроїв ефективного придушення акустичного еха дуже непростим завданням.

Електричний витік можливий тільки в аналогових трактах. У цифрових системах передачі голосу, до яких відносяться ISDN, ІКМ, VoIP – міжстанційні з'єднання (МЗ) і спеціалізовані цифрові інтерфейси GSM і IP-телефонів, станційні цифрові телефони, витоки не відбуваються. Зазвичай місцями витоку є точки переходу із цифрових МЗ на аналогові дводротові, або переходи із чотиридротових аналогових МЗ на дводротові. Для стикування чотиридротових і дводротових кіл застосовують диференціальні системи, характеристики яких не ідеальні. У результаті сигнал, переданий по вихідній частині чотиридротових кіл, вертається до свого джерела у вигляді ехосигналу. Іншими джерелами еха можуть служити абонентські

пристрої, станційне устаткування, uszkodження каналу передачі. Ефект еха проявляється сильніше зі збільшенням тривалості затримки ехосигналу в ехотракті. Цьому сприяють різні системи перетворення, кодування сигналу, устаткування IP-телефонії.

Також найбільш частим джерелом еха є різні фізичні характеристики жил у парі кабелю. Намокання, погані контакти не дозволяють диференціальним системам на телефонних станціях і телефонних апаратах у достатній мірі компенсувати місцевий ефект.

Для виникнення еха необхідне виконання наступних трьох умов:

- витік в аналогових трактах з передачі на прийом;
- достатня довга транспортна затримка від абонента до місця витоку;
- достатній рівень витоку, щоб бути розпізнаним людським вухом.

На прикладі схеми дзвінка з використанням передплаченої телефонної картки із Хмельницького в Санкт-Петербург розрахуємо односторонню транспортну затримку на даному маршруті (рис. 2). Сигнал надходить від телефонного апарата по дводротовій аналоговій лінії на міську телефонну станцію (МТС). Далі сигнал проходить по цифровим ISDN M3 до шлюзу провайдера, через VoIP мережу до Московського VoIP шлюзу оператора, через цифрову мережу одного із трансросійських телефонних операторів, Санкт-Петербурзьку міжміську станцію, міську телефонну станцію і далі по дводротовій лінії до апарата абонента.

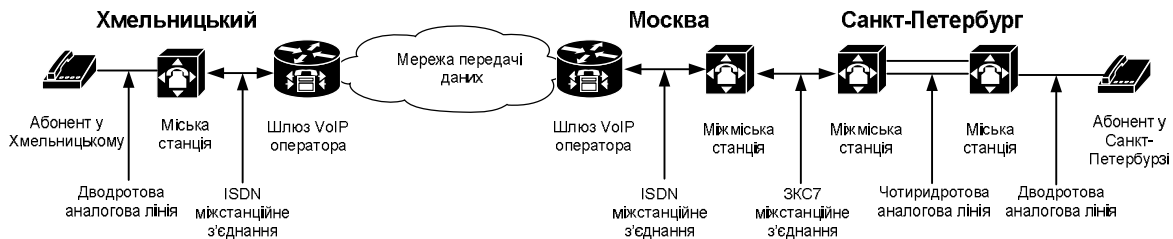


Рис. 3. Схема проходження голосового сигналу

Оцінити затримку можна використовуючи ресурс [7]. Значення транспортної затримки сигналу в оптичних або мідних лініях передачі 0,005 мс / кілометр. Затримка на VoIP передавачах від 20 до 60 мс залежно від алгоритму кодування, розміру пакета й продуктивності процесора кодування. Слід мати на увазі, що основну частку часу поширення часто визначає затримка сигналу в буфері збору (джіттера) пакетів. Цей буфер включений до складу кожного, у тому числі індивідуального, шлюзу, і призначений для відновлення правильного порядку проходження пакетів, що поширюються по різних маршрутах. Ємність буфера повинна встановлюватися у відповідності із очікуваною граничною затримкою пакета в мережі, оскільки всі пакети, що прийшли пізніше, ігноруються. Значення ємності може встановлюватися вручну, однак багато видів шлюзів підтримують функцію адаптивного керування ємністю відповідно до реальної статистики приймання пакетів. Затримка на VoIP приймачах складається із затримки на декодуванні, зазвичай приблизно рівній затримці кодування плюс затримці на джіттер у буфері. Довжина джіттер-буфера зазвичай дорівнює від 20 до 150 мс залежно від стабільності каналу приймання даних.

Отже, затримки на маршруті від Хмельницького до Санкт-Петербурга:

1. Від телефонного апарата абонента до VoIP оператора 10 км · 0,005= 0,05 мс.
2. Транспортна затримка від VoIP шлюзу оператора у Хмельницькому до Києва складе 300 км · 0,005= 1,5 мс.
3. Транспортна затримка в каналах передачі даних від Києва до Москви 2000 км · 0,005=10 мс при наявності прямого каналу на Москву. При з'єднанні з Москвою через Європейських операторів, затримка в каналі складе 40 мс.
4. Від шлюзу в Москві до шлюзу у Санкт-Петербурзі 700 км · 0,005=3,5 мс.
5. Внутрішньоміська затримка в Санкт-Петербурзі дуже мала й порівнянна із затримкою усередині Хмельницького, тобто до 0,01 мс (тобто ними можна знехтувати).

Разом, з урахуванням витрати на кодування (40 мс) і декодування (60 мс) у сумі одностороння затримка в VoIP тракті складе 40+60+40+1,5+3,5=145 мс.

Виходячи з вищесказаного зрозуміло, що джерело еха для абонента із Хмельницького може, перебувати усередині Санкт-Петербурга й відповідно джерелом еха для абонента із Санкт-Петербурга може бути тільки усередині Хмельницького (рис. 3).

Існують два типи пристроїв, призначених для обмеження та усунення шкідливих ефектів еха: ехозагороджувачі та ехокомпенсатори [8].

Принцип роботи ехозагороджувачів простий і полягає у відключенні каналу передачі, коли в каналі приймання присутній мовний сигнал. При використанні ехозагороджувачів зустрічаються певні труднощі. Наявність у каналах шумів не дає можливості створити ехозагороджувачів з високою чутливістю. При включенні ехозагороджувачів погіршується якість зв'язку через, так званий, ефект кліппування (провалля частини початкових і кінцевих складів слів). Подібних проблем дозволяють уникнути більш «інтелектуальні» пристрої – ехокомпенсатори. Ехокомпенсатор – це більш складний пристрій, який моделює ехосигнал для наступного його вирахування із прийнятого сигналу. Він містить у собі два основні елементи

– процесор обчислення функції згортки й нелінійний суматор. Завдання процесора це обчислення часу та амплітуди еха (рис. 4). На суматорі відбувається додавання сигналу, що прийшов з телефонної мережі на шлюз із від'ємним значенням функції згортки.

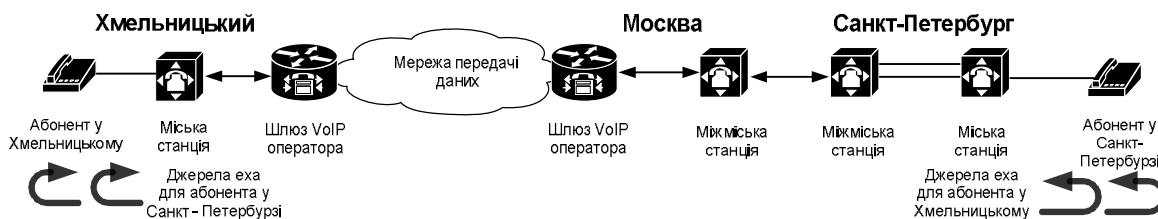


Рис. 3. Джерела виникнення еха в мережі IP-телефонії

Ехо моделюється як зважена сума затриманих копій вхідного сигналу або, іншими словами, як згортка вхідного сигналу з оціненою імпульсною характеристикою каналу. Оцінка імпульсної характеристики відбувається в той момент, коли розмовляє тільки віддалений абонент, для чого використовується детектор одночасної мовної активності. Після вирахування синтезованої копії ехосигналу із сигналу зворотного напрямку отриманий сигнал зазнає нелінійної обробки для збільшення ступеня придушення еха (придушення дуже слабких сигналів).

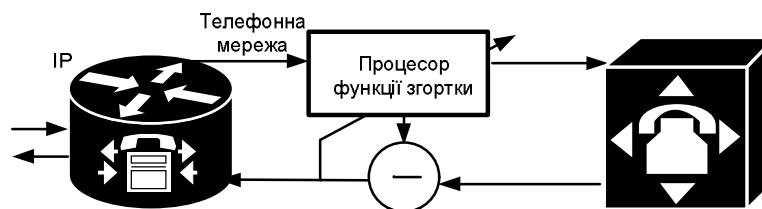


Рис. 4. Робота пристрою ехопридушення

Оскільки ехо моделюється тільки як лінійний феномен, будь-які нелінійні процеси на шляху його виникнення приводять до погіршення роботи ехокомпенсатора. Використання більш складних алгоритмів дозволяє придушувати ехо, що представляє собою не тільки затриманий, але й зсунутий по частоті сигнал, що часто відбувається через наявність у телефонних мережах загального користування застарілих частотних систем передачі. Ехокомпенсатор повинен зберігати амплітуди ехосигналів, затриманих на час від нуля до тривалості самого тривалого ехосигналу, що придушується. Це значить, що ехокомпенсатори, розраховані на придушення більш тривалих ехосигналів, вимагають для своєї реалізації більшого обсягу пам'яті й більшої продуктивності процесора.

По викладених причинах ехокомпенсатори є невід'ємною частиною шлюзів IP-телефонії. Алгоритми ехокомпенсації реалізуються зазвичай на базі тих же цифрових сигнальних процесорів, що й мовні кодеки, і забезпечують придушення ехосигналів тривалістю до 32–64 мс [9].

Так, для нашого прикладу наведеного вище, ехокомпенсатор на Московському голосовому шлюзі приймає сигнал, який прийшов із Хмельницького шлюзу через VoIP мережу. З іншого боку, той же шлюз приймає телефонний сигнал із Санкт-Петербурга, що складається з ослабленого сигналу із Хмельницького й корисного сигналу із Санкт-Петербурга. Завдання ехокомпенсатора у Москві вилучити із сигналу, що прийшов із Санкт-Петербурга голосову складову сигналу із Хмельницького. Тобто, якщо абонент у Хмельницькому чує ехо, це свідчить про те, що ехокомпенсатор у Москві не в змозі вилучити витік із тракту прийому до тракту передачі. Тобто, на практиці придушення ехосигналів у каналах IP- телефонії демонструє далеко не завжди достатню ефективність роботи вбудованих в устаткування шлюзів пристроїв ехопридушення (ПЕП) [10].

Обмежена пропускна здатність мереж поряд із прагненням до економії ресурсів змушує як операторів IP мереж, які обслуговують абонентів мережі загального користування, так і абонентів, що виходять у мережу з індивідуальних шлюзів, підвищувати ємність буфера з метою мінімізації втрат переданих пакетів. Для розглянутого вище прикладу, коли ми маємо справу з телефонною мережею від Хмельницького до Санкт-Петербурга розмір буфера для аналізу історії, повинен перевищувати значення транспортної затримки мережі в обидва кінця. Тобто, для розглянутого вище випадку він повинен бути більше 50 мс. Відповідно, для стикувань VoIP устаткування з мобільними мережами, або іншими VoIP мережами через аналогові канали необхідно вибирати устаткування з можливістю аналізу еха на досить довгому інтервалі часу. З іншого боку, обчислення функції згортки на тривалому інтервалі це функція, що вимагає більших обчислювальних потужностей процесора. Тобто, для VoIP шлюзів, у яких ехопридушення здійснює центральний процесор, викликає істотне зниження продуктивності всієї системи.

Оскільки в більшості шлюзів, що випускаються в цей час, ємність буфера відповідає затримці сигналу в 300 мс, це значення, як правило, установлюється додатково до затримки, внесеної іншим

встаткуванням. Таким чином, загальна затримка сигналу в мережах IP-телефонії цілком порівнянна із затримкою в супутникових каналах зв'язку й вимагає використання пристроїв ехопридушення [11].

При цьому провалля пакетів (до 5%), використання функції детектування голосової активності, стиск мови й інші фактори нівелюють різницю в якості телефонної передачі, досягне при використанні, компенсаційних і загороджувальних механізмів. Таке положення змушує багатьох операторів і споживачів послуг IP-телефонії використовувати повнофункціональні ПЕП загороджувального типу, які забезпечують стійке двостороннє придушення ехосигналів як для своїх абонентів, так і для їхніх співрозмовників.

Головною особливістю придушення ехосигналів у двосторонньому режимі в з'єднаннях IP – телефонії є істотний вплив змін ємності буфера збору (джіттера) пакетів у процесі розмови на ефективність роботи ПЕП. Ефективне двостороннє придушення ехосигналів у таких з'єднаннях може бути забезпечене тільки при відключеній функції адаптивного настроювання ємності буфера.

Непридушені ехосигнали в каналах IP-телефонії будуть впливати як на ефективність (пропускну здатність) мереж, так і на якість телефонної передачі при використанні стиску мови. Для мінімізації цього впливу вбудовані ПЕП шлюзів не слід відключати при організації двостороннього загороджувального придушення ехосигналів. Такий принцип придушення може вважатися оптимальним для каналів IP-телефонії на сучасному етапі розвитку телекомунікаційних мереж.

Висновки

Проведені в роботі дослідження показали, що основною причиною виникнення ефекту еха в мережах IP-телефонії являється наявність акустичного та електричного витоків з передавального тракту в прийомний, а також затримок сигналу більше 250 мс в одному напрямку передачі при проходженні голосового сигналу по заданому маршруту. Найбільше даний ефект проявляється в точках міжстанційних з'єднань декількох різних мереж з великою транспортною затримкою. Для забезпечення якісного зв'язку в мережах IP-телефонії необхідне використання спеціальних пристроїв придушення еха – ехокомпенсаторів та ехозагороджувачів. Ехокомпенсатори необхідно встроювати в VoIP устаткування з двох сторін розмовного тракту та поміщати якомога ближче до джерела еха з ціллю зменшення їх об'єму пам'яті та покращення продуктивності процесорів.

Література

1. Гольдштейн Б.С. IP-Телефония / Гольдштейн Б.С., Пинчук А.В., Суховицкий А.Л. – М. : Радио и связь, 2001. – 336 с.
2. RFC3550 RTP: A Transport Protocol for Real – Time Applications. – July 2003.
3. RFC3551 RTP Profile for Audio and Video Conferences with Minimal Control. – July 2003.
4. Гольдштейн Б.С. Протоколы сети доступа / Гольдштейн Б.С. – СПб. : БХВ Санкт-Петербург, 2005. – Т. 2, 3-е изд. – 288 с. : ил.
5. Рослякова А. IP-телефония / Рослякова А., Самсонов М., Шибяева И. – М. : ЭкоТрендз, 2003. – 252 с.
6. Цыбулин М.К. Подавление электрического эха в телефонных каналах / Цыбулин М.К. – М. : Радио и связь, 1988. – 112 с.
7. Определение скорости передачи. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.pingtest.net>.
8. Шаврин С.С. Электрическое эхо: заграждать или компенсировать? / С.С. Шаврин // Вестник связи. – 2005. – № 1. – С. 29–32.
9. Кунегин С.В. Эхокомпенсатор и эхозаградитель на основе цифрового процессора обработки сигналов TMS320C10 / С.В. Кунегин // Электросвязь, 1995. – № 9. – С. 29–30.
10. Шаврин С.С. Подавление эффекта электрического эха в системах IP – телефонии / С.С. Шаврин, О.Ю. Мусатова // Новое в телерадиовещании и радиосвязи: Тезисы докл. научно-практических семинаров. – М. : МНТОРЭС им. А. С. Попова. – 2001. – С. 104–105.
11. Шаврин С.С. Проблема подавления эффекта электрического эха в современных телекоммуникационных системах / С.С. Шаврин // Материалы Международной научно – технической конференции «Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения» TNTERMATIC-2006. – М. : МИРЭА. – 2006. – Ч. 2. – С. 284–291.

Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.
Надійшла 13.2.2012 р.

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ГЛОБАЛЬНОГО ПЕРЕКОСУ ШАРОВОЇ СТРУКТУРИ ДІЕЛЕКТРИКА БАГАТОШАРОВИХ ПЛАТ НА ПЕРЕДАЧУ СИГНАЛІВ UWB

У статті розглядається побудова та аналіз моделі передачі UWB сигналів за допомогою смужкових диференційних ліній передачі багатошарових печатних плат. Розглянуто вплив технологічної деформації діелектричних шарів на інтегральну цілісність передачі над широкосмугових імпульсних сигналів UWB. Визначено порядок застосування та обмеження під час аналізу моделі лінії передачі. За допомогою САПР електродинамічного аналізу проведено моделювання впливу глобального перекосу шарової структури на передачу сигналів. Подані рекомендації щодо проектування печатних плат, та технології їх виготовлення.

The article deals with the construction and analysis of model transfer UWB signals using differential transmission lines multilayer printed circuit boards. Described effect of technological deformation of dielectric layers on integrated integrity transmission over broadband pulse UWB. Also, described an order of application and limitations of the analysis model of transmission line. Using CAD electrodynamic analysis carried out modelling of global bias layer structure on the signals. Article also consists of recommendations for designing printed circuit boards, and their production technology.

Ключові слова: багатошарова печатна плата, диференційна лінія передачі, диференційний опір, UWB.

Вступ

Надшвидкісне зростання інформаційних потоків у різноманітних галузях людської діяльності сьогодні є основним фактором розвитку суспільства. Широке впровадження інформаційних технологій призвело до різкого зростання кількості абонентів, що потребують якісних каналів зв'язку реального часу. Якість каналів, відповідно теорії Шенона, також вимагає збільшення пропускної спроможності каналів, а останню найбільш доцільно покращувати за рахунок збільшення ширини смуги частот, що займає система. Розширення спектру діючого сигналу еквівалентне зменшенню протяжності імпульсів, що є носіями повідомлень, або знаменує перехід від класичних радіосистем до над широкосмугових – UWB систем.

Теорія UWB систем передбачає застосування специфічних вузлів та методів обробки сигналів, але з технологічної точки зору реалізація UWB пристроїв виконується на основі печатної технології виготовлення носійних елементів конструкції – плат та технології поверхневого монтажу компонентів, аналогічно високопродуктивним послідовним інтерфейсам сучасних обчислювальних засобів. Частотні властивості UWB плат на даному етапі розвитку технологій переважно визначаються застосовуваними діелектричними матеріалами [1]. Тому дослідження, спрямовані на покращення частотних властивостей печатних плат через удосконалення діелектричної структури, в рамках застосування у системах максимальної швидкодії, залишаються актуальним завданням.

Основна частина

Реалізація трактів UWB на печатних платах, відповідно стандарту 802.15, вимагає застосування інтерфейсних схем із бітовим інтервалом по одиночній лінії менше 1нс. Для забезпечення умов мікромініатюризації та великої кількості наявних електричних кіл у вигляді мідних (металевих) провідників печатної технології, печатна плата виконується багатошаровою (БПП). Найбільш поширеною і технологічною структурою БПП для побудови надширокосмугових ліній передач високошвидкісних інтерфейсів є диференційна лінія передачі (рис.1) у вигляді структури мідних провідників (Copper) із електромагнітним зв'язком між короткими боками печатних планарних провідників [1]. За визначенням, така лінія розташовується між двома шарами діелектрику і для печатних плат широкого застосування один шар діелектрику має однорідну структуру (Prepreg), а інший являє собою армований скловолокном органічний діелектрик (Core).

Електромагнітне поле кожного провідника із пари диференційної лінії замикається на потенційні шари, що обмежують діелектрики зверху та знизу (див.рис.1). Рівень електромагнітної взаємодії між двома провідниками навмисно обирається незначним, тому таку диференційну лінію можна розглядати як пару смужкових ліній передачі, по яких рухаються протифазні сигнали [1]. Незначний рівень електромагнітної взаємодії припускає використання більших технологічних допусків під час формування топологічних елементів, що в кінцевому рахунку здешевлює виробництво та сприяє широкому застосуванню UWB систем в аспекті виготовлення металевих ділянок БПП.

Під час виготовлення БПП через неідеальність технологічних процесів і технологічного

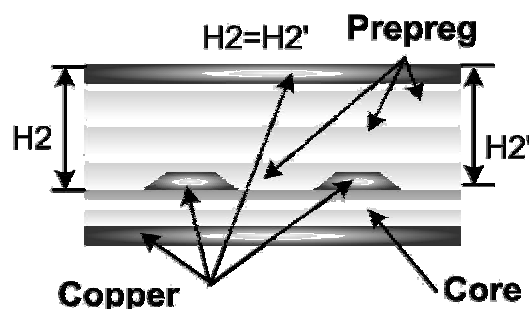


Рис. 1. Багатошарова структура смужкової лінії передачі UWB

устаткування проектна структура лінії передачі може порушитись, навіть якщо дотримано заданих допусків на розміри мідних елементів конструкції. Одним із таких випадків є зміна навантаження на протилежні сторони БПП, яке призводить до перекосу шарів напівтвердого пластику (prepreg), що входить до структури усіх смужкових ліній зв'язку. Це може виникнути за рахунок потрапляння сторонніх матеріалів у зону пресування або неправильного калібрування механізму, технологічних збоїв, а також аварійних ситуацій (рис.2).

Особливо негативно це явище впливає на структури ліній зв'язку, які мають у своєму складі не один, а декілька суміжних шарів препрегу. В цьому випадку може виникнути не лише перекося шарів, але і їх зсув один відносно одного. Наявність поздовжніх та поперечних зсувів призводить до потрапляння у зону полімеризації бульбашок повітря, що перетворюють гомогенну структуру діелектриків в гетерогенну із непередбачуваним градієнтом значення діелектричної проникності.

Наслідком подібного негативного явища є втрата однорідності лінії передачі у напрямку поширення сигналу, що призводить до неоднаковості як повного, так і диференційного опору на початку та наприкінці лінії передачі. А це в свою чергу погіршує умову узгодження лінії за допомогою внутрішніх або зовнішніх паралельних або послідовних схем термінації. В цьому випадку утворюється відбитий сигнал (зворотна хвиля), що інтерферує із прямою хвилею, спотворюючи її форму. Спотворення форми можна оцінити за допомогою око-діаграми та визначити, які припустимі значення кута перекосу можуть виникати для забезпечення дотримання наперед заданих спотворень сигналу).

Сучасні САПР у якості первинної вхідної інформації вимагають наявності параметрів моделювання, що не змінюються на протязі аналізу конкретної БПП тобто, задати градієнт зміни висоти шарів препрегу (рис.2) не є можливим. Тому для аналізу ситуації перекосу пропонується використати модель лінії передачі (рис.3), що складається з деякої кількості дискретних ділянок, у кожній із яких висота препрегу поступово збільшується або зменшується. Для коректності використання такої моделі кожна із дискретних ділянок має відповідати умові лінії передачі із зосередженими параметрами. В такому випадку їхня кількість буде визначатися рівнянням:

$$N_{\text{ДП}} \approx \frac{6L_{\text{ДП}} \sqrt{\epsilon}}{cT_{\text{БИТ}}} \quad (1')$$

де $L_{\text{ДП}}$ – довжина печатного провідника;
 ϵ – середня діелектрична проникність вздовж траси провідника;
 c – швидкість світла у вакуумі;
 $T_{\text{БИТ}}$ – бітовий інтервал або протяжність імпульсу UWB.

В якості прикладу інтерфейсів, які наближаються за своїми властивостями до UWB, кількість ділянок за (1) для поширеного швидкісного інтерфейсу PCI Express із бітовим інтервалом 400 пс, що розташовано на діелектрику FR4 з діелектричною проникністю 4,3 і довжини лінії передачі 1 м, кількість дискретних ділянок для побудови моделі складатиме близько 100. Таке значення є верхньою межею, а для реальної ситуації доцільно використати значення кількості ділянок, що підлягають аналізу від 20 до 40. Така кількість ділянок у лінії передачі може бути оброблена САПР Hyperlynx 2008 із швидкістю близько 20 хв/аналіз.

Емуляція зміни висоти препрегу між ділянками у рамках застосування моделі (рис.3) може бути здійснена через зміну інших незалежних параметрів лінії передачі, таких як відстань між провідниками, ширину провідника та його формою в перетині.

Методика використання такого підходу полягає у наступному:

- 1) для заданих параметрів інтерфейсів розраховуємо кількість дискретних складових (1) у моделі лінії передачі;
- 2) за заданою швидкістю зміни градієнту перекосу за допомогою спеціалізованого САПР Polaris SI9000 2009 обраховуються вторинні параметри кожної із дискретної ділянки, наприклад, хвильовий опір Z_0 ;
- 3) використовуючи Z_0 як вхідний параметр при сталому значенні висоти шару, визначають зміну іншого параметру;
- 4) використовуючи стандартну модель лінії передачі для заданого інтерфейсу у САПР Hyperlynx 2008 будують розширену модель для аналізу перекосу, змінюючи обраний варіативний параметр відповідно

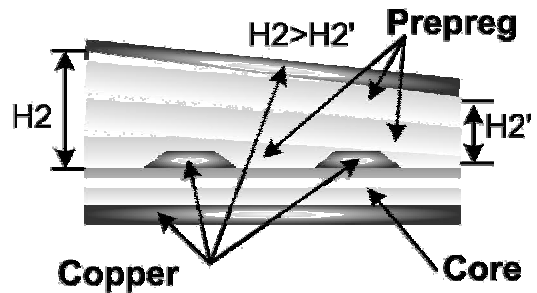


Рис.2. Деформація препрегу під час пресування шарів багатшарової плати

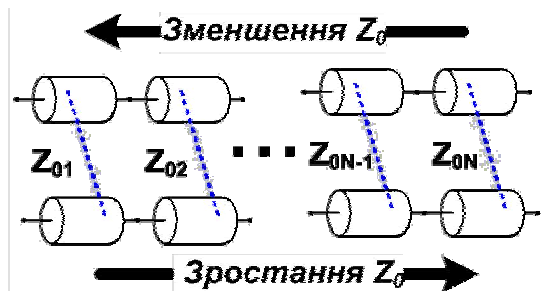


Рис.3. Модель лінії передачі з урахуванням перекосу шарової структури

до розрахунків, проведених у Polaris SI9000 2009;

5) аналізують побудовану модель з точки зору отримання око-діаграм і роблять висновки щодо впливу перекосу на інтегральну цілісність сигналів.

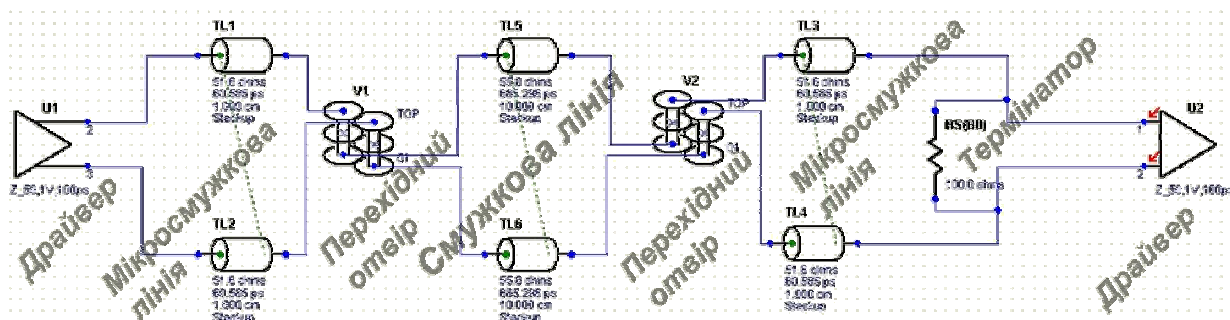


Рис.4. Електродинамічна модель диференційної лінії передачі багатшарової печатної плати САПР HyperLynx 2008

У стандартній електродинамічній моделі (рис.4) протяжність смужкової лінії передачі складає 85 - 95 % від загальної її довжини [2]. Це пов'язано із тим, що провідники високошвидкісних інтерфейсів намагаються якнайшвидше заглибити у внутрішні шари БПП для забезпечення від захисту внутрішніх та зовнішніх завод. Тому перекош препрегу у цих лініях в першу чергу впливає на смужкові ділянки, а його впливом на кінцеві ділянки у вигляді мікросмужок невеликої протяжності (до 5 мм), можна знехтувати. Крім того, у запропонованій моделі розгляду ситуації перекошу діелектричних шарів, вважатимемо, що розміри та геометрія перехідних отворів під час перекошу шарів препрегу практично не змінюються завдяки малим розмірам топологічних елементів металізації отворів та їх переважному розташуванню між шарами ядер (core), які армовані скляними волокнами та практично не підлягають перекошу.

Слід зазначити, що правильний вибір параметрів та характеристик драйверів важливий для отримання результатів у реальних ділянках часу, завдяки надзвичайно великому обсягу електродинамічних розрахунків, що проводяться під час роботи САПР. Параметри драйверів (табл.1), що розташовані з обох боків лінії передачі (рис.4) обрані відповідно узагальненим значенням найбільш поширених серій інтерфейсних схем для передачі надширокосмугових сигналів. Середній час аналізу за запропонованою методикою сягає від 8 до 20 годин, залежно від продуктивності апаратних засобів. Результати аналізу найгіршого випадку – розташування смужкової лінії передачі вздовж глобального перекошу (табл.2), свідчать про значний вплив перекошу однорідного діелектрика - препрегу на інтегральну цілісність сигналів та неприпустимість появи таких дефектів під час виробництва високочастотних БПП для систем UWB.

Таблиця 1
Параметри тестового стимулу диференційної лінії високошвидкісного інтерфейсу у середовищі HyperLynx 2008

Бітовий інтервал	800,400пс
Довжина фронту	100 пс +/- 1%
Вих. опір драйвера	50 Ом
Вхідний опір приймача	100 кОм
Вх./вих. ємність	1пф
Вх./вих. індуктивність	1нГ
Напруга живлення	1 В
Тестовий стимул	16.розр М-посл

Таблиця 2

Результати моделювання перекошу діелектрику у широкосмуговій лінії передачі у вигляді параметрів ОКО-діаграми

Параметр H2/H2'	Розм.	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
ОКО-ширина	пс	380	373	371	366	354	330
ОКО- висота	мВ	523	517	502	498	483	475
ОКО- розкрив	%	0	+1,2	+1,9	+2,6	+4	+9
ОКО- амплітуда	мВ	690	695	705	712	730	752
Розмах джитеру	пс	11	11,4	12,7	13,5	13,7	14,6
Сер. хвилевий опір	Ом	100	98	96	93	91	87
Відносна затримка	пс	0	-0,41	-0,61	-0,83	-1,42	-2,2

Зрозуміло, що глобальний перекош діелектрику для траверсних смужкових ліній відносно напрямку перекошу практично не призведе до втрати якості доставки сигналів по таким лініям, якщо ця диференційна лінія передачі виконана за схемою електродинамічного зв'язку вздовж коротких боків перетину провідників, навіть якщо використовується високий рівень електродинамічного зв'язку у диференційній парі. Для диференційної лінії що у парі провідників використовує електродинамічний зв'язок між широкими боками перетину провідників перекош діелектричних шарів може привести до зменшення зони взаємодії, що більш сильно відіб'ється на вторинних параметрах такої лінії із розподіленими параметрами.

Висновки

За результатами практичних досліджень, що проведені за допомогою сучасних САПР розробки ПП, за результатами аналізу впливу перекосу діелектрика у смужковій лінії передачі високошвидкісних інтерфейсів, встановлено:

- 1) перекося шарів найбільш сильно впливає на такі параметри око-діаграми, як око-ширини і око-висота, що обумовлено інтерференцією прямої та відбитої хвилі («дзвін»);
- 2) під час перекосу діелектрика не виникає суттєвих затримок передачі сигналу завдяки тому, що діелектрична проникність матеріалу у зонах стискання змінюється не суттєво, а основний вплив відбувається за рахунок деформації геометричних розмірів топологічних елементів та їх взаємного розташування;
- 3) розмах джитера збільшується приблизно на 20%, що обумовлено додаванням нестабільностей параметрів усієї лінії передачі у численні відбиті (перевідбиті) хвилі, що з'являється під час перекосу.
- 4) явище перекосу шарів препрегу впливає на інтегральну цілісність сигналів, що може бути оцінена, як погіршення якісних показників ліній передачі до 20% за умови величини перекосу, що сягає третини товщини препрегу у складі смужкової лінії передачі високошвидкісного інтерфейсу передачі сигналів UWB;
- 5) у лініях передачі печатних плат, що використовують UWB пристрої і сигнали глобальний перекося діелектрику вздовж печатної плати найбільш сильно впливає на диференційні лінії передачі із електромагнітним зв'язком вздовж широкого боку печатних провідників, тому останні не рекомендується використовувати у пристроях вказаного призначення.

Література

1. Джонсон Говрад В. Конструирование высокоскоростных цифровых устройств: начальный курс черной магии / Джонсон Говрад В., Грэхем, Мартин. : Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006, – 624с.:ил. – Парал. тит. англ.
2. Джонсон Говрад В. Высокая скорость передачи цифровых данных: высший курс черной магии / Джонсон Говрад В. : Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005, - 1024с.:ил. – Парал. тит. англ.

Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.
Надійшла 6.2.2012 р.

УДК 551.501.793

В.П. РОЙЗМАН, О.В. ОМЕЛЬЯНЧУК, І.В. ГУРМАН
Хмельницький національний університет

МЕТОД СТАТИСТИЧНОЇ ОЦІНКИ СТРУКТУРНОЇ НАДІЙНОСТІ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

В статті розглядається метод оцінки надійності складних радіотехнічних систем, що базується на узагальненні статистичних оцінок надійності окремих підсистем, дає змогу більш точно екстраполювати значення показників надійності радіотехнічних систем навіть при певній невизначеності їх системних проявів.

The article of estimation of reliability of the difficult radiotechnical systems that is based on generalization of statistical estimations of reliability of separate to the subsystem gives an opportunity more exactly to extrapolate the value of reliability of the radiotechnical systems indexes even at a certain vagueness them system displays, is examined in the article. The brought methodology over.

Ключові слова: радіотехнічні системи, надійність.

Аналіз сучасних тенденцій розвитку радіотехнічних систем (РТС) свідчить про стрімке підвищення їх функціональності, що призводить до значного ускладнення їх структури, а відповідно до зниження показників надійності. Незважаючи на поліпшення якості елементної бази, підвищення надійності таких систем може бути забезпечене тільки на основі комплексного підходу. Сутність даного підходу полягає в системному урахуванні складної структури РТС, сумісному використанні методів резервування (зокрема, часового і структурного) і вдосконаленні методів організації і проведення профілактико-відновлювальних заходів з максимальним урахуванням чинників і умов реального функціонування систем [1, 2].

Одним з найрозповсюдженіших методів оцінки надійності складних технічних систем є метод статистичних випробувань. Однак для одержання статистично достовірних результатів, особливо при широкому різновиді властивостей надійності окремих елементів системи і її великої структурної надмірності, потрібні значні обсяги витрати машинного часу.

Аналіз показує, що основні витрати часу при статистичних випробуваннях складної системи обумовлені необхідністю перевірки працездатності в кожній реалізації. При високій початковій надійності p_i елементів або великій структурній надмірності, що характерно для розгалужених мереж комутації, перевірка працездатності переважної більшості реалізацій дає позитивний результат, що якісно характеризує їх

інформативність. А отже очевидним є прагнення знайти деяке перетворення системи, що дає змогу штучно зменшити початкову надійність її елементів, щоб швидше набрати необхідну статистику відмов і одержати зворотне перетворення, що дає змогу перераховувати отримані результати на реальні показники надійності елементів системи.

Назвемо перетином підмножину елементів системи, вилучення яких приводить до втрати працездатності. Розглянемо деякий перетин u , у який входить рівно z елементів. Частота випадання такого перетину при статистичних випробуваннях прагне по ходу випробувань до її ймовірності:

$$P_u = \prod_{i \notin u} p_i \prod_{i \in u} (1 - p_i). \quad (1)$$

Якщо позначити через N загальне число елементів системи, то ймовірність P_u можна записати у вигляді:

$$P_u = \left(\prod_{i=1}^N p_i \right) \prod_{j \in u} (1 - p_j) / p_j. \quad (2)$$

Змінимо вихідні показники надійності системи таким чином, щоб кожний співмножник $(1 - p_j) / p_j$ другого добутку збільшився в g раз. Інакше кажучи, замість елемента з надійністю p_j введемо елемент із надійністю p'_j такий, щоб задовольнялася умова:

$$(1 - p'_j) / p'_j = g(1 - p_j) / p_j. \quad (3)$$

При цьому з виразу (3) надійність наступного елемента визначається:

$$p'_j = \frac{1}{\left[p_j + g(1 - p_j) / p_j \right]}. \quad (4)$$

Якщо зробити перетворення виразу (2) для всіх елементів системи, то ймовірність випадання перетину u у процесі випробувань зміниться і складе:

$$P_u = \frac{\prod_{j \in u} g(1 - p_j) / p_j}{\prod_{i=1}^N [p_i + g(1 - p_i)]}.$$

Введемо коефіцієнт d збільшення частоти випадання перетину:

$$d = P'_u / P_u. \quad (5)$$

Підставляючи в вираз (5) старе і нове значення частоти випадання перетину u , одержуємо:

$$d = \prod_{i=1}^N p_i [p_i + g(1 - p_i)]^{-1} \prod_{j \in u} g(1 - p_j) / p_j. \quad (6)$$

Якщо в перетин u входить рівно z елементів, то

$$d = g^z \prod_{i=1}^N \frac{p_i}{[p_i + g(1 - p_i)]}, \quad (7)$$

де другий співмножник $\prod_{i=1}^N p_i [p_i + g(1 - p_i)]^{-1} = K$ константа для вихідної системи. Коефіцієнт

прискорення можна представити у вигляді $d = g^{zk}$. Звідси випливає, що запропоноване перетворення показників надійності не приводить до порушення відносної частоти появи перетинів фіксованої ваги z , так як коефіцієнт прискорення для всіх цих перетинів однаковий. Однак відносна частота появи перетинів ваги $z+w$ у порівнянні з перетинами ваги z збільшується в g^w разів. Тому в ході статистичних випробувань перетвореної системи можна набрати достатню статистику по перетинах більшої ваги, ймовірність появи яких у вихідній системі буває звичайно дуже низькою.

Перерахунок ймовірності появи перетину u з перетвореної системи у вихідну проводиться відповідно до виразу (5):

$$P_u = P'_u / d = \frac{P'_u}{g^z K}. \quad (8)$$

Для виконання зворотного перетворення (8) крім факту відмови системи необхідно фіксувати й вагу z відповідного перетину.

З виразу (8) випливає, що кожний випадок появи перетину u з вагою z у перетвореній системі відповідає $g^{-z} K^{-1}$ випадкам появи такого ж перетину у вихідній системі. При цьому якщо в перетвореній системі за час випробувань відбулося t відмов, то для вихідної системи еквівалентне число відмов складає:

$$m_{екв} = K^{-1} \prod_{i=1}^N g^{-z_i}, \quad (9)$$

де z_i – кількість елементів, що вийшли з працездатного стану при i -й відмові системи.

При виникненні чергової m -ї відмови в перетвореній системі, оцінка надійності P_m вихідної системи уточнюються відповідно до виразу:

$$P_m = 1 - m_{екв} / M = 1 - (MK)^{-1} \prod_{i=1}^N g^{-z_i}, \quad (10)$$

де M – загальне число переглянутих реалізацій станів перетвореної системи.

Виникає питання, яким слід вибирати параметр перетворення γ для максимального прискорення. Процесу статистичних випробувань конкретної системи. З виразу (4) слідує, що при $\gamma=1$ зміна вихідної надійності не відбувається і прискорення відсутнє. Якщо вибрати γ занадто великим, то в перетвореній системі будуть в основному виникати перетини великої ваги, не характерні для вихідної системи, причому їх внесок у результуючу надійність при більших z відповідно до виразу (8) буде невеликий. Тому параметр γ слід вибирати таким чином, щоб максимізувати ймовірність виникнення найбільш «ймовірних» перетинів.

Розглянемо ці питання більш докладно. Для простоти припустимо, що показники надійності всіх елементів системи однакові і дорівнюють p . Позначимо через $P(z)$ імовірність виникнення станів відмов ваги z . Очевидно, що ймовірність втрати працездатності системи в такому випадку складе:

$$Q = \sum_{z=1}^N P(z). \quad (11)$$

Зазвичай, для реальних систем значення $P(z)$ досить плавно міняється зі збільшенням ваги перетину, тому в якості найбільш ймовірного перетину можна вибрати клас перетинів середньої ваги:

$$Z_{cp} = \frac{\sum_{z=1}^N zp(z)}{\sum_{z=1}^N P(z)}. \quad (12)$$

Для надійних систем у виразі (12) можна знехтувати всіма членами, крім першого ненульового, що відповідає мінімальному перетину вагою z_0 , який і буде найбільш ймовірним. Таким чином, завдання полягає в тому, щоб максимізувати коефіцієнт прискорення для найбільш ймовірного перетину, тобто знайти максимум функції $d_{(g)}$ при $z=z_0, p_i=p, (i=1,2,\dots,N)$:

$$d_{(g)} = \frac{g^{z_0}}{[p + g(1-p)]^N}. \quad (13)$$

З умови $\partial d_{(g)} / \partial \gamma = 0$ одержуємо оптимальне значення:

$$g_0 = z_0 p \left[(N - z_0) / (1 - p) \right]^{-1}. \quad (14)$$

Підставляючи вираз (14) в (4), неважко перекопатись, що оптимальне значення γ_0 відповідає перерахованому значенню надійності елемента системи $p'=1-z_0/N$. Інакше кажучи, для максимального прискорення процедури статистичних випробувань необхідно в такий спосіб перерахувати надійність елементів системи, щоб середня вага відмов у перетвореній системі відповідала вазі найбільш ймовірного перетину.

Прискорення темпу набору статистики відмов відповідно до виразу (13) складе:

$$d_m = \left\{ \frac{z_0}{[(1-p)N]} \right\}^{z_0} \left[\frac{(N-z_0)}{(pN)} \right]^{N-z_0}.$$

Так, для системи з параметрами $p=0,99, N=20, z_0=3$, час випробувань можна скоротити приблизно в 150 раз для ймовірності отриманих результатів не гірше, чим у випадку прямого набору статистики відмов системи.

Проведені на ПЕОМ порівняльні статистичні випробування конкретних систем по звичайному і пропонованому методах показали, що прискорення збіжності результатів випробувань відповідає наведеним теоретичним оцінкам.

Література

1. Барзилович Е.Ю. Некоторые математические вопросы теории обслуживания сложных систем / Е.Ю. Барзилович, В.Н. Каштанов. – М. : Сов.радио, 1971. – 272 с.
2. Войнов К.Н. Прогнозирование надежности механических систем / Войнов К.Н. – Ленинград : Машиностроение, 1978. – 208 с.

3. Вопросы математической теории надёжности / Под. ред. Б.В. Гнеденко. – М. : Радио и связь, 1983. – 374 с.

4. Глазунов Л.П. Основы теории надежности автоматических систем управления / Глазунов Л.П., Грабовецкий В.П., Щербаков О.В. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1984. – 208 с.

Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.

Надійшла 16.2.2012 р.

УДК 621.396.96

В.Б. РУДНИЦЬКИЙ, І.І. ЧЕСАНОВСЬКИЙ, Л.В. КАРПОВА, С.В. МАРЦЕНЮК

Хмельницький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ РОЗДІЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ НАПІВАКТИВНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ ЗАСОБІВ З ВИКОРИСТАННЯМ АЛГОРИТМУ КОРЕЛЯЦІЙНОГО ОЦІНЮВАННЯ СУМІШІ ЕХО-СИГНАЛІВ

В статті запропоновано метод обробки радіолокаційних ехо-сигналів на основі алгоритму додаткового автокореляційного оцінювання комплексної обвідної ехо-суміші, що дає змогу реалізувати наявну амплітудну та кутову модуляцію в радіолокаційних сигналах навіть без попередньої їх оцінки. Отримано ряд аналітичних виразів функцій невизначеності радіолокаційних сигналів при їх амплітудній та кутовій модуляції випадковими процесами з різними законами розподілу.

The paper proposed a method of processing radar echo signals based on the autocorrelation algorithm further evaluation of the complex envelope of the echo-mix that you can implement existing amplitude and angular modulation of radar signals even without their preliminary evaluation. A series of analytical expressions of uncertainty functions of radar signals in their amplitude and angular modulation of random processes with different laws of distribution.

Ключові слова: ехо-сигнал, алгоритм, кореляція, закони розподілу.

Дослідження недетермінованої моделі імпульсного радіолокаційного сигналу [3] показує наявність потенційної можливості щодо покращення характеристик активних та напівактивних радіолокаційних засобів. Це обумовлено наявністю додаткової амплітудної та кутової модуляції в зондуємому сигналі [2], а отже і вищими їх потенційними можливостями. Проте, недетермінованість модулюючих складових, через їх флуктуаційну природу, не дає змоги застосувати оптимальний (узгоджений) алгоритм, а отже вони носять паразитний характер і єдиним можливим виходом, що застосовується на сьогоднішній день, є максимальна їх компенсація [1].

В статті пропонується дещо альтернативний підхід, а саме метод, що базується на використанні автокореляційних властивостей сигналу, при оцінці яких однаково враховуються як детерміновані, так і недетерміновані складові. Основна ідея методу базується на тому, що при напівактивній радіолокації всі ехо-сигнали в одному періоді зондування корельовані між собою як за детермінованими, так і за недетермінованими складовими [3,1].

Математична модель групового ехо-сигналу – суміші ехо-сигналів від M – цілей, без урахування шумів та завад, може бути представлена у такому вигляді:

$$\mathbf{u}_{sp}(t) = \sum_{n=1}^M A_n U(t-t_n) x_u(t-t_n) \exp j(\omega_0 t + \omega_n(t-t_n) + j_0 + j_n + x_j(t-t_n)), \quad (1)$$

де $\omega_n = \frac{4\pi\vartheta_{rn}}{\lambda}$ – доплерівське зміщення частоти; $\varphi_n = \frac{2\omega_0 D_n}{c}$ – фазовий зсув ехо-сигналу; ϑ_{rn} – радіальна швидкість n -ї цілі (елементу цілі); D_n – відстань до n -ї цілі (елементу цілі).

Цей вираз містить сигнали з певними амплітудними і кутовими відмінностями, що вносяться при відбитті від різних цілей (елементів), проте всі вони мають ідентичні флуктуаційні амплітудні і кутові модуляційні складові, внесені ще при формуванні зондуємого сигналу. Через флуктуаційну природу цих складових, синтезувати оптимальну їм структуру алгоритму обробки неможливо, а можливо реалізувати лише оптимальний алгоритм по усереднених значеннях, який в реальних умовах є більше раціональним, ніж оптимальним.

Для оцінки потенційних можливостей розрізнення ехо-сигналів в такій суміші, необхідно проаналізувати її кореляційну функцію, яку зручніше виразити через комплексну обвідну.

Комплексна обвідна суміші ехо-сигналів (1) має вигляд:

$$\mathbf{u}_{sp}(t) = \sum_{n=1}^M A_n U(t-t_n) x_u(t-t_n) \exp j[\omega_n(t-t_n) + x_j(t-t_n)] \exp j\varphi_n. \quad (2)$$

Як відомо із теорії кореляційного аналізу, кореляційна функція адитивної суміші комплексних обвідних (2) може бути представлена у вигляді суми взаємокореляційних функцій комплексних обвідних окремих ехо-сигналів:

$$B(\tau) = \sum_{n=1}^M \sum_{m=1}^M B_{n,m}(\tau), \quad (3)$$

або в матричному вигляді:

$$B_{n,m}(\tau) = \begin{pmatrix} B_{1,1}(\tau) & \dots & B_{1,M}(\tau) \\ \dots & \dots & \dots \\ B_{M,1}(\tau) & \dots & B_{M,M}(\tau) \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Простий логічний аналіз матриці (4) показує, що елементи на головній діагоналі приймають максимальні значення при $\tau = 0$, а враховуючи ширину кореляційної функції прямокутного імпульсу можуть приймати ненульові значення тільки в межах ширини ($|\tau_{0,5}|$) основної пелюстки кореляційної функції кожного з ехо-сигналів в суміші, тобто

$$\text{при } n = m, \begin{cases} B_{n,m}(\tau) = \max, & \tau = 0, \\ B_{n,m}(\tau) \neq 0, & \tau \geq |\tau_{0,5}|, \\ B_{n,m}(\tau) = 0, & \tau > |\tau_{0,5}|. \end{cases} \quad (5)$$

Властивості кореляційної функції при $n \neq m$ мають наслідком такі твердження:

$$B_{n,m}(\tau) = B_{m,n}(\tau),$$

$$\sum_{n,m} B_{n,m}(0) \geq 2 \sum_{n=1}^M \sum_{m=n+1}^M B_{n,m}(\tau), \quad (6)$$

З (6) можна зробити такі висновки:

- на графіку автокореляційної функції суміші ехо-сигналів завжди буде присутня складова $B(0)$ незалежно від значення M , при чому для $M = 0$ значення $B(0)$ буде визначатися енергією шумів;
- на графіку автокореляційної функції суміші ехо-сигналів буде присутня тільки одна складова $B(0)$ як за $M = 0$ так і за $M = 1$, що фактично означає неспроможність автокореляційного алгоритму виявляти ехо-сигнали, а тільки їх розрізняти;

- максимальне значення взаємкореляційних членів $B_{n,m}(\tau)$, для $n \neq m$ не перевищує $\frac{1}{2} \sum_{n,m} B_{n,m}(0)$;
- автокореляційне оцінювання має сенс лише за умови, що тривалість імпульсу значно більша за ширину основної пелюстки автокореляційної функції $\tau_i \gg |\tau_{0,5}|$.

Таким чином, алгоритм автокореляційного оцінювання має сенс тільки у вигляді додаткового каналу обробки ехо-сигналів, а не основного і є ефективним лише за наявності значної додаткової модуляції не залежно від її детермінізму (природного або штучного походження).

Структурна схема приймача, що реалізує метод підвищення ступеня розрізнення радіолокаційних ехо-сигналів на основі алгоритму автокореляційного оцінювання приведено на рис. 1.

Відповідно цієї структурної схеми, обробка ехо-сигналів з використанням недетермінованих кореляційних властивостей здійснюється в два етапи: на першому здійснюється виявлення в основному каналі приймання (встановлення факту наявності корисного сигналу); на другому - оцінюється кількість ехо-сигналів в суміші за її кореляційними властивостями.

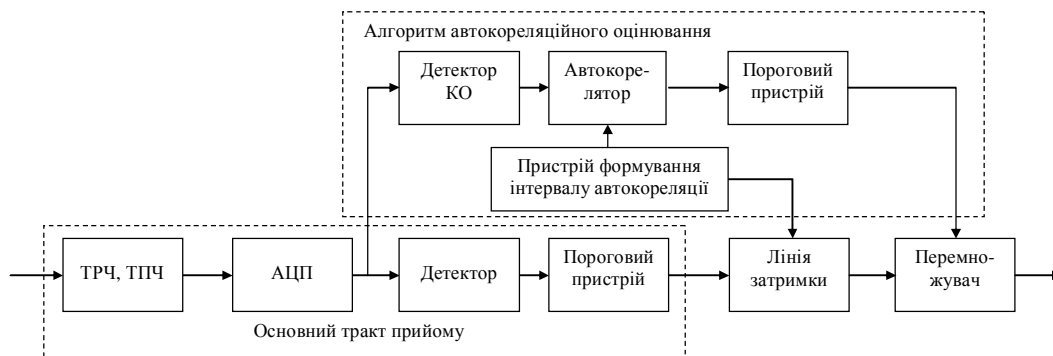


Рис. 1. Структурна схема приймача РЛС, що реалізує запропонований метод

На першому етапі, за класичним алгоритмом проводимо виявлення ехо-сигналів. Алгоритм є оптимальним для прямокутної форми комплексної обвідної і забезпечує розділення ехо-сигналів тільки за

умови їх рознесення в часі. На другому етапі, коли встановлено факт наявності ехо-сигналу і враховуючи, те що всі ехо-сигнали в межах періоду зондування корелюють між собою як за детермінованими, так і за недетермінованими складовими, для розрізнення окремих сигналів в суміші оцінюємо її автокореляційну функцію. При цьому, ступінь розрізнення окремих сигналів у суміші визначає ширина основної пелюстки зонduючого сигналу з урахуванням недетермінованих модуляційних складових, яка за певних умов (природної нестабільності зонduючого сигналу), може бути значно вужчою, як це було показано в першому науковому результаті.

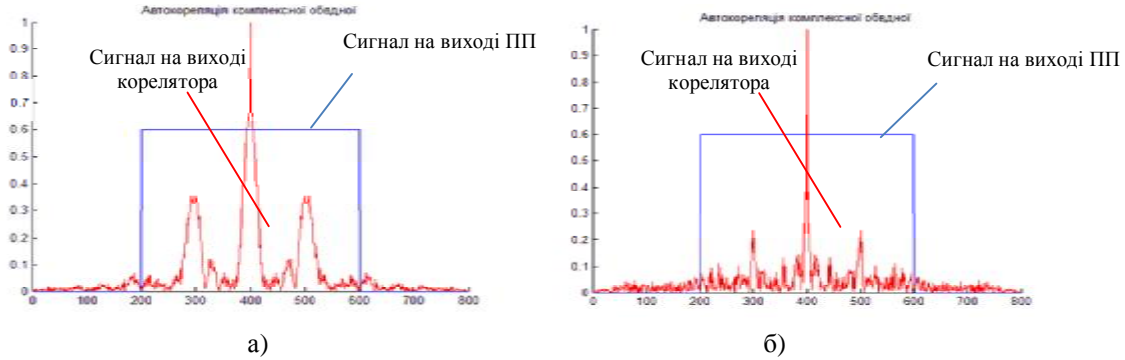


Рис. 2. Автокореляція комплексної обвідної суміші ехо-сигналів: а) при відношенні сигнал/шум на виході детектора комплексної обвідної +10 дБ; б) при відношенні сигнал/шум на виході детектора комплексної обвідної 0 дБ.

Відповідно отриманих результатів, було проведено. Як видно із результатів імітаційного моделювання, урахування автокореляційних властивостей комплексної обвідної зонduючих сигналів призводить до значного підвищення ступеня їх розрізнення.

На рисунках 2, а та 2, б показана форма автокореляційної функції двох ехо-сигналів з прямокутною обвідною та лінійною частотною модуляцією при різних девіаціях частоти, що фактично відповідає різній ширині смуги пропускання приймача та при різному відношенні сигнал/шум на виході детектора комплексної обвідної.

Як видно з графіків, не залежно від детермінованості комплексної обвідної її кореляційні властивості достатньо ефективно можуть бути застосовані. Проте, при дії шумів, за рахунок різкого спаду рівня взаємкореляції ехо-сигналів, картина погіршується, хоча при певному рівні взаємкореляційні відгуки все ще чітко проглядаються.

Таким чином, стає очевидним обмеження застосування методу, яке полягає в наступному: підвищення розрізнення ехо-сигналів можливе лише за умови стійкого їх приймання, за якого забезпечується детектування їх комплексної обвідної з відношенням сигнал/шум не гірше 0 дБ. Це саме підтверджується графіками залежності рівня взаємкореляційних складових по відношенню до сумарної енергії в залежності від співвідношення сигнал/шум комплексної обвідної, що показані на рис. 3.

Як видно з графіків, тільки на рівні 0 дБ спостерігається сплеск у всіх випадках, незалежно від корельованості комплексної обвідної самого зонduючого сигналу. Проте, при відношенні сигнал/шум вище 1 дБ виграш від застосування методу в значній мірі залежить від форми комплексної обвідної зонduючого сигналу, при чому, на що слід наголосити – незалежно від її детермінованості.

Експериментальні дослідження та імітаційне моделювання, результати яких наведені на рис. 4 у вигляді графіків залежності відношення сигнал/шум на виході детектора від співвідношення ширини спектру сигналу до ширини смуги пропускання приймача показали, що в залежності від форми комплексної обвідної (яка визначається типом генератора НВЧ, способом побудови модулятора та його режимом роботи), скорочення тривалості зонduючого сигналу при постійній ширині смуги пропускання приймача дає змогу отримати вираш в роздільній здатності в межах декількох разів при збереженні відношення сигнал/шум, або підвищити відношення сигнал/шум за рахунок звуження смуги пропускання приймача при

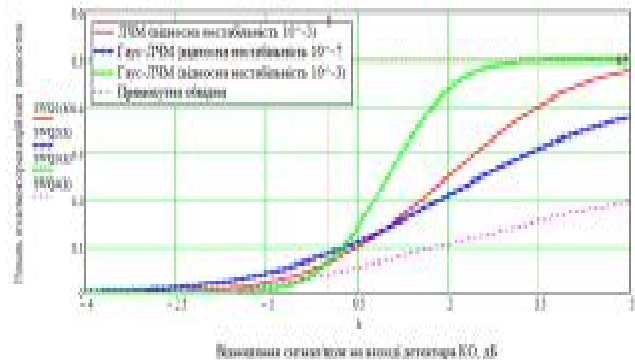


Рис. 3. Залежність нормованого рівня взаємкореляційних членів від відношення сигнал/шум на виході детектора комплексної обвідної

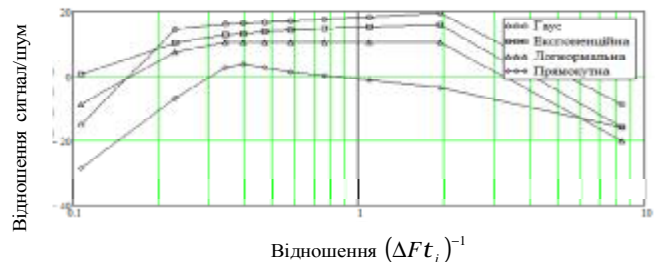


Рис. 4. Зміна відношення сигнал/шум при різному співвідношенні смуги пропускання та тривалості імпульсу

Література

1. Вопросы перспективной радиолокации : [монографія] / Под редакцией А.В. Соколова. – М. : Радиотехника, 2003 – 512 с.
2. 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.
3. Карпова Л.В. Метод підвищення ступеня розрізнення ехо-сигналів при вирішенні задач активної та напівактивної радіолокації на основі кореляційного оцінювання квадратурної флукуаційної складової / Карпова Л.В. // Вісник Хмельницького національного університету. Хмельницький. Технічні науки. – Хмельницький, 2010. – № 4. – С. 72–76.

Рецензент: д.т.н. Шинкарук О.М.
Надійшла 7.2.2012 р.

УДК 621.396.96

В.Б. РУДНИЦЬКИЙ, І.І. ЧЕСАНОВСЬКИЙ, О.С. ІВАНЮК
Хмельницький національний університет

ОЦІНКА СТУПЕНЯ РОЗРІЗНЕННЯ ІМПУЛЬСНИХ РАДІОСИГНАЛІВ З УРАХУВАННЯМ ВИПАДКОВИХ ПРОЦЕСІВ В ЇХ КОМПЛЕКСНІЙ ОБВІДНІЙ

В статті досліджуються питання трансформування кореляційних властивостей радіолокаційних сигналів при урахуванні флукуаційних амплітудних та кутових складових. Отримані аналітичні вирази щільностей розподілу випадкових складових в комплексній обвідній радіолокаційних сигналів для різних варіантів реалізації імпульсних модуляторів та різних типів генераторів НВЧ.

The article investigates the question of transforming the correlation properties of radar signals with allowance for fluctuation amplitude and angular components. Analytical expressions of the distribution of random components in the complex bypass signals for different variants of pulse modulators and generators for various types of microwave.

Ключові слова: зонduючий радіосигнал

При реалізації методів активної радіолокації, джерелом інформації про наявність і характеристики цілей в зоні спостереження є радіолокаційні сигнали, в результаті чого, саме їх потенційні можливості (енергетичні та кореляційні) визначають ефективність радіолокаційних засобів, на їх основі, в цілому. З цієї причини, основні зусилля інженерів при розробці радіолокаційних засобів були спрямовані на пошук зонduючих сигналів з оптимальними характеристиками [2, 3]. В першу чергу, намагались оптимізувати кореляційні властивості сигналів, оскільки пропорційною їм є ефективність узгоджених (оптимальних) методів їх обробки. При ускладненні зонduючих сигналів, значно підвищувались вимоги до передавачів, оскільки неточність в відтворенні складних сигналів, значно сильніше знижує ефективність алгоритмів обробки ніж при використанні простих зонduючих імпульсів. Проте, незважаючи на те, що в сучасній радіолокації існує жорстке правило, відповідно якого ступінь розрізнення ехо-сигналу не може перевищувати ступінь розрізнення зонduю чого [1, 3], в ряді робіт показано, що існування різних дестабілізуючих факторів при формуванні зонduючих сигналів призводить до появи в них певних позитивних властивостей. Не зважаючи на те, що в межах періоду зондування, за своєю природою вони є недетермінованими, кореляція ехо-сигналів значно відрізняється від кореляції зонduючих, а це відкриває потенційні можливості підвищення ряду характеристик радіолокаційних засобів активного та напівактивного типу.

В даній статті на основі теоретичного аналізу процесів, що протікають в імпульсних генераторах НВЧ та експериментального дослідження імпульсних передавачів НВЧ діапазону на їх основі, отримана удосконалена математична модель імпульсного зонduючого радіосигналу з урахуванням статистичних моделей амплітудних та кутових флукуацій в його комплексній обвідній.

В основу змісту даної моделі покладено загально прийнятий вираз, що описує імпульсний зонduючий радіосигнал:

$$u(t) = U_0 \exp j(\omega_0 t), \quad (1)$$

де $U_0(t) \exp j(\varphi(t) + \varphi_0)$, – комплексна обвідна;

$U_0(t)$ – форма модулюючого по амплітуді сигналу; $\varphi(t)$ – форма кутової модулюючої складової.

При реалізації радіолокації сигналами з малою базою ($B \approx 1$), як правило використовуються імпульсні зонduючі радіолокаційні сигнали з прямокутною обвідною і без внутрішньої кутової модуляції. Форма комплексної обвідної, а відповідно і кореляційні властивості такої моделі сигналу, визначаються виключно формою модулюючого по амплітуді імпульсу [1]. Зрозуміло, що саме така форма комплексної обвідної є основою для синтезу узгодженого алгоритму обробки в приймачі і як відомо, потенційне

розрізнення сигналів з такою кореляційною функцією комплексної обвідної можливе лише у тому випадку коли вони не перекриваються у часі або коли частково перекриваються, що відомо як потенційне Релеєвське розрізнення (рівень 0,7 основної пелюстки кореляційної функції комплексної обвідної).

Проте в дійсності, в наслідок дії ряду дестабілізуючих факторів у передавачі, при формуванні сигналів, комплексна обвідна зонduючого сигналу містить ряд флукутаційних амплітудних і кутових складових, властивості та форма яких визначаються конструктивними властивостями передавача і можуть бути апроксимовані певними законами розподілу. При цьому, як відомо із теорії сигналів, різні комбінації законів розподілу з різними параметрами, можуть давати різний потенційний виграш в кореляційній оцінці комплексної обвідної сигналу, навіть в однаково обмеженій смузі частот сигналу в цілому. А отже, враховуючи той факт, що в імпульсних радіолокаційних системах здійснюється резервування смуги частот приймача (завжди існує певна надлишковість ширини смуги пропускання $\Delta F_{np} > \Delta F_c$), а форма зонduючого сигналу при формуванні та випромінюванні набуває певних трансформацій, потенційні кореляційні властивості радіолокаційних сигналів можуть бути значно вищими ніж передбачається. Для перевірки цього припущення, в роботі запропоновано удосконалену математичну модель радіолокаційного зонduючого сигналу, в якій можливі випадкові спотворення і флукутації враховано у вигляді амплітудної і кутової складових, що представляють собою вузько смугові, повільно осцилюючі функції часу з певними законами розподілу:

$$u(t) = U \xi_u \exp j(\omega_0 t) \exp j \xi_\varphi, \tag{2}$$

де $\xi_u = \xi_u(k_1 t)$ – амплітудна флукутаційна складова (випадковий процес з параметром k_1); $\xi_\varphi = \xi_\varphi(k_2 t)$ – кутова флукутаційна складова (випадковий процес з параметром k_2).

А отже, узагальнена модель сигналу, може бути записана у вигляді:

$$u(t) = U(t) \xi_u(k_1 t) \exp j(\omega_0 t + \varphi(t) + \varphi_0) \exp j \xi_\varphi(k_2 t). \tag{2}$$

Зрозуміло, що в більшості випадків, питома вага флукутаційних складових не значна і говорити про них як про додаткову внутрішню модуляцію некоректно, в першу чергу через їх не детермінованість. Проте їх наявність, вносить в сигнал певну широкосмуговість, підтвердженням чого є розширення смуги частот приймача для зменшення енергетичних втрат. Для детального аналізу впливу цих складових на форму комплексної обвідної сигналу в цілому, було проведено аналіз можливих їх розподілів в залежності від режиму роботи передавача та типу генератора НВЧ, що застосовується.

На основі експериментальних досліджень, було проаналізовано роботу генераторів, що працюють в імпульсному режимі, а саме магнетрона, стабілотрона, клістрона і лампи біжучої хвилі (ЛБХ). В табл. 1 приведені типові значення залежностей амплітуди, частоти та фази вихідних коливань для цих типів генераторів в залежності від стабільності вхідної.

Таблиця 1

Нестабільність генераторів НВЧ різних типів

Тип генератора	Частотна нестабільність	Відношення динамічної складової опору до статичної	Зміна вихідного струму на 1% зміни вхідного, %
Магнетрон	$\frac{\Delta f}{f} = (10^{-3} - 3 \cdot 10^{-3}) \Delta I / I$	0,05–0,1	10–20
Стабілотрон	$\frac{\Delta f}{f} = (2 \cdot 10^{-4} - 5 \cdot 10^{-4}) \Delta I / I$	0,05–0,1	10–20
Клістрон	$\Delta \varphi = 10^\circ$ на 1% $\Delta E / E$	0,67	1–2
ЛБВ	$\Delta \varphi = 20^\circ$ на 1% $\Delta E / E$	0,67	1–2

Як видно з таблиці, навіть при умові використання однакових за формою модулюючих імпульсів, спотворення які будуть вноситись в комплексну обвідну зонduючих сигналів, в значній мірі визначаються саме генератором НВЧ та режимом його роботи [2]. При цьому, незалежно від типу генератора, спотворення комплексної обвідної відбувається як за амплітудними так і за кутовими складовими, а отже комплексна обвідна зонduючого радіосигналу (2) в загальному випадку прийме вигляд:

$$u(t) = U(t) \xi_u(k_1 t) \exp j \xi_\varphi(k_2 t), \tag{2}$$

а у випадку імпульсних зонduючих сигналів:

$$u(t) = \begin{cases} \xi_u(k_1 t) \exp j \xi_\varphi(k_2 t), & t \leq |\tau_i| \\ 0, & t > |\tau_i| \end{cases} \tag{3}$$

Встановити аналітично вигляд складових $\xi_u(k_1 t)$ та $\xi_\varphi(k_2 t)$, та їх параметрів є достатньо складною задачею, оскільки при їх отриманні необхідно врахувати велику кількість різних чинників, які в

переважній більшості, мають широкий діапазон можливих значень і відповідно різну значимість в різних умовах. Тому їх вигляд було встановлено емпіричним шляхом – експериментально (рис.1), для різних генераторів та підсилювачів НВЧ в однакових умовах роботи з осцилограм детектованих сигналів було визначено форму амплітудної обвідної та динаміку зміни частоти в середині зондуючого радіоімпульсу.

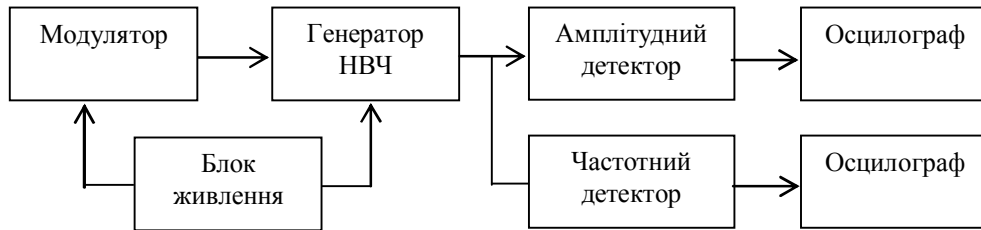


Рис. 1. Схема експериментальної установки

Застосувавши статистичний апарат (критерій узгодженості Пірсона), результати експериментальних досліджень були апроксимовані до аналітичних виразів, що приведені в табл. 2.

Таблиця 2

Аналітичні вирази флукуаційних модуляційних складових сигналу

Тип генератора	$x_u(k_1t)$	$x_j(k_2t)$	k_1	k_2
Ідеалізований	1	0	-	-
Магнетрон	$k_1 \exp(-pk_1^2t^2)$	k_2t	$\frac{1}{\sqrt{2ps}}$	$-bt$
Стабілотрон	$k_1 \exp(-pk_1^2t^2)$	k_2t	$\frac{1}{\sqrt{2ps}}$	$-(0.1...0.05)bt$
Підсилювач зі схрещ. полями	1	k_2t	-	$\Delta j_{\max} \sin(2pt/t_i)/t$
Клістрон	$\exp(k_1t)$	k_2t	$(0.3...0.4)t_i$	ct^2
ЛБВ	$k_1 \exp(-pk_1^2(t - 0.3t_i)^2)$	0	$\frac{1}{\sqrt{2ps}}$	-

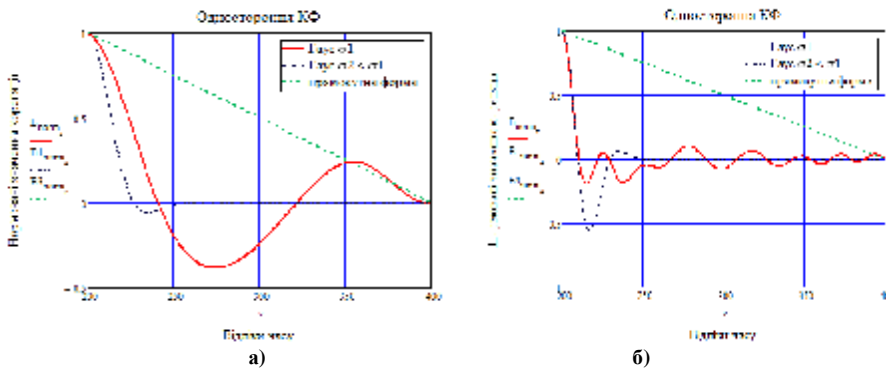


Рис. 2. Односторонні кореляційні функції радіосигналів: а) з гаусівською амплітудною модуляцією і монотонним частотним заповненням; б) з гаусівською амплітудною модуляцією і ЛЧМ

Підстановка виразів із табл. 2 у вираз (2), дає змогу отримати аналітичний вираз для комплексної обвідної зондуючого радіосигналу сформованого будь-яким із перерахованих приладів. Проведене моделювання отриманих таким чином виразів показало, що в дійсності кореляційні властивості сигналів з такими комплексними обвідними залежать не тільки від розмаху флукуацій, але і від їх комбінації.

На рис.2 приведено результати моделювання у вигляді односторонніх кореляційних функцій сигналів при різних розподілах і значеннях параметрів флукуаційних складових на прикладі генератора магнетронного типу – гаусівська амплітудна і лінійна частотна модуляції.

Як видно з цих графіків кореляція сигналу в цілому значно залежить саме від параметрів розподілу. І саме цікаве, що було встановлено – ця залежність не лінійна і не монотонна а має локальні екстремуми. Дійсно, якщо звернути увагу на вираз кореляційної функції комплексної обвідної, наприклад для генератора магнетронного типу:

$$B(\tau) = \exp\left(-\frac{1}{2}\tau^2\left(k_1^2 + \frac{\beta^2}{k_1^2}\right)\right), \quad (4)$$

де $k_1 = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}}$, то видно, що існує певне екстремальне

значення σ , при якому рівень кореляції зберігається в достатньо широкому діапазоні значень τ , (рис. 3) а це означає, що при застосуванні генераторів такого типу, в залежності від обраного критерію оптимальності (максимальне розрізнення по доплерівському зсуву, або максимальне розрізнення по часовому запізненню) необхідно корегувати значення параметрів амплітудної і частотної нестабільності.

Слід зазначити, що така ситуація притаманна і для більшості інших комбінацій розподілів і їх параметрів. А отже, якщо в передавачі неможливо усунути флуктуації, то їх необхідно скоректувати таким чином, щоб флуктуація відповідала саме оптимальному значенню.

Таким чином, отримана удосконалена математична модель дає змогу підтвердити гіпотезу, що потенційні можливості зонduючого сигналу щодо розрізнення, при урахуванні різних флуктуаційних модулюючих складових, перевищують, а при дотриманні певних умов значно перевищує можливості розрізнення без їх урахування. Проте недетермінізм цих флуктуацій, вимагає застосування додаткових заходів для їх застосування, а отже необхідно розробити відповідний метод обробки ехо-сигналів, що дає змогу реалізувати потенційне розрізнення на етапі прийому.

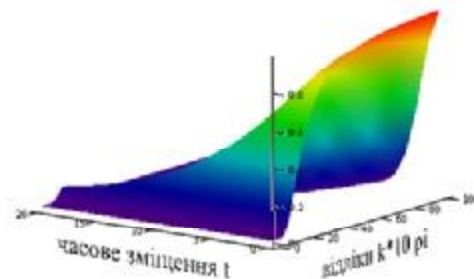


Рис. 3. Залежність коефіцієнта кореляції від часового зміщення та значень коефіцієнта k_1

Література

1. Вопросы перспективной радиолокации. Коллективная монография / Под редакцией А.В. Соколова. – М. : Радиотехника, 2003 – 512 с.
2. Передающие устройства СВЧ : [учебно-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.
3. Обработка радиолокационных сигналов урахуванням внутрішньоімпульсних фазочастотних нестабільностей / О.М. Шинкарук, І.І. Чесановський // Зб. наук. пр. військ. ін-ту Київського нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка / за ред. С.В. Ленкова. – К. : ВІКНУ, 2009. – Вип. № 17. – С. 89–92.

Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.
Надійшла 11.2.2012 р.

УДК 621.317

К.В. ЧМЕРУК, О.К. ЯНОВИЦЬКИЙ, С.О. ЯНОВИЦЬКИЙ, В.Р. ЛЮБЧИК
Хмельницький національний університет

РОЗРОБКА МЕТОДУ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН В ЗОНІ ДІЇ ВТОРИННИХ РЛС

В статті проаналізовані методи визначення небезпечних ситуацій між літальними апаратами. Показано, що для налагодження системи попередження зіткнення, необхідно проводити математичне моделювання. Запропоновано математичну модель для визначення небезпечних ситуацій та їх вирішення.

The article analyzed the methods for determining hazardous situations between aircraft. It is shown that for debugging collision warning system, to carry out mathematical modeling. A mathematical model for determination of hazardous situations and solutions.

Ключові слова: зона підвищеної уваги; зона попередження; зона зіткнення; моделювання руху літаків; повітряні судна.

Постановка проблеми. Однією з самих актуальних задач в авіації є забезпечення безпеки руху повітряних засобів літаючих апаратів. Рішення її можливо двома основними способами: проведенням натурних експериментів або проведенням досліджень за допомогою розроблених моделей.

Перший спосіб являється найбільш ефективним, але в той же час дуже громіздкий і потребує значних людських і матеріальних затрат. Тому на практиці натурні випробування проводять тільки з фрагментами систем попередження зіткнень, а основні показники їх ефективності визначають за допомогою методів математичного або імітаційного моделювання. Сама модель складається з двох взаємозв'язаних частин (моделей): моделі повітряної обстановки і моделі роботи бортової апаратури системи попередження зіткнень СПЗ.

Моделювати повітряну ситуацію необхідно не в масштабі держави (континенту), а тільки в аеродромно-вузлових зонах (АВЗ), так як там за даними статистики відбувається переважна більшість небезпечного зближення і зіткнення літаків.

Аналіз досліджень та публікацій. Ця задача вирішувалась в роботах [1, 2]. В них за допомогою "газової" математичної моделі аналітично визначалась залежність частоти небезпечних зближень від

інтенсивності повітряного руху в АВЗ. В основу цієї моделі було положено припущення про випадковий рух ЛА. Другою різновидністю відомих моделей є модель повністю упорядкованої повітряної ситуації.

У цьому випадку робилось припущення, що всі ЛА рухаються з різними швидкостями в одному напрямку, кожний маршрут здійснюється по одній трасі і не враховувалась можливість небезпечного зближення. Це дало змогу оцінити можливості траси по щільності повітряного руху. Розглянуті моделі є спрощеними і не дозволяють здійснювати пошук конфліктних ситуацій, визначати ступінь свободи конфлікуючих ЛА, визначати ймовірність прийняття помилкового рішення, ймовірність хибної тривоги. В зв'язку з цим є актуальною задача розробки моделі, яка б враховувала ці чинники [2].

Постановка задачі. Запропонована модель повинна розв'язувати задачу моделювання виникнення небезпечних ситуацій в повітрі між літальними апаратами, видачі рекомендацій з уникнення зіткнення ЛА та моделювання процесу розходження літаків.

Основна частина. Максимальна кількість конфлікуючих ЛА не більше трьох (згідно з міжнародним стандартом ICAO). Конфліктною ситуацією вважається ситуація, яка призводить до зіткнення двох або трьох літаків, що зображено на рис. 1. За модель взята Декартова система координат, реалізації функцій наступних математичних функцій [3]:

Довжина ділянки траєкторії польоту літального апарату:

$$r = \sqrt{(x_K - x_{II})^2 + (y_K - y_{II})^2 + (h_K - h_{II})^2}, \quad (1)$$

де $x_{II}, y_{II}, h_{II}, x_K, y_K, h_K$ – координати початкової і кінцевої опорних точок траєкторії.

Прискорення ЛА:

$$b = (n_K - n_{II})(n_K - n_{II}) / r, \quad (2)$$

де n_{II}, n_K – початкове і кінцеве значення швидкості ЛА.

Поточне значення швидкості в момент часу $t + \Delta t$ обчислюється за формулою:

$$n(t + \Delta t) = n(t) + b\Delta t, \quad (3)$$

де Δt – проміжок часу.

В моделі використовуються постійні коефіцієнти розкладу вектора швидкості ЛА по координатах x, y, h :

$$c_x = \frac{x_K - x_{II}}{r}, c_y = \frac{y_K - y_{II}}{r}, c_h = \frac{h_K - h_{II}}{r}. \quad (4)$$

Плинне значення складових вектора швидкості визначаються співвідношеннями:

$$n_x = c_x n, n_y = c_y n, n_h = c_h n. \quad (5)$$

Значення координат ЛА обчислюються за формулами:

$$\begin{aligned} x(t + \Delta t) &= x(t) + c_x n_{\Delta t}, \\ y(t + \Delta t) &= y(t) + c_y n_{\Delta t}, \\ h(t + \Delta t) &= h(t) + c_h n_{\Delta t}. \end{aligned} \quad (6)$$

Присутність ЛА в зоні підвищеної уваги знаходиться нерівностями:

$$(x - R)^2 + (y - R)^2 \leq R^2, \quad (7)$$

$$\Delta h > 0. \quad (8)$$

Невиконання хоча би однієї із цих умов означає, що ЛА вилетів за межі зони підвищеної уваги.

Присутність ЛА в зоні попередження знаходиться нерівностями:

$$(x - R_n)^2 + (y - R_n)^2 \leq R_n^2, \quad (9)$$

$$\Delta h_n > 0. \quad (10)$$

Присутність ЛА в зоні зіткнення знаходиться нерівностями:

$$(x - R_3)^2 + (y - R_3)^2 \leq R_3^2, \quad (11)$$

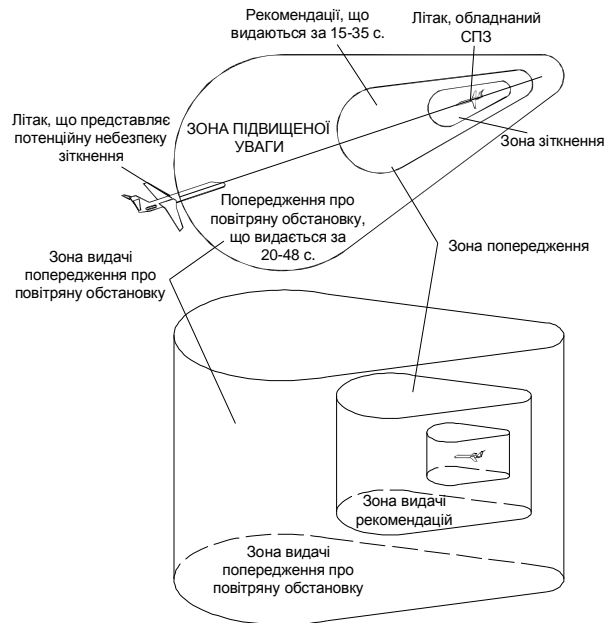


Рис. 1. Зони визначення конфліктної ситуації

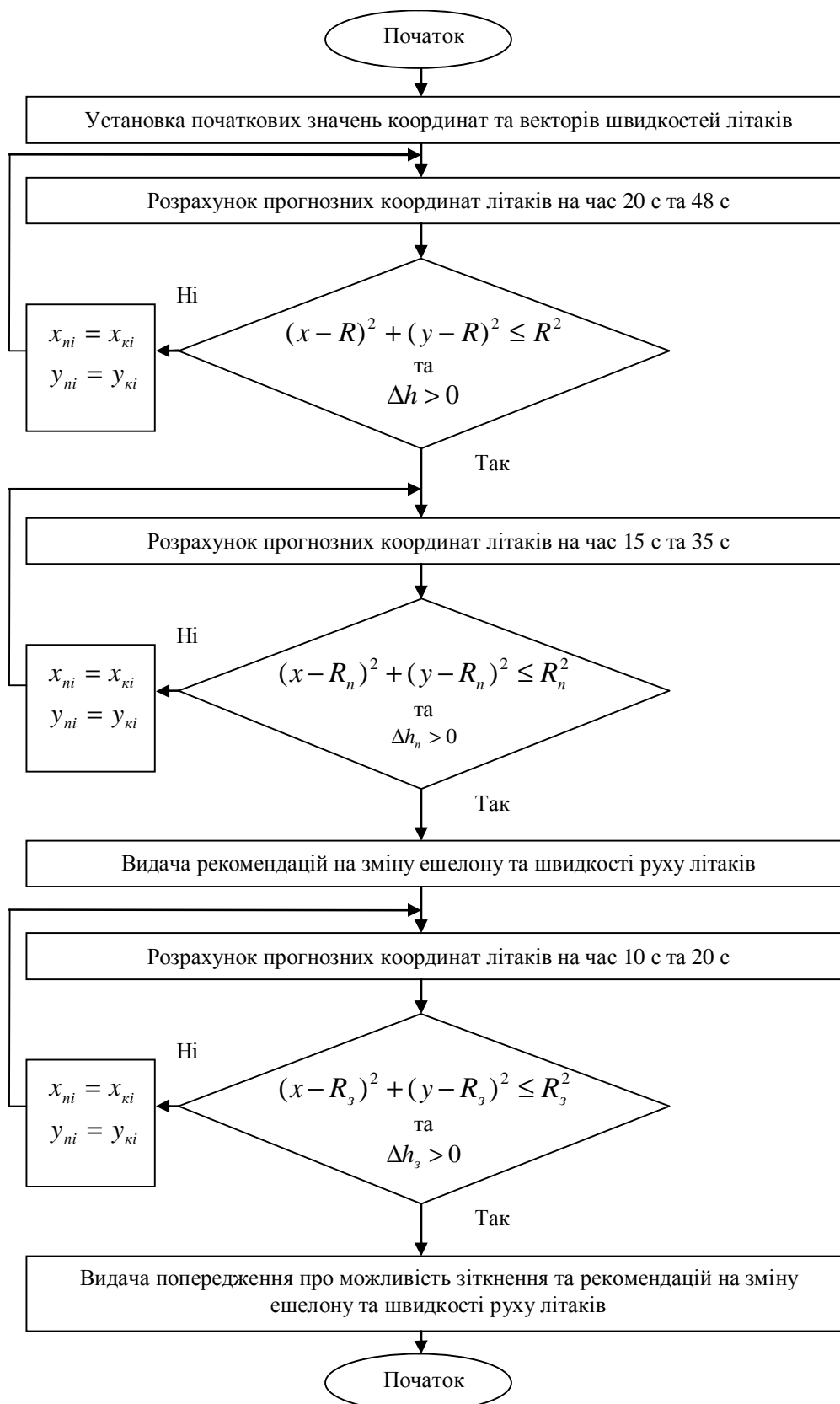


Рис. 2. Алгоритм роботи моделі руху літаків в зоні підвищеної уваги

Якщо конфліктуючий літак входить в зону попередження, то СПЗ видає рекомендації щодо усунення конфліктної ситуації, що задає маневри в вертикальній площині, які за даними прогнозу забезпечує збільшення чи утримання інтервалу ешелонування відносно літака, що представляє загрозу. Рекомендації можуть бути або коригуючими, або обмежуючими. Рекомендація яка зображується на індикаторі СПЗ або змінюється на рекомендацію з переходу в набір висоти або зниження з указанням

вертикальної швидкості, або змінюється на попередження екіпажу про те, щоб не змінювати поточну вертикальну швидкість. Одночасно подається голосова команда.

СПЗ працює за принципом обчислення часу, тому, незалежно від взаємної геометрії траєкторій конфліктуючих літаків, в даний момент часу попередження про повітряну обстановку і рекомендації щодо усунення видаються екіпажу приблизно з одним і тим же запасом часу.

В загальному вигляді алгоритм моделювання буде полягати у виконанні наступних дій:

1. Задаються початкові координати літаків та їх швидкості.
2. Обираються типи польоту кожного з конфліктуючого літаків: набір висоти, зменшення висоти, горизонтальний політ.
3. За виразом (6) розраховуються прогнозоване значення координат на час що відповідає часу входження літаку в зону підвищеної уваги.
4. За виразами (7) та (8) визначається можливість присутності літаків в зоні підвищеної уваги.
5. За виразом (6) розраховуються прогнозоване значення координат на час, що відповідає часу входження літаку в зону попередження.
6. За виразами (9) та (10) визначається можливість присутності літаків в зоні підвищеної уваги.
7. Розрахунок рекомендацій по зміні поточного ешелону та вектору швидкості одного літака і не зміні ешелону іншого літака.
8. За необхідності, коригування траєкторій руху літаків.
9. Повернення до виконання пунктів 3–8.

Алгоритм моделі руху літаків в зоні підвищеної уваги та роботи СПЗ наведено на рис. 2.

Висновки. Таким чином в роботі було запропоновано для перевірки працездатності та надійності роботи системи попередження зіткнення літаків використовувати розрахункові вирази, що дозволяють визначати входження літаків в зони підвищеної уваги, зону попередження та зону зіткнення. Запропонований алгоритм роботи математичної моделі дозволяє визначати усі етапи відпрацювання СПЗ та перевіряти її роботу в режимі видачі рекомендацій про зміну ешелону, курсу та швидкості руху літаків в зоні попередження та зоні зіткнення.

Література

1. Яновицький С.О. Способи дискретного вимірювання часового критерію небезпеки у вторинних радіолокаційних системах попередження зіткнення літаючих апаратів / С.О. Яновицький // Міжнародний науково-технічний журнал. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. –1997. – № 1. – С. 101–104.
2. Яновицький С.О. Аналіз похибок аналогових вимірювачів часу до зіткнення літаків в бортових радіолокаційних системах / С.О. Яновицький, О.К. Яновицький // Міжнародний науково-технічний журнал Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1997. – № 1. – С. 104–107.
3. Любчик В.Р. Моделювання руху літальних апаратів в аеродромній зоні / В.Р. Любчик, С.О. Яновицький, О.В. Мазуренко // Механіка та інформатика: тези наукових праць. VIII Українсько-польська конференція молодих науковців, 12–14 травня 2011 р., м. Хмельницький (Україна) – Хмельницький національний університет, 2011. – С. 83–85.

Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.

Надійшла 19.2.2012 р.

УДК 621.396

О.В. МІРОШНИЧЕНКО

Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка

АНАЛІТИЧНА ОЦІНКА ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ КОРЕЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ ПЕЛЕНГАЦІЇ

У статті розглядається оцінка пропускної спроможності кореляційних систем пеленгації джерел активних шумових перешкод в складній перешкодовій обстановці.

In the article the estimation of carrying capacity of the correlation systems of taking of sources of active noise hindrances the bearing is considered, in a sticky pomehovoy wicket.

Ключові слова: активна шумова перешкода, радіолокаційна станція, діаграма направленості, пропускна спроможність.

Постановка задачі

В складній перешкодовій обстановці, що характеризується числом постановників активних шумових перешкод в зоні більше 4...5, стають малоефективними засоби адаптивного захисту від активних шумових перешкод активних радіолокаційних станцій (РЛС), (якість придушення кожної перешкоди знижується з 17...23 ДБ до 8...10 ДБ). В цих умовах зростає роль систем пасивної локації (СПЛ)

постановників активних шумових перешкод, проте можливості надійної пеленгації джерел активних шумових перешкод каналами пеленгацій існуючих РЛС також забезпечується тільки при обмеженому числі постановників активних шумових перешкод в зоні. Причиною обмеження є низька якість оцінки сумарної потужності заважаючої активної шумової перешкоди, що впливає по бічних пелюстках діаграми спрямованості (БП ДС), яке обумовлене невідповідністю просторових характеристик БП основної антени і ДС допоміжної антени каналу усунення помилкових пеленгів. Результатом перевищення рівня компенсації (нормування) прийнятого сигналу є пропуск ряду постановників активних шумових перешкод з меншою інтенсивністю активної шумової перешкоди на вході. Параметром, що визначає ефективність СПЛ в складній порешкодовій обстановці служить так названа пропускна спроможність систем пеленгації (СП). Для існуючих СПЛ вона не перевищує 4...5 постановників активних шумових перешкод. У ряді опублікованих робіт (наприклад [1]) запропоновані алгоритми кореляційних пеленгаторів з декількома антенами, які по проведеному аналізу дозволяють істотно понизити рівень прийому по БП і, тим самим, підвищити пропускну здатність каналу пеленгації. Дані оцінки пропускну здатності до теперішнього часу засновані тільки на результатах бойової роботи і полігонних випробувань РЛС. Методика аналітичної оцінки пропускну здатності як для існуючих каналів РЛС, так і для перспективних алгоритмів пеленгації відсутні.

Мета статті: розробити методику аналітичної оцінки пропускну здатності і провести кількісний аналіз по запропонованій методиці і методом моделювання.

Модель кореляційного пеленгатора (КП).

В системі пеленгації, побудованої по будь-якому відомому алгоритму, використовується роздільна оцінка дисперсії сумарного сигналу, прийнятого основною антеною і каналом усунення помилкових пеленгів з подальшим нормуванням першої оцінки до другої. Корисним сигналом при цьому є N сигналів постановників активних шумових перешкод, які приймаються основним пелюстком ДС антени, а «перешкодою» є аналогічні по структурі сигнали активних шумових перешкод, що впливають по БП антени.

Узагальнена структурна схема КП з рознесеним прийомом, запропонована в [1] представлена на рис.1.

Значення умовних позначень:

U_0, U_1, U_n – сигнали активних шумових перешкод на входах антен (тут і надалі для скорочення опускається запис аргументу – часу);

V_c, V_n – оператори обробки відповідно в основному і «перешкодовому каналах»;

Y, W – оператори об'єднання, значення яких пояснюється нижче.

$$V_c[U_0, U_k] = \overline{U_0 U_k};$$

$$V_n[U_k] = K_{yi} |U_k|^2;$$

$$Y[U_0, U_j, U_k] = (\overline{U_0 U_j}) \times (\overline{U_0 U_k});$$

$$W[V_c, V_n] = \frac{V_c}{V_n}.$$

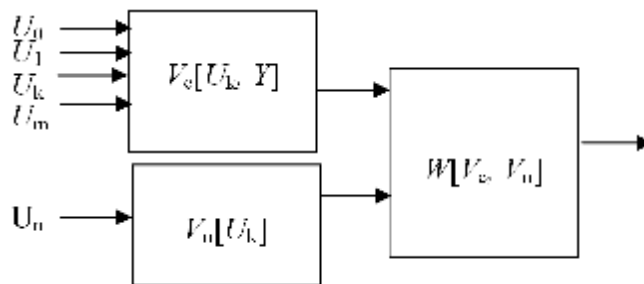


Рис. 1. Узагальнена структурна схема КП з рознесеним прийомом

Повні аналітичні вирази вказаних операторів і сигналів приведені в [1].

В даному випадку приводиться запис кінцевих виразів у вигляді, зручному для подальшого виконання вирішуваної задачі:

$$V_c = s_c^2 ah \sum_{i=1}^n s_i^2 + s_{us}^2; \quad V_n = \beta \sum_i^n \sigma_i^2 + \sigma_{us}^2, \quad (1)$$

де σ_c^2, σ_i^2 – дисперсії сигналу і «i»-ї перешкоди α – середній відносний рівень БП основної антени, β – відносний рівень прийому допоміжної антени з урахуванням додаткового посилення в каналі оператора, η – множник придушення бічного прийому за рахунок кореляційної обробки сигналів.

Так, при одній рознесеній на базу « d » антені відповідно до результату аналізу в [1] він визначається виразом:

$$\eta = \exp\{-1,4d^2\Delta f^2c^{-2}[\sin(\theta - \sin(\theta \pm \theta_i))]^2\},$$

де Δf – ширина спектру перешкоди, θ, θ_i – напрям пеленгації і « i »-го джерела активної шумової перешкоди.

Статистична модель пеленгації

За визначенням пропускна здатність – максимальне число постановників активних шумових перешкод в зоні з однаковими потужностями на вході РЛС, яке може бути знайдено із заданою вірогідністю, відповідно до цього модель роботи СПЛ припускає рівномірний розподіл постановників активних шумових перешкод в зоні, однаково потужності перешкод і їх попарну некорельованість. Будь-яка реальна модель перешкодової обстановки може бути приведена в заданому секторі $[\Delta\beta]$ до еквівалентної по формулі усереднювання:

$$\frac{1}{\Delta\beta} = \frac{1}{r_1 - r_2} \int_{\Delta\beta} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = \frac{c}{r_1 - r_2},$$

де r_1, r_2 – інтервал дальності.

Якщо потужності джерел в центрі зони прийняти за 1, то:

$$N_{екв} = \frac{N(r_1 + r_2)^2}{4r_1r_2} \quad (2)$$

Методика розрахунку пропускної здатності

Вихідні сигнали КП (V_c, V_n) при обмеженому часі усереднювання T є випадковим процесом з дисперсією, що визначається виразом [2]:

$$\sigma_w^2 = \frac{P_{V_c} P_{V_n}}{\mu},$$

$$\mu = \pi\Delta f T.$$

Коефіцієнт кореляційного накопичення μ має порядок $10^4.. 10^5$.

Методика аналітичної оцінки пропускної здатності заснована на використуванні основного виразу розрахунку умовної вірогідності правильного виявлення при нормальному розподілі вихідного процесу:

$$P_{вияв} = 0,5 \left[1 + \Phi \left(\frac{\bar{W} - W_0}{S_w} \right) \right] \quad (3)$$

W_0 – поріг рішення.

Для умов прийнятої моделі пеленгації значення параметрів вирази (3) мають вигляд:

$$\bar{W} = \sigma^2 [\beta(N-1) - \alpha\eta N]; \sigma_w \cong \bar{W}^2 \mu^{-1/2}; W_0 = \sigma_w \sqrt{-2 \ln P}$$

Опускаючи нескладні перетворення, позначимо загальний аргумент інтеграла вірогідності через $X_{вияв}$ вираз (3) можна записати у вигляді:

$$\arg \Phi(2P_{вияв} - 1) = X_{вияв}. \quad (4)$$

Записане для скорочення загальний вираз (4) розв'язується відносно β і, таким чином, визначаємо результат аналітичної оцінки пропускної здатності.

Результати аналізу

Кількісний аналіз проведений при наступному значенні параметрів:

$$a = -23 \text{ ДБ}; h = -27 \text{ ДБ} \text{ (середнє при } |q - q_i| < (5 \div 6)q_{0,5P}; P_{вияв} = 0,75; P = 10^{-6}.$$

Значення β вибирається з умови перевищення максимального БП ДС, тобто якщо відносний результуючий рівень бічного прийому α (середній відносний рівень БП основної антени) визначити як середнє квадратичне значення, то β (відносний рівень прийому допоміжної антени з урахуванням додаткового посилення в каналі оператора) принаймні в 3...4 рази повинен перевищувати його.

Висновки

1. Представлена методика аналітичної оцінки пропускної спроможності може бути використаний для каналу пеленгації, побудованого не тільки по кореляційному, але і будь-кому іншому алгоритму при зміні операторів рис.1.

2. Результати аналізу для усереднених параметрах пеленгатора підтверджують необхідність для

забезпечення пропускної здатності 10...12 постановників активних шумових перешкод, зменшувати відносний рівень бічного прийому до -33...-35 і менш ДБ.

Література

1. Долгушин В.П. Метод підвищення ефективності (пропускної спроможності) систем пеленгації джерел АШП на основі просторово-кореляційного алгоритму обробки сигналів / В.П. Долгушин, О.В. Горшколепов, О.В. Мірошніченко // Збірник наук. праць Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. – К. : ВІКНУ, 2006. – Вип. 2. – С. 56–63.

2. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. Книга первая / Левин Б.Р. – М. : Сов. радио, 1966.

Рецензент: д.т.н. Шинкарук О.М.
Надійшла 7.2.2012 р.

УДК 621.39

В.І. ЛУЖАНСЬКИЙ, Ю.О. БАБІЙ, Л.М. МЕЛЬНИК
Хмельницький національний університет

ВПЛИВ НЕЛІНІЙНИХ ЕФЕКТІВ ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА НА ПРОПУСКНУ ЗДАТНІСТЬ КОРПОРАТИВНИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ

Проведено дослідження пропускної спроможності волоконно-оптичних ліній в корпоративних системах зв'язку зі спектральним ущільненням каналів, та огляд існуючих методів зменшення впливу нелінійних ефектів, міжмодової дисперсії та джиттера на пропускну здатність і довжину регенераційної ділянки волоконно-оптичних систем передавання. Запропоновано метод який найкраще забезпечить підвищення пропускної здатності транспортної мережі шляхом зменшення впливу поляризаційно-модової дисперсії оптичних світловодів волоконно-оптичних систем передавання інформації зі спектральним ущільненням каналів.

The research capacity of fiber optic lines in corporate communication systems with wavelength division multiplexing channels, and review of existing methods of reducing the influence of nonlinear effects of polarization dispersion and jitter on the bandwidth and the length of the regeneration areas of fiber optic transmission systems. The method that best secure higher bandwidth transport network by reducing the influence of polarization Mode Dispersion optical light guide fiber optic systems transmit information with spectral multiplexing.

Вступ

На даний момент Україна працює над розвитком золотодобувної галузі, і деякі проекти по освоєнню нових копалин вже є актуальними. Українська та польсько-австралійська компанії заключили договір по розробці проекту з видобутку золота у селі Бобрикове, Луганської області, що передбачає створення більш як 300 робочих місць. Для забезпечення швидкого та надійного зв'язку України з країнами партнерами, необхідно створення корпоративної системи зв'язку з використанням оптоволоконних ліній [1].

Якісними показниками оптоволоконних ліній зв'язку (ВОЛЗ) є швидкість передачі та завадостійкість сигналів. Зі збільшенням швидкостей у системах ущільнення оптичних каналів за довжинами хвиль WDM (Wavelength Division Multiplexing) виникають негативні явища, які впливають на якість сигналу, одним з яких є поляризаційна модова дисперсія (ПМД) та джиттер. Оптичні волокна (ОВ) транспортних мереж є анізотропним середовищем під впливом статичних і динамічних факторів (механічних спотворень), що призводить до різних швидкостей поширення поляризаційних складових і виникнення диференціальної групової затримки (ДГЗ), і як наслідок, поляризаційної модової дисперсії. Для боротьби з поляризаційною модовою дисперсією та джиттером використаємо метод підвищення пропускної здатності оптичної транспортної мережі за рахунок поканальної компенсації поляризаційної модової дисперсії оптичного волокна та зменшення впливу джиттера шляхом усунення впливу його детермінованої складової [2].

Постановка наукової задачі: сучасна мережа синхронної цифрової ієрархії SDH (Synchronous Digital Hierarchy) побудована на базі мультиплексування з часовим розподілом каналів TDM (Time Division Multiplexing), дійшовши до швидкості передавання 10 Гбіт/с, зіштовхнувшись з проблемами хроматичної та поляризаційної дисперсії моди, котрі на швидкості вищій від 10 Гбіт/с, починають суттєво впливати на якість передачі. Таким чином, розширення пропускної здатності за допомогою TDM виявляється досить проблематичним. Ця проблема послужила поштовхом до створення систем ущільнення оптичних каналів за довжиною хвиль WDM [2].

Явища хроматичної та поляризаційної модової дисперсії в оптичному волокні ставлять обмеження на швидкість і дальність передачі сигналу. Для компенсації їх негативного впливу використовують різні методи компенсації: попереднє чірпування лазерного джерела, інверсію спектра в середині ділянки, волоконні бреггівських решітки з постійною лінійною складовою що змінюється (чірпування), волокно з компенсацією дисперсії і пристрої компенсації дисперсії [3].

На відміну від однохвильових систем передачі, в системах WDM актуальною стає компенсація

дисперсії не на одній довжині хвилі, а в робочому діапазоні довжин хвиль, так звана компенсація нахилу дисперсії.

Оптичні волокна транспортних мереж є анізотропним середовищем під впливом статичних і динамічних факторів (механічних спотворень), що призводить до різних швидкостей поширення поляризаційних складових і виникнення диференціальної групової затримки, та як наслідок, поляризаційної модової дисперсії. Основним завданням при створенні підсистеми моделювання оптичного волокна з двозаломленням було збереження адекватної залежності диференціальної групової затримки від довжини хвилі оптичної несучої, тому для опису поширення світла через такі структури було вибрано багатосегментну структуру волокна і модифікований метод Джонса (1), що полягає у визначенні матриць для кожного із сегментів, що характеризується азимутом q_i і затримкою $d_i = w \cdot \Delta t_i$:

$$M_i(w) = \begin{bmatrix} \cos^2 q_i + e^{-id_i} \sin^2 q_i & (1 - e^{-id_i}) \cos q_i \sin q_i \\ (1 - e^{-id_i}) \cos q_i \sin q_i & \sin^2 q_i + e^{-id_i} \cos^2 q_i \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де d_i – випадковий зсув фаз між ортогонально поляризованими складовими, q_i – азимут пластинки, Δt_i – максимальна часова затримка пластинки.

Відповідно до виразу (2) результуюча матриця Джонса усього оптичного волокна T з N сегментів матиме вигляд:

$$T = \prod_{i=0}^{N-1} M_i(d), \quad (2)$$

де N – кількість сегментів ОВ, $M_i(d)$ – комплексна матриця Джонса, T – добуток матриць Джонса кожного сегмента.

Результуючий час затримки між швидким і повільним станами поляризації визначається як сума затримок кожного з сегментів:

$$dgd_{\Sigma} = \sum_{k=1}^N dgd_k, \quad (3)$$

де dgd_k – диференціальна групова затримка сигналу оптичного волокна.

Створена підсистема моделювання оптичного волокна з двозаломленням використовує також методи статистичного моделювання, що дозволяє досліджувати залежність диференціальної групової затримки від еліпса поляризації вхідного сигналу, довжини хвилі оптичної несучої і ширини смуги випромінювання оптичного джерела, а кількість сегментів і їх параметри безпосередньо пов'язати з коефіцієнтом ПМД і довжиною оптичного волокна[4].

Нелінійні ефекти виникають через нелінійну залежність індексу рефракції матеріалу оптичного волокна від потужності сигналу, що ним передається, і можуть викликати шуми і спотворення оптичних імпульсів, що накладає обмеження на максимальну швидкість передавання і пропускну здатність ОВ, а також на довжину регенераційної ділянки. Для визначення впливу нелінійних ефектів використовується ряд аналітичних виразів, так як ці ефекти носять більше детермінований, ніж випадковий характер. Так, для визначення порогової потужності стимульованого розсіювання Брілюена (SBS) використовуємо вираз:

$$P_{th}(SBS) \approx 21A_{eff} / g_B L_{eff}, \quad (4)$$

де $g_B = 5 \cdot 10^{-11}$ – типовий приріст SBS, $L_{eff} = \frac{1}{a}(1 - e^{-aL})$ – ефективна довжина оптичного волокна, $A_{eff} \approx p(MFD/2)^2$ – ефективна область, може знаходитися в діаметрі модового поля (MFD), a – затухання в ОВ.

Поріг потужності для стимульованого розсіювання Рамана (SRS) можна обчислити за формулою:

$$P_{th}(SRS) = 16A_{eff} / g_R L_{eff}, \quad (5)$$

де $g_R = 10^{-13}$ – підсилювальний коефіцієнт SRS, мВт, при довжині хвилі $L = 1500$ нм.

З виразів (4) та (5) видно, що явища SBS і SRS полягають в тому, що оптичний сигнал розсіюється і зміщується в область довших хвиль. Якщо сумарна потужність сигналу в ОВ не перевищує розрахованих, то впливом даних ефектів можна знехтувати. Фазова самомодуляція починає проявлятися за потужності вхідного випромінювання $\sim 8...10$ мВт. Зміна фази викликає зсув частоти, що призводить до розширення спектру сигналу.

Зміна фази сигналу:

$$\Phi(SPM) = g P_{in} L_{eff}, \quad (6)$$

де P_{in} – вхідна потужність сигналу, Вт, $g = 2pn / I A_{eff}$ – нелінійний коефіцієнт поширення, $n \approx 3.2 \cdot 10^{-20}$ – нелінійний коефіцієнт індексу рефракції, м²/Вт.

Пережресна фазова самомодуляція (XPM) виникає тоді, коли потужність однієї хвилі, що поширюється у волокні, викликає зміну показника заломлення середовища поширення і призводить до самомодуляції фази іншої хвилі. Зміну фази імпульсу під впливом XPM можна визначити, модифікувавши формулу для SPM (6) наступним чином:

$$\Phi_1(XPM) = g L_{eff} (P_1 + 2P_2 + \dots + 2P_n), \quad (7)$$

де P_1, P_2, \dots, P_n – потужність хвиль в ОВ, (дБ). XPM є первинним обмеженням вхідної потужності для систем передавання зі спектральним ущільненням.

Чотирихвильове змішування FWM (Four-Wave Mixing) виникає в системах передавання зі спектральним ущільненням каналів і полягає у виникненні паразитних хвиль, що призводить до втрати потужності сигналу і виникнення паразитних впливів в інших каналах системи. Основний параметр в рівнянні для ефективності FWM є Db – розузгодження фази FWM через дисперсії оригінальних хвиль:

$$\Delta b = b_i + b_j - b_k - b_{ijk} = \left(\frac{2pc}{l^2}\right) \left(\frac{dD}{dl}\right) \left(\frac{l_i + l_j}{2} - l_0\right) (l_i - l_j) (l_j - l_k), \quad (8)$$

де b_i, b_j, b_k, b_{ijk} – постійна розповсюдження, dD/dl – нахил дисперсійної характеристики (відомий як S_0), ($pc / \text{нм}^2 \cdot \text{км}$); $\lambda_i, \lambda_j, \lambda_k$ – три оригінальні довжини хвилі, (нм);

λ_0 – нульова дисперсійна довжина хвилі, (нм);

λ – довжина хвилі передавання у вакуумі (1550 нм).

Формула для визначення ефективності FWM:

$$h = \left(\frac{a^2}{a^2 + \Delta b^2}\right) \left(1 + \frac{4e^{-aL} \sin^2(\Delta bL/2)}{(1 - e^{-aL})^2}\right) \left(\frac{\sin(N_A \Delta bL/2)}{\sin(\Delta bL/2)}\right), \quad (9)$$

де L – довжина ОВ, (м),

N_A – числова апертура ОВ.

Потужність згенерованої довжини хвилі:

$$P_{ijk} = \left(\frac{D_{ijk}}{3} g L_e\right) P_i P_j P_k e^{-aL} h, \quad (10)$$

де $D_{ijk} = 3 \div 6$ – дегенеруючий чинник, залежний від міжканальної відстані і хроматичної дисперсії використовуваного ОВ.

Для реалізації адекватної моделі оптичної транспортної системи необхідно виміряти її характеристики і параметри, для чого були вибрані методики і розроблені схеми експериментів з вимірювання диференціальної групової затримки в широкому спектральному діапазоні і джиттера (фазового тремтіння), що має місце в системах такого класу, а також проведені вимірювання коефіцієнта бітової помилки. Результати вимірювань лягли в основу реалізації відповідних підсистем моделювання оптичних транспортних систем (ОТС), а також були використані для перевірки адекватності розробленої моделі.

Один із найефективніших методів аналізу параметрів цифрової системи передавання є ОКО-діаграма, тому саме цей метод і ліг в основу створення моделі ОТС. Запропонований метод дозволяє аналізувати як енергетичні, так і часові параметри цифрового сигналу.

Око-діаграма є результат багатократного накладання бітових послідовностей, що відображається на екрані осцилографа у вигляді діаграми розподілу амплітуди сигналу в часі.

Фундаментальним показником якості цифрових систем передачі є коефіцієнт помилок BER. Робота цифрових систем передачі вважається нормальною тільки в тому випадку, якщо BER не перевищує певне допустиме значення, що відповідає використовуваному мережевому стандарту.

Досить поширена методика оцінки коефіцієнта помилок BER на основі визначення Q-фактора. Q-фактор – це параметр, який безпосередньо відображає якість сигналу цифрової системи передачі. Існує певна функціональна залежність Q-фактора сигналу і вимірюваного коефіцієнта помилок BER. Q-фактор визначається шляхом статистичної обробки результатів вимірювання амплітуди і фази сигналу на електричному рівні, а саме безпосередньо по око-діаграмі. При цьому виконується побудова функції розподілу станів «1» і «0», а для цих розподілів, в припущенні їх гаусової форми, оцінюються математичні очікування станів $E1$ і $E0$ і їх середньоквадратичні відхилення S_1 і S_0 (рис. 1, а).

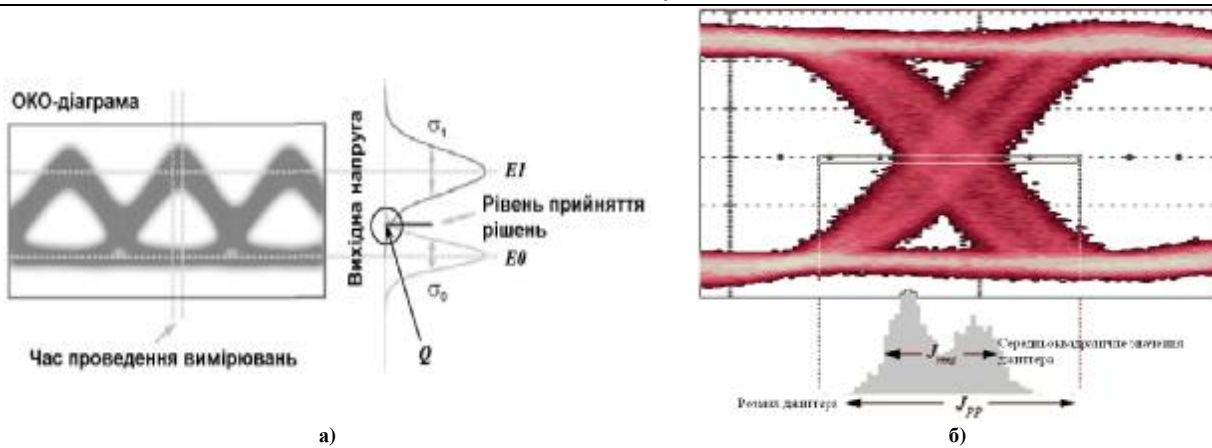


Рис. 1. Ідентифікація око-діаграми: а) оцінка Q-фактора; б) оцінка джиттера

Q-фактор розраховується за наступною формулою :

$$Q = \frac{|E1 - E0|}{s_1 + s_0} \quad (11)$$

При цьому сам коефіцієнт помилок *BER* визначається за формулою :

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{Q}{\sqrt{2}} \right) \approx \frac{1}{Q\sqrt{2p}} \exp \left(-\frac{Q^2}{2} \right) \quad (12)$$

Для оцінки розподілу джиттера, що призводить до часового зсуву оптичних імпульсів, визначають точку синхронізації і зміщення імпульсів, що передавалися через послідовність пристроїв і оптичних волокон відносно цієї точки. В результаті отримуємо такі параметри джиттера, як його середньоквадратичне значення і максимальний розмах (рис. 1, б). Шляхом детальнішого аналізу отриманих значень можна встановити деякі закономірності виникнення джиттера, що дозволить реалізувати схему зменшення його негативного впливу.

В основу розробленого методу компенсації ПМД покладено той факт, що диференціальна групова затримка (ДГЗ) залежить від еліпса поляризації світлового випромінювання, що подається в оптичне волокно. Схему волоконно-оптичної системи передавання інформації зі спектральним ущільненням каналів і схемою компенсації поляризаційної модової дисперсії на основі модулятора вхідного світлового випромінювання, аналізатора ДГЗ і зворотного каналу для вибору найкращого еліпса поляризації вхідного випромінювання показано на (рис. 2).

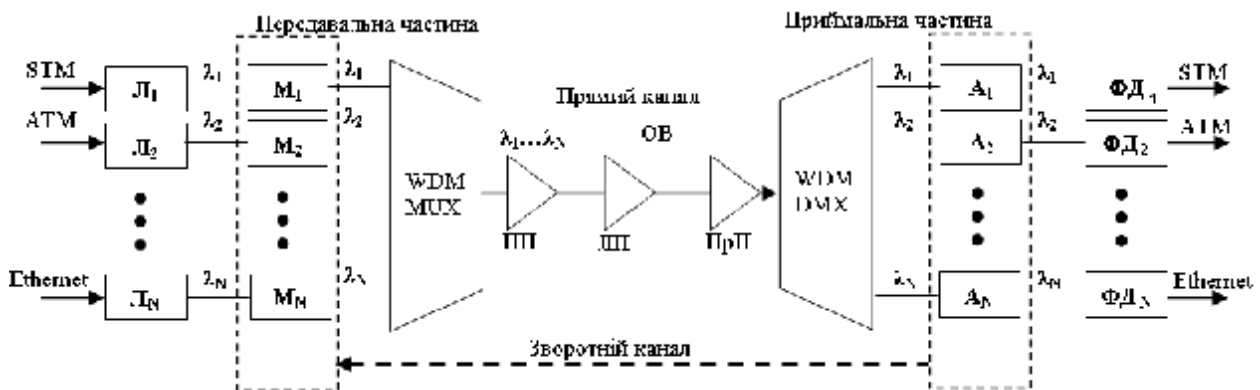


Рис. 2. Схема DWDM-системи передавання з поканальною компенсацією поляризаційно-модової дисперсії

В схему (рис. 2) входять наступні компоненти: $L_1, L_2 \dots L_N$ – одномодові лазери; ПП – підсилювач потужності; ЛП – лінійний підсилювач (як правило EDFA); ПрП – попередній підсилювач потужності; $\Phi D_1, \Phi D_2 \dots \Phi D_N$ – фотодетектори; ОВ – оптичне волокно; WDM MUX – мультиплексор спектрального ущільнення; WDM DMX – демультіплексор спектрального ущільнення; STM, ATM, Ethernet – можливі види трафіка; $M_1, M_2 \dots M_N$ – модулятори – пристрої для зміни еліпса поляризації вхідного випромінювання; $A_1, A_2 \dots A_N$ – аналізатори – пристрої для визначення ДГЗ і для керування модуляторами через зворотній канал.

Лазер Л випромінює лінійно-поляризоване світло, причому може використовуватися як лазер з внутрішньою модуляцією інтенсивності, так і передавальний оптичний модуль з зовнішнім модулятором.

Випромінювання подається на модулятор М, далі сигнали всіх спектральних каналів подаються на оптичний WDM – мультиплексор, після якого груповий сигнал N спектральних каналів передається в оптичне волокно через широкосмуговий підсилювач потужності.

Схема компенсації ПМД, що показана штриховою лінією на (рис. 2), дозволяє оперативно реагувати на зміну ДГЗ. В якості модулятора використовується електрооптичний кристал. Під дією керуючої напруги кристал змінює двозаломлення, причому різниця показників заломлення швидкої і повільної осей залежить від величини прикладеної напруги. Для схеми компенсації ПМД потрібно, щоб модулятор дозволяв реалізувати різницю часу поширення швидкої і повільної складових в межах від 0 до $2\pi/\omega$, де ω – кутова частота оптичного сигналу. Зрозуміло, що для різної довжини хвилі оптичної несучої буде і різне значення прикладеної напруги для отримання однакової різниці ходу.

Аналізатор на виході ОВ вимірює значення ДГЗ в даний момент. Якщо значення ДГЗ перевищує максимально допустиме, то по зворотному каналу передається сигнал на зміну вхідного еліпса поляризації. На модулятор в покроковому режимі подаються фіксовані значення напруги, а на виході аналізатора визначається ДГЗ сигналу. Передача даних ведеться неперервно на кожному еліпсі поляризації вхідного сигналу. Після проходження одного циклу вимірювань (зміна відносного зсуву фаз кристала від 0 до 2π з заданою кількістю кроків) на модуляторі встановлюється таке значення напруги, при якому ДГЗ на виході волокна приймало мінімальне значення, і цей вхідний стан поляризації зберігається до того моменту, поки значення ДГЗ знову не перевищить допустимого. Такий алгоритм компенсації використовується для кожного спектрального каналу окремо, незалежно один від одного [5].

Висновки. Розглянутий вище метод компенсації поляризаційної модової дисперсії в волоконно-оптичних лініях корпоративних систем зв'язку зі спектральним ущільненням каналів дозволяє зменшити вплив нелінійних ефектів, міжмодової дисперсії, джиттера та підвищити пропускну здатність і швидкість передачі цифрових потоків інформації оптичних транспортних систем.

Література

1. Починається реалізація польсько-австралійського інвестпроект з розробки золотих родовищ в Україні [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://geografica.net.ua/news/pochinaetsja_realizacija_polsko_avstralijskogo_investproektu_z_rozrobki_zolotikh_rodovishh_v_ukrajini/2011-09-21-1528.
2. Нікіфоренко К.Б. Дослідження взаємних впливів в оптичних каналах DWDM систем / К.Б. Нікіфоренко, Ю.М. Панченко // Наукові записки УНДІЗ. – 2011. – № 1 (17). С. – 64–68.
3. Поляризаційно модова дисперсія [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.fiberman.ru/articles/fiber-optical/polarization-mod-dispersion/>.
4. Олексін М.І. Модель оптичної транспортної системи на основі технології DWDM / М.І. Олексін, Є.М. Чернихівський // Радіоелектроніка та телекомунікації: [зб. наук. пр.] відп. ред. Б.А. Мандзій. – Л. : Вид-во Національного університету "Львівська політехніка", 2008. – 212 с.
5. Олексін М.І. Вплив дисперсії і нелінійних ефектів оптичного волокна на параметри транспортних систем : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.12.02 "Телекомунікаційні системи та мережі" / М.І. Олексін. – Одеса 2009. – 23 с.

Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.
Надійшла 7.2.2012 р.

УДК 621.396.12

В.Б. РУДНИЦЬКИЙ, А.В. СПИВАК
Хмельницький національний університет

ОБҐРУНТУВАННЯ КРИТЕРІЇВ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАХИСНОГО ПРИБОРУ НВЧ ПРИЙМАЧІВ НА ОСНОВІ НАДПРОВІДНИХ СТРУКТУР

В статті розглядаються основні вимоги до захисних пристроїв приймачів НВЧ діапазону, що будуються на основі високошвидкісних енергозалежних надпровідникових структур та визначені основні критерії оцінки їх ефективності в умовах надкороткоімпульсних електромагнітних впливів.

The article deals with the basic requirements for protective devices UHF receiversthat are based on high-energy-dependent on conducting structures and the basiccriteria for evaluating their effectiveness in ultrashort electromagnetic pulse effects.

Ключові слова: діапазон, хвилевід, радіоелектронна апаратура.

Одним із перспективних напрямів розробки захисних пристроїв приймачів НВЧ діапазону є використання у вхідних хвилевідних трактах вставок зі спеціальних матеріалів, що характеризуються чутливою до інтенсивності електромагнітного поля провідністю. Такими матеріалами є високотемпературні надпровідники [1, 3], в яких за певних температурних умов достатньо швидко може змінюватись власна провідність при змінній інтенсивності електричного поля на їх поверхні. Існує багато робіт цього напрямку,

присвячених методологічному аспекту розробки та застосування таких захисних пристроїв, проте існує потреба в розробці методичних підходів оцінки ефективності їх застосування і саме цим питанням присвячена дана стаття.

На основі аналізу роботи [2] можна сформулювати основні умови підвищення захищеності радіоелектронної апаратури (РЕА), за рахунок застосування захисного пристрою: технічні характеристики і параметри захисних пристроїв при відсутності імпульсів електромагнітного випромінювання (ІЕМВ) не повинні впливати на функціональні характеристики приймачів, в яких вони застосовуються; рівень напруги і струму під час дії ІЕМВ на виході захисного пристрою повинен бути максимально близьким до нормального рівня напруги і струму; швидкодія захисного пристрою повинна бути максимально можливою, щоб забезпечити якісний захист при більших швидкостях зміни напруги і струму в колі, викликаних ІЕМВ.

Грунтуючись на вище перерахованих умовах підвищення захищеності РЕА, використовуючи основні властивості високотемпературних надпровідників і проведені в [1] дослідження тривалості фазового S-N переходу, визначимо основні умови підвищення захищеності РЕА. За рахунок введення захисного пристрою, побудованого на основі надпровідної смужки, умови підвищення захищеності мають наступний вигляд:

$$\begin{cases} v_N(t) \geq v_\Phi(t), t_{c1} \leq t < t_{c2}; \\ P_{S-N}(t) \ll P_{bx}(t), t_{c1} \leq t < t_{c2}; \\ P_n(t) \ll P_{bx}(t), t_{c2} \leq t_i, \end{cases} \quad (1)$$

де $v_\Phi(t)$ – фазова швидкість поширення електромагнітної хвилі уздовж надпровідної смужки;

$v_N(t)$ – швидкість збільшення нормальної області;

$P_{bx}(t)$ – потужність електромагнітного сигналу на вході надпровідної смужки;

$P_{S-N}(t)$ – потужність електромагнітного сигналу на виході надпровідної смужки в момент фазового S-N переходу;

t_{c1}, t_{c2} – час досягнення струмом величин I_{c1} і I_{c2} відповідно;

$P_n(t)$ – потужність електромагнітного сигналу на виході надпровідної смужки, що перебуває в нормальному стані.

Співвідношення фазової швидкості поширення електромагнітної хвилі уздовж надпровідної смужки в момент фазового S-N переходу і швидкості руху N-області характеризує інерційність захисного пристрою. Якщо величина $v_\Phi(t)$ перевищує швидкість руху N-області, то фазовий S-N перехід відбувається із запізненням, в результаті чого виникає можливість проникнення небезпечного рівня сигналу через захисний пристрій. Тому виконання першої нерівності у вираженні (1) є необхідною умовою здійснення захисту.

Для дослідження виконання першої нерівності у виразі (1) розглянемо процес розповсюдження електромагнітного сигналу по надпровідній смужці в момент S-N переходу ($t_{c1} \leq t < t_{c2}$).

В момент часу t_{c1} , коли струм, що протікає через надпровідну смужку, досягає значення I_{c1} , електромагнітна хвиля проникає в надпровідник на глибину l_1 . Магнітне поле, що огинає надпровідну смужку (вектор B спрямований перпендикулярно напрямку поширення струму), викликає аннігіляцію надпровідних носіїв заряду на краях смужки в шарі шириною $I_N(t)$. Зі збільшенням струму величина $I_N(t)$ зростає, поки в момент часу t_{c2} струм не досягне значення I_{c2} , для якого

$$I_N(t_{c2}) = W/2. \quad (2)$$

Для цього випадку абсолютна діелектрична $\epsilon_a(t)$ і абсолютна магнітна $\mu_a(t)$ проникливості будуть дорівнювати

$$\epsilon_a(t) = \epsilon_0 \left(\frac{i(t)}{I_{c1}} \right), \quad \mu_a(t) = \mu_0 \left(\frac{I_{c1}}{i(t)} \right) \quad (3)$$

де ϵ_0, μ_0 – електрична і магнітна постійні.

Вибираючи для електромагнітного впливу співвідношення $\Delta\omega t_i = \pi$, запишемо вирази для визначення коефіцієнтів згасання $\alpha(t)$ і зсуву фази $\beta(t)$:

$$\alpha(t) = \frac{\pi}{t_i} \sqrt{\frac{\mu_0 t_i I_{c2} l}{2\pi S U_m (e^{-a_1 t} - e^{-a_2 t})}}, \quad (4)$$

$$\beta(t) = \frac{\pi}{t_i} \sqrt{\frac{\mu_0 \epsilon_0}{2}} \sqrt{2 + \frac{t_i I_{c1} l}{(\pi \epsilon_0 S U_m (e^{-a_1 t} - e^{-a_2 t}))^2}}. \quad (5)$$

Тоді швидкість поширення фронту хвилі

$$v_{\Phi}(t) = \frac{1}{\sqrt{\frac{m_0 e_0}{2} \sqrt{2 + \frac{t_i I_{c1} l}{(\mu_0 S U_m (e^{-a_1 t} - e^{-a_2 t}))^2}}}} \quad (6)$$

Швидкість збільшення нормальної області [1] можна визначити як

$$v_N(t) = \frac{d\lambda_N}{dt} = \frac{d\lambda_l^2}{h I_{c1} dt} \quad (7)$$

або

$$v_N(t) = \frac{\lambda_l^2 \sqrt{U_m} (a_2 e^{-a_2 t} - a_1 e^{-a_1 t})}{h I_{c1} \sqrt{A} \sqrt{e^{-a_1 t} - e^{-a_2 t}}} \quad (8)$$

Порівнюючи вираз (8) з виразом (6) для швидкості руху N-області і враховуючи, що

$$\frac{\mu_0 \epsilon_0}{2} \ll \frac{(\mu_0 t_i I_{c1} l)^2}{(2\pi S U_m (e^{-a_1 t} - e^{-a_2 t}))^2},$$

одержимо

$$v_{S-N}(t) = \beta v_{TM}(t) \frac{(a_2 e^{-a_2 t} - a_1 e^{-a_1 t})}{(e^{-a_1 t} - e^{-a_2 t})}, \quad (9)$$

де
$$b = \frac{I_l^2}{h I_{c1} \sqrt{A}} \sqrt{\frac{m_0 I_{c1} l}{2\pi S}}$$

На рис.1 і 2 для прийнятих певних розрахункових значень, представлені часові залежності фазової швидкості поширення електромагнітної хвилі уздовж надпровідної смужки і швидкості збільшення нормальної області в момент фазового S-N переходу.

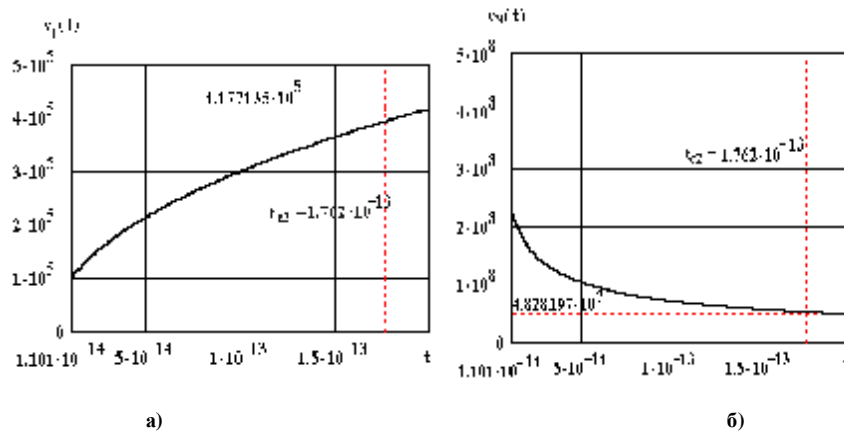


Рис. 1. Залежність фазової швидкості поширення електромагнітної хвилі уздовж тонкої надпровідної плівки (а) та швидкості збільшення нормальної області в тонкій надпровідній плівці (б) від часу

Порівнюючи розрахункові залежності, представлені на рис.1 і рис. 2 слід зазначити, що швидкість збільшення нормальних областей досить висока і набагато перевищує фазову швидкість поширення електромагнітної хвилі, що забезпечує малу тривалість існування змішаного стану для тонкої плівки (закінчення фазового переходу показане штриховою лінією) а отже, виконується нерівність

$$v_n(t) > v_{\Phi}(t)$$

що свідчить про малу інерційність захисного пристрою, тобто випередження величини $v_n(t)$ у порівнянні з $v_{\Phi}(t)$ не дає можливості проникнення небезпечного сигналу через надпровідний захисний пристрій.

Іншим критерієм ефективності захисного пристрою є співвідношення вхідної і вихідної потужностей захисного пристрою в момент фазового S-N переходу. Даний критерій ефективності обумовлений нелінійною зміною величини активного опору надпровідної смужки від нуля до величини R_N , що допускає можливість проникнення небезпечного сигналу у вхідні пристрої РЕА на інтервалі часу, коли $R_{S-N}(t) > R_N$.

Потужності електромагнітного впливу на вході $P_{bx}(t)$ і виході $P_{S-N}(t)$ захисного пристрою (тонкої надпровідної плівки) у момент фазового S-N переходу можна визначити з виразів [1]:

$$P_{S-N}(t) = \sqrt{\frac{U_m^3}{A} (e^{-a_1 t} - e^{-a_2 t})}, \quad (10)$$

$$P_{bx}(t) = \frac{U_m^2}{R} (e^{-a_1 t} - e^{-a_2 t})^2. \quad (11)$$

Часова залежність потужності вхідного сигналу на інтервалі часу $t_{c1} \leq t < t_{c2}$ представлена на рис. 2. Зіставляючи (10) і (11), отримуємо співвідношення

$$P_{S-N}(t) = \frac{(e^{-a_1 t} - e^{-a_2 t})}{\sqrt{A}} \sqrt[4]{P_{bx}(t)^3 R^3}. \quad (12)$$

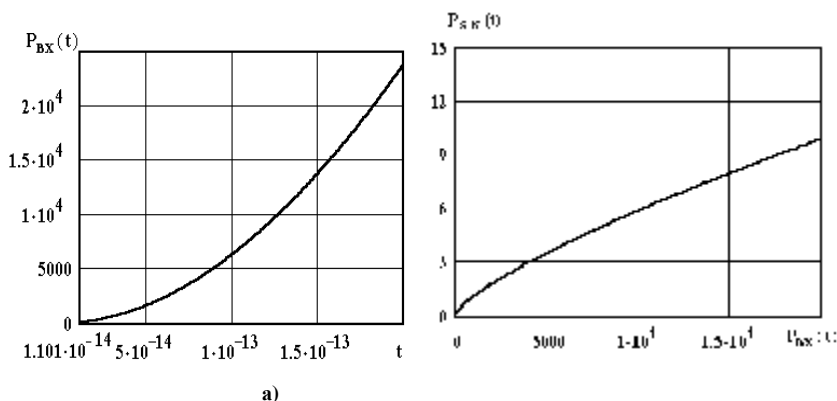


Рис. 2. Часова залежність потужності вхідного сигналу (а) та залежність ослаблення потужності вхідного сигналу тонкою надпровідною плівкою, що перебуває в змішаному стані

Таким чином, відповідно (12), для надпровідного захисного пристрою в момент фазового $S-N$ переходу виконується нерівність

$$P_{S-N}(t) \ll P_{bx}(t).$$

Останнім критерієм ефективності є співвідношення потужностей електромагнітного впливу на вході захисного пристрою в момент N -стану і на виході. Даний критерій ефективності обумовлений визначенням ступеня ослаблення небезпечного сигналу захисним пристроєм, що перебуває у ненадпровідному стані.

Враховуючи, що в N -стані активний опір R_n на три порядки перевищує опір навантаження, потужність ослабленого сигналу на виході захисного пристрою можна записати

$$P_n(t) = U_m^2 \frac{(e^{-a_1 t} - e^{-a_2 t})^2}{R_N} = P_{bx}(t) \frac{R_H}{R_N}. \quad (13)$$

Тобто ступінь ослаблення вхідного сигналу визначається величиною активного опору надпровідної смужки в N стані, який можна підвищити збільшивши її довжину.

Таким чином, виконання третьої умови у виразі (1) $P_n(t) \ll P_{bx}(t), t_{c2} \leq t < t_i$ залежить від виконання нерівності $R_N \gg R_H$

Таким чином, для тонкої надпровідної плівки швидкість руху N -областей перевищує фазову швидкість поширення електромагнітної хвилі уздовж надпровідної смужки в момент фазового $S-N$ переходу, а це свідчить про відсутність інерційності захисного пристрою. Стосовно захисту по потужності, то вона на виході захисного пристрою навіть в момент фазового $S-N$ переходу набагато менше, чим на вході, що свідчить про ефективність його роботи.

Література

1. Капура И.А. Разработка метода защиты радиозлектронной аппаратуры от воздействия мощных ЭМИ на основе высокотемпературных сверхпроводников / И.А. Капура, Г.Ф. Коняхин, А.М. Сотников // Збірник наукових праць. ХУПС, 2010. – Вип. 4 (26). – С. 71–73.
2. Пат. UA №54770 “Пристрій для захисту приймача, МПК (2009) Н05К 9/00, 25.11.2010, Бюл. №22, 2010р., Коняхин Г.Ф., Верещагин В.Л., Капура І.А., Сотніков О.М.
3. Ропий А.И. Сверхвысокочастотные защитные устройства / Ропий А.И., Старик А.М., Шутов К.К.. М. : «Радио и связь», 1993. – 128 с.

Рецензент: д.т.н. Шинкарук О.М.
Надійшла 14.2.2012 р.

СИНТЕЗ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛІННЯ ЗАПАСАМИ ПРИ ВИПАДКОВОМУ ПОПИТІ

Розглядається задача побудови математичної моделі процесу управління запасами при випадковому розподілі попиту з перериванням потоку вимог. Методами теорії випадкових процесів отримані розрахункові значення параметрів політики управління запасами, які мінімізують сукупні операційні витрати процесу. Дані результати можуть бути використані при побудові математичного забезпечення систем управління типу MRP та ERP.

Discusses the problem of construction of mathematical model of the process of inventory control in a random amount of party supplies. Methods of queuing theory received the calculated value inventory control policy settings that minimize total operating expenses in the process. These results can be used in the construction of mathematical software systems management type of MRP and ERP.

Ключові слова: управління запасами, розмір партії, теорія масового обслуговування.

Вступ

Проблема управління запасами притаманна будь-якій виробничій системі. Особливу важливість ця проблема набуває при масовому виробництві продукції, що організоване за стандартами ERP та ERP. Тому наразі теорія управління запасами отримала значну увагу і широке розповсюдження. Класичні моделі теорії управління запасами базуються на підставі побудови унімодальних функцій, які виражають залежність сумарних витрат управління запасами від параметрів попиту і політики управління запасами. При цьому попит вважається таким, що достеменно відомий і не є серйозною перешкодою для аналізу моделі. Варто ввести до моделі кілька випадкових складових, які відображають реальні затримки, або похибки реальної системи, як модель значно ускладнюється і набуває різних відмінностей від класичного виду.

Дослідження та публікації з питань теорії управління запасами, наприклад [1 – 4] недостатньо висвітлюють шляхи вирішення цих проблем. Загальний підхід до методики побудови моделей з випадковим попитом сформульований в роботах [3, 5]. Проте, практика показує, що така схема моделювання процесів управління запасами при випадковому попиті повністю не усуває проблеми створення адекватної математичної моделі, а отже потребує подальшого дослідження.

Постановка задачі

Будемо вважати, що вимоги (кожна на одну одиницю товару) надходять через випадкові інтервали часу X_i , які не залежать один від одного і мають однакову функцію розподілу $F(x)$ і середнє $m_x(m_x(\infty))$. З виникненням і задоволенням цих вимог запас товару $Y(t)$, що є на складі, зменшується і коли його рівень знижується до значення $y \geq 0$ (y називається точкою замовлення), подається замовлення на q одиниць товару. Це замовлення задовольняється через випадковий час τ_i , який має функцію розподілу $G(x)$ і кінцеве середнє. Можливо, що після подачі замовлення чергові q вимог надійдуть раніше, ніж буде одержана замовлена партія, і рівень $Y(t)$ знижується до нуля (склад спустошиться). У цьому випадку вимоги припиняють надходити і витрачання запасу поновлюється тільки після одержання поновлення, причому час з моменту поповнення до чергової вимоги має розподіл $F(x)$. Таким чином, при спустошенні складу потік вимог переривається.

Трохи інша, але близька модель буде одержана, якщо уявити, що вимоги хоча і продовжують надходити при спустошенні запасу, але не стають у чергу, а залишаються невиконаними (незадоволеними), так що заборгованості не виникає.

Ставиться задача розробити математичну модель процесу управління запасами, яка відображає описану виробничу ситуацію і дозволяє отримати розрахункові формули для визначення значень параметрів управління процесом.

Аналіз моделі

Якщо потік вимог є рекурентним, то розподіл часу від моменту надходження поповнення в спустошений склад до надходження чергової вимоги буде залежати від того, який час склад був порожнім. Можна помітити, що в разі пуассонівського потоку вимог модель з перериванням і модель зі втратою вимог співпадають (тобто процес $Y(t)$ в обох моделях змінюється за одними ймовірнісними законами).

Обмежимося випадком коли $q \geq y$. Тоді після того, як замовлена партія надійде, $Y(t)$ буде не нижче точки замовлення; по мірі надходження нових вимог $Y(t)$ опуститься до y , буде подано нове замовлення обсягом q одиниць товару, на його виконання витратить випадковий проміжок часу τ_i , що не залежить від τ_1 і т.д. Отже, задовольняючи чергові q вимог, склад подає замовлення того ж розміру, щоб поновити цей запас.

Згідно з постановкою задачі, процес $Y(t)$ є регенеруючим, причому точками регенерації зручно уявити моменти подачі замовлення, коли $Y(t)$ знижується до y . Дійсно, в силу незалежності величин $\{X_i\}_{i=1}^{\infty}, \{\tau_i\}_{i=1}^{\infty}$ розвиток процесу $Y(t)$ в інтервалах між будь-якими суміжними моментами замовлень не залежить від попередньої історії процесу.

Поперед всього розглянемо випадкову величину Θ – час між сусідніми моментами подачі замовлень. Ця величина може бути представленою виразом:

$$\Theta = \max(t, E_y) + \sum_{i=y+1}^q x_i, \tag{1}$$

де $E_y = \sum_{i=1}^y x_i$.

Дійсно, цикл регенерації, що розглядається, починається в момент, коли $Y(t) = y$ і посилається замовлення на поповнення запасу. Якщо чергові q вимог надійдуть раніше, ніж це поповнення, тобто станеться так, що $t > E_y$, то Θ можна визначити як суму τ і часу надходження тих $q - y$ вимог, які зменшать запас, який буде в момент τ із q одиниць товару до точки замовлення y . Коли $t \leq E_y$ і спустошення не трапляється, то час Θ являє собою час надходження q вимог у рекурентному потоці без переривання.

Формула (1) дозволяє визначити розподіл Θ , але нам поки що достатньо знати середнє значення. Оскільки

$$P\{\max(t, E_y) \leq x\} = P\{t \leq x\}P\{E_y \leq x\} = G(x)F_y(x),$$

то використовуючи визначення математичного очікування, одержимо

$$M_\Theta = \int_0^\infty [1 - G(x)]F_y(x)dx + (q - y)m_x = \int_0^\infty [1 - F_y(x)]dx + \int_0^\infty [1 - G(x)]F_y(x)dx + (q - y)m_x.$$

Тепер, об'єднавши перший і третій доданки, одержимо:

$$M_\Theta = qm_x + \int_0^\infty [1 - G(x)]F_y(x)dx. \tag{2}$$

Будемо вважати, що початок відліку часу співпадає з точкою регенерації процесу $Y(t)$, і позначимо через η час до першого спустошення складу. Визначимо середнє значення цього проміжку часу M_h із співвідношення:

$$M_h = rME_y' + (1 - r)[M_h + ME_y' + (q - y)m_x], \tag{3}$$

де $r = P\{E_y \leq t\} = \int_0^\infty [1 - G(x)]dF_y(x)$ – імовірність того, що на одному циклі регенерації склад спустошиться;

$$ME_y' = M(E_y/E_y < \tau); ME_y'' = M(E_y/E_y > \tau)$$

Співвідношення (3) базується на тому, що з ймовірністю r склад може спустошитись на першому циклі регенерації (при цьому $M_h = rME_y''$), а з ймовірністю $1 - r$ спустошення не трапиться, і перший

цикл буде тривати в середньому $[ME_y' + (q - y)m_x]$, після чого все немов би почнеться спочатку.

Враховуючи, що $rME_y'' + (1 - r)ME_y' = rm_x$, із (3) одержимо:

$$M_\eta = \frac{qm_x}{r} - (q - y)m_x.$$

Введемо до розгляду ще одну випадкову величину η' – інтервал між сусідніми спустошеннями (від моменту одержання поповнення в пустий склад до наступного спустошення). Оскільки в початковий момент цього інтервалу $Y(t) = q$ і до найближчої точки регенерації повинно надійти $q - y$ вимог, справедливим буде співвідношення:

$$h' = \sum_{i=1}^{q-y} x_i + h,$$

звідки, наприклад, виходить, що $M_{h'} = qm_x / r$.

Щоб детально дослідити величину η , запишемо співвідношення для її перетворення Лапласа:

$$Me^{-sh} = rMe^{-sE_y'} + (1 - r)M \exp\left[-s\left(h + E_y' + \sum_{i=y+1}^q x_i\right)\right],$$

яке впливає з тих самих роздумів, що й (3). Введемо позначення:

$$Me^{-sh} = j(s), Me^{-sE_y} = f_y(s), Me^{-sE_y} = f_y''(s), Me^{-s} = f(s).$$

і враховуючи, що $rf_y''(s) + (1-r)f_y'(s) = f^y(s)$, і перепишемо співвідношення для перетворення Лапласа величини h

$$j(s) = rf_y''(s) + j(s)[f^y(s) - rf_y''(s)]f^{q-y}(s)$$

звідки

$$j(s) = \frac{rf_y''(s)}{1 - f^q(s) + rf_y''(s)f^{q-y}(s)}. \tag{4}$$

Розглянемо за допомогою (4) асимптотичну поведінку h при малих r , тобто коли ймовірність не дочекатися поновлення мала. Практично цього можна добитися завчасно подаючи замовлення, тобто вибираючи велике значення y . Зазначимо, що при малих r різниця між h і h' стає несуттєвою. Доведено, що величина типу (4) сходиться до перетворення Лапласа вигляду $\frac{1}{(1+s)}$. Але це є не що інше, як перетворення Лапласа експоненційного розподілу. Тому при малих значеннях r можна користуватися формулою

$$R(t) = P\{h > t\} \approx e^{-\frac{rt}{qm_x}}. \tag{5}$$

Враховуючи властивості пуасонівського розподілу потік перебоїв у постачанні є пуасонівським.

Для того, щоб обрахувати стаціонарний розподіл рівня запасів, скористаємося теоремою Сміта, з якої виходить, що ймовірність перебування процесу в деякій фазі визначається як:

$$\lim P\{n(t) = i\} = M_{w_i} / M_q,$$

де M_{w_i} – математичне очікування довжини i -ї фази.

Під фазою $w_i (i \in \overline{0, q+r})$ будемо розуміти той інтервал з циклу Θ на якому $Y(t) = i$. Така нумерація не відповідає порядку, в якому чергуються фази, але вона більш зручна, за один цикл регенерації надходять q вимог, і інтервали $x_j (j \in \overline{1, q})$ будемо нумерувати в порядку надходження цих вимог.

Розглянемо зменшення $Y(t)$ від q до 0. Фаза w_y продовжиться протягом часу x_i , якщо тільки поновлення не надійшло раніше, отже $w_y = \min(x_i, t)$. Взагалі, фаза $w_{y-i}, i \in \overline{0, y-1}$ або не настане взагалі, якщо $E_i = \sum_{j=1}^i x_j \geq t$, або буде тривати протягом часу x_{i+1} , або перерветься з надходження поповнення. Таким чином:

$$w_{r-i} = \min\{x_{i+1}, (t - E_i)^+\}, i \in \overline{0, r-1}, \tag{6}$$

де $(u)^+ \equiv \max(0, u)$.

Зрозуміло, що

$$w_0 = (t - E_y)^+. \tag{7}$$

Тривалість фаз $w_{qy+i}, i \in \overline{0, y-1}$ легко знайти за допомогою співвідношення

$$w_{y-i} + w_{q+y+i} = x_{i+1}, \quad i \in \overline{0, y-1}. \tag{8}$$

Коли $Y(t)$ зменшується від q до y :

$$w_q = x_{y+1}, w_{q-1} = x_{y+2}, \dots, w_{y+1} = x_q.$$

Оскільки:

$$P_i = \lim P\{I(t) = i\} = M_{w_i} / M_q, \quad i \in \overline{0, q+r},$$

залишається визначити середню тривалість всіх фаз.

Попередньо відзначимо, що

$$P\{t - E_i > u\} = \int_0^\infty F_i(t-u) dG(t), \quad -\infty < u < \infty,$$

де $F_i(t)$ i – кратна згортка.

Зробивши заміну $t - u = u$, одержимо:

$$P\left\{t - E_i\right\}^+ > u\} = \int_0^\infty F_i(t-u)dG(t) = \int F_i(v)dG(u+v), \quad u \geq 0.$$

Тепер із (7) виходить, що

$$M_{W_0} = \int_0^\infty P\left\{t - E_y\right\}^+ > u\} du = \int_0^\infty \int_0^\infty F_y(v)dG(u+v)du.$$

Замінивши порядок інтегрування, знайдемо

$$M_{W_0} = \int_0^\infty [1-G(v)]F_y(v)dv. \tag{9}$$

Відзначимо, що ця формула витікає безпосередньо з (1), оскільки цикл регенерації складається з часу надходження q вимог і інтервалу спустошення. Із (6) аналогічно знаходимо

$$M_{W_{r-i}} = \int_0^\infty P\{x_{i+1} > u\}P\left\{t - E_i\right\}^+ > u\} du = \int_0^\infty [1-F(u)] \int F_i(v)dG(u+v)du, \quad i \in \bar{0}, r-1.$$

Нарешті з (8) випливає:

$$M_{W_{q+y-i}} = m_x - M_{W_{y-i}}, \quad i \in \bar{0}, r-1.$$

Таким чином, стаціонарний розподіл $Y(t)$ знайдено.

Середній рівень запасів у стаціонарному режимі можна було б обчислити усередненням за найденим розподілом p_i , але ми можемо використати властивість процесів поновлення, звідки

$$\lim_{T \rightarrow \infty} MY(t) = \lim_{T \rightarrow \infty} M \frac{1}{T} \int_0^T Y(t)dt = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{MW(t)}{T}, \quad \partial_e W(t) = \int_0^T Y(t)dt. \text{ – процес накопичення.}$$

Тому:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} MI(t) = \frac{MY(\Theta)}{M_\Theta},$$

припускаючи, що $t = 0$ – точка регенерації $Y(t)$. Розглядаючи зміну $I(t)$ на одному циклі регенерації, встановимо, що:

$$W(\Theta) = \sum_{i=1}^y (y+1-i)x_i + q(E_y - t)^+ + \sum_{i=y+1}^q (q+y+1-i)x_i.$$

Враховуючи рівність:

$$M(E_y - t)^+ = M(E_y - t) + M(t - E_y)^+$$

і формулу (9), отримаємо:

$$MW(\Theta) = m_x \sum_{i=1}^y (y+1-i) + q \left\{ ym_x - M_t + \int_0^\infty [1-G(x)]F_y(x)dx \right\} + m_x \sum_{i=y+1}^q (q+y+1-i),$$

$$WY(\Theta) = \frac{m_x}{2} y(y+1) + q \left\{ ym_x - M_t + \int_0^\infty [1-G(x)]F_y(x)dx \right\} + \frac{m_x}{2} (q-y)(q+y+1),$$

звідки одержуємо:

$$MW(\Theta) = \frac{m_x}{2} q(q+2y+1) - q \left\{ M_t - \int_0^\infty [1-G(x)]F_y(x)dx \right\}.$$

Насамкінець:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} MY(t) = \frac{m_x q(q+2y+1)/2 - q(Mt - b_y)}{qm_x + b_y},$$

$$b_y = \int_0^\infty [1-G(x)]F_y(x)dx. \tag{10}$$

Одержані аналітичні вирази дозволяють провести вартісну оцінку процесу управління запасами при

застосуванні описаної моделі. Введемо плату за одиницю часу спустошення складу (плату за дефіцит, втрачений прибуток) C_p , лінійну інтенсивність витрат зберігання запасу $C_{si} = C_1 i$ і вартість подачі заказу $C_1(q)$. Тоді за допомогою знайдених формул можна відразу записати стаціонарну інтенсивність загальних витрат як функцію параметрів управління y і q :

$$C(y, q) = C_p F_0 + C_1 \lim_{t \rightarrow \infty} MY(t) + \frac{C_1(q)}{M\Theta},$$

або

$$C(y, q) = \frac{C_p b_y + C_1 q \left(\frac{y+1}{2} m_x - M t + b_y \right) + C_1(q)}{q m_x + b_y}, \quad (11)$$

де b_y визначається з (10).

Висновки

Отже, основні характеристики моделі з перериванням потоку вимог, яка має довільні функції розподілу $F(x)$ і $G(x)$, можна знайти через згортки функції $F(x)$. В загальному випадку обчислення цих

згорток здійснюється за рекурентною формулою $F_{i+1}(t) = \int_0^t F_i(t-x) dF(x)$, $i \geq 1$ і може виявитися

непростим. Але в деяких випадках можливо знайти явні формули. Наприклад, для пуасонівського потоку вимог з інтенсивністю I , коли $F(t) = 1 - \exp(-It)$ відомо, що

$$F_y(t) = 1 - \sum_{i=0}^{y-1} \frac{(It)^i}{i!} e^{-It} \equiv d(y, It).$$

Наведемо формули, одержані в припущенні, що потік вимог пуасонівський, $t = const$.

Для середнього значення інтервалу Θ між черговими замовленнями запишемо

$$M\Theta = \frac{q}{I} + td(y, It) - yd(y+1, It)/I.$$

Середнє значення інтервалу h' між сусідніми періодами можна знайти за формулою $Mh' = q(Id(y, It))$.

Середній рівень запасу в стаціонарному режимі визначається $b_y = td(y, It) - yd(y+1, It)/I$.

Підставивши ці параметри в (11), можна побудувати оптимізаційну модель для знаходження оптимальних значень параметрів.

Література

1. Шрайбфедер Дж. Эффективное управление запасами / Шрайбфедер Дж. ; пер. с англ. ; 2-е изд. – М. : Альпина Бизнес Букс, 2006. – 304 с.
2. Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управления запасами / Рыжиков Ю.И. – СПб. : Питер, 2001. – 384 с.
3. Хедли Дж. Анализ систем управления запасами / Дж. Хедли, Т. Уайтин ; пер. с англ. под ред. А.Л. Райкина. – М. : Наука, 1969. – 511 с.
4. Букан Дж. Научное управление запасами / Дж. Букан, З. Кенигсберг ; пер. с англ. – М. : Наука, 1967. – 423 с.
5. Роботко С.Ф. Синтез узагальнених математичних моделей для оптимізації керування в АСКУ виробничими запасами / С.Ф. Роботко, Н.Р. Веселовська // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. – № 4. – С. 136 – 139.

Рецензент: д.ф.-м.н. Никілюк П.К.
Надійшла 20.2.2012 р.

РЕАЛІЗАЦІЯ КОНЦЕПЦІЇ TRIPLE PLAY В МЕРЕЖІ ADSL

Розглянуто концепцію Triple Play та використанні мереж ADSL для надання послуг реального часу.

We consider the concept of Triple Play and use ADSL networks to provide real time.

Ключові слова: Triple Play, мережа ADSL.

Вступ

Вступ. Тріпл-плей (Triple Play) – термін, що означає принцип надання 3-х послуг: високошвидкісного доступу до Інтернету, передачі голосу і відео при забезпеченні доступу у реальному режимі часу з мінімальним відхиленням часу прийому окремих інформаційних пакетів.

Мета полягає в аналізі застосування ADSL мережі для використання як середовища реалізації концепції Triple Play.

Постановка завдання. Одним з перспективних напрямків по створенню високошвидкісних каналів в мережах абонентського доступу є використання ідеології «оптика до точки x» (FTTx), що передбачає заміну мідної частини АЛ оптичним кабелем (ОК) та просування концентратора доступу у напрямку до абонента. Сучасні мультиплексори доступу до цифрової абонентської лінії, які називають DSLAM, мають досить високі технічні характеристики: швидкість передачі даних на вході може досягати декількох Гбит/с; підтримка широкого спектру технологій доступу до цифрової абонентської лінії (ЦАЛ); простота реалізації послуг потрійної гри. Важливою перевагою є також те, що при розгортанні системи абонентського доступу (САД) використовується існуюча мідна лінія телефонної мережі загального користування (ТФЗК).

Оскільки мереж абонентського доступу (МАД) є протяжними спорудами, що покривають значні території, а отже – дорогими об'єктами, то в процесі їхнього планування та проектування слід керуватися методами теорії оптимізації, орієнтованими на мінімізацію зазначених витрат. У той же час такі методи повинні включати оцінку й прогнозування показників якості проєктованих мереж, для того щоб надмірне зниження витрат на будівництво не приводило до побудови мереж, що не забезпечують необхідної якості надаваних абонентам послуг. У даному контексті представляється актуальною розробка відповідних методів планування МАД.

Основна частина. Для простого користувача є актуальним надання послуги швидкісного доступу в Інтернет. Як комплексне середовище реалізації та взаємодії, користувач може використовувати додаткові сервіси:

- інтегрований файлообмінний сервіс всередині/поза мережею;
- інтегрована служба обміну миттєвими повідомленнями;
- служба віддаленого мережевого диска користувача.
- сторонні послуги обміну даними іншого характеру всередині/поза мережею;

На сьогоднішній день послуга доступу для інтернету реалізує обмін не тільки файлів. Актуальним є наданням послуг IP-телефонії. Основні послуги, що використовують можливість подачі голосу це:

- 1) телефонія (місцева, міжміська, міжнародна);
- 2) трансляція «ефірних» і «цифрових» радіостанцій;
- 3) служба голосових конференцій (окремо або спільно з відео конференціями).

Крім того, користуючись послугою телефонії в пакеті Triple Play, абонент має можливість використовувати додаткові функції:

- 1) принцип єдиного номера;
- 2) ідентифікація дзвінка з подальшим роумінгом;
- 3) голосова пошта;
- 4) утримання виклику;
- 5) мобільність телефонного номера та ін.

Однією з основних складових медіа-послуг є послуга IPTV (цифрове телебачення). Додатково доступні можливості організації відео конференцій і систем відео спостереження залежно від кінцевого устаткування.

Концепція Triple Play представлена на рис. 1.

Тріада цих послуг створить свого роду базис, по якому можна розкласти будь-яку сучасну послугу. Спочатку для цього передбачалося використовувати одну інфраструктуру мереж доступу і єдину транспортну мережу для всіх можливих послуг зв'язку (рис. 2). По суті це все та ж традиційна система зв'язку де послуги Інтернету, телефонії і телебачення надаються окремо і можуть бути об'єднані лише на рівні кабельної мережі доступу (доступ до Інтернету по телефонній парі, передача даних і телебачення по оптоволокну і ін.). Така організація послуг має вертикальний характер.

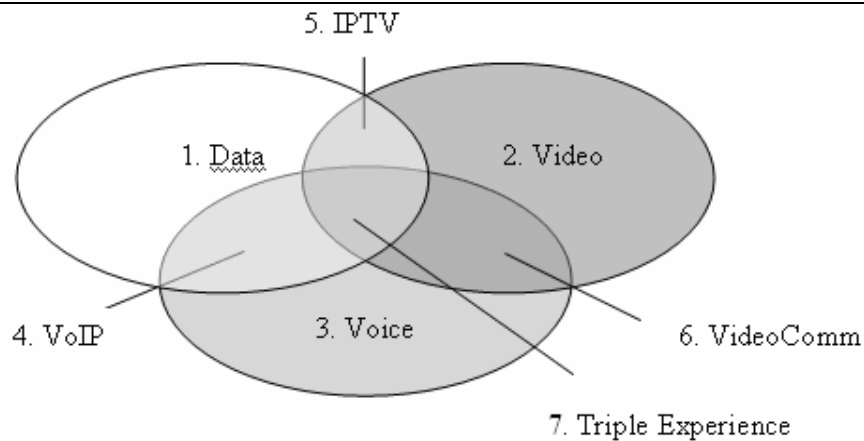


Рис.1. Послуги Triple Play



Рис. 2. Модель інфраструктури традиційних мереж для надання послуг

Концепція Triple Play пропонує використовувати для надання всіх вказаних на рис. 2 послуг єдину інфраструктуру мультисервісної мережі, що включає транспортну мережу і мережу доступу. Архітектура мережі у такому разі стає горизонтальною (рис. 3).

Перехід в концепції послуг від вертикальної до горизонтальної моделі організації і об'єднання різних послуг на рівні транспорту і доступу є істотним кроком на шляху конвергенції мережі на рівні послуг. Таким чином, концепція Triple Play стала основою для подальшої конвергенції мереж.

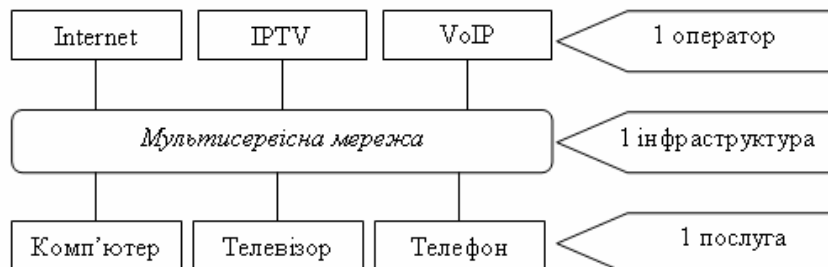


Рис. 3. Модель інфраструктури мультисервісної мережі для надання послуг

Одна і та ж тріада послуг (дані, мова, відео) може опиратися на мережі домашнього Ethernet, абонентські мережі ADSL або оптичні системи FTTx/PON, при цьому принципи надання послуг, діагностики, контролю і управління якістю будуть абсолютно однаковими. Це внаслідок принципу конвергенції сучасних мереж. Створивши єдине середовище передачі даних на основі IP, дозволяється перемішувати різні мережі доступу і надавати весь перелік послуг Triple Play в будь-яких мережах.

Концепція Triple Play в такому трактуванні представляється дуже революційною. Перерахуємо лише деякі важливі наслідки цієї концепції.

Рівень послуг розділяється на два підрівні. На верхньому підрівні знаходяться всі існуючі і перспективні, але доки не реалізовані послуги зв'язку, а на нижньому лише три послуги тріади. Оскільки саме тріада найближча до мережі, рішення рівня послуг виявляються уніфікованими.

Механізм надання послуг в концепції Triple Play створюється один раз. Для цього оператор повинен реалізувати на мережі механізми надання трьох базових послуг. Якщо це вдасться, то з їх комбінацій створюються і всі наступні послуги.

Нові послуги відрізняються один від одного лише послідовністю композиції і декомпозиції. Це створить основу для креативної діяльності по розробці нових послуг – досить розробити єдині правила композиції і декомпозиції. Як тільки це буде зроблено, сценарій введення послуги на мережі буде фактично готовий, оскільки механізми доставки послуг Triple Play вже розроблені.

Концепція є відкритою для будь-яких нових послуг. Навіть якщо послуга лише задумана, то мережа

потенційно готова для її надання. Запропоновані механізми надання Triple Play гарантують, що будь-який новий алгоритм композиції і декомпозиції може бути запроваджений на мережі.

Концепція Triple Play є відкритою для майбутніх модифікацій стратегії розвитку послуг. Як це не парадоксально, але прогнози розвитку Triple Play йдуть набагато далі викладеної тут концепції Triple Play. У разі, коли базису тріади не вистачає якою-небудь нової послуги, яка проте за задумом творців буде потрібною споживачам, ця послуга просто вводиться в набір базисних послуг. При цьому мережа належним чином модернізується, щоб надавати всім користувачам не три, а вже чотири послуги, а далі процес надання послуг розвивається в тій же самій ідеології. Будь-які перспективні послуги згодом виявляються всього лише композицією і декомпозицією з чотирьох базових послуг (цей набір можна назвати «квадрига»). Але і далі процес не завершений.

Особливості реалізації Triple Play в мережі ADSL

Розглянемо питання про вплив параметрів абонентської пари на якість каналу обміну ADSL. Адаптація відбувається на трьох рівнях:

1. Рівень узгодження режиму роботи в процесі «рукоштовання».
2. Рівень підлаштувань параметрів пари DSLAM-модем до параметрів хвилювального опору пари.
3. Аналіз параметрів SNR на кожній несучій і підлаштування рівнів передачі і кодування по 256 DMT.

Причина такої масштабної роботи в процесі ініціації послуги ADSL лежить в початковій філософії ADSL. Як було сказано вище, технологія ADSL з самого початку орієнтована на використання існуючих абонентських кабельних систем операторів для представлення послуг широкосмугового доступу. Внаслідок чого, основними перевагами ADSL є те, що для даної технології максимально спрощений процес міграції телефонних користувачів в користувачі ADSL.

Але перевага в області розвитку технології повертається об'єктивними труднощами технічної реалізації. Абонентські кабельні системи операторів створювались більше 100 років в різних технологічних і історичних умовах. По цій причині параметри абонентської кабельної мережі кожного оператора являються індивідуальними, а запит в параметрах абонентських пар досить довгий для того, щоб можна було гарантувати якість передачі інформації без функції динамічного підлаштування.

Таким чином, параметри якості кабельної системи представляються найбільш критичними для функціонування ADSL і виступають слабкою ланкою в цій технології.

Фактори, що зумовлюють можливість реалізації послуги Triple Play

Функція адаптивного підлаштування ADSL до параметрів кабельної мережі, призводить до цікавого ефекту, котрий вирізняє технологію ADSL від інших, наприклад від HDSL. В разі погіршення параметрів абонентської пари в сформованому каналі обміну даних, не збільшується параметр помилок, як в системі TDM або HDSL. Замість цього сама швидкість обміну зменшується, тоді як параметри якості передачі даних залишаються без змін. Чим гірші параметри абонентської пари, тим меншу швидкість оператор може надати користувачу. Існує навіть підхід, коли максимальну швидкість в каналі ADSL при заданій довжині пари, вважають ресурсом, а потім оцінюють втрати ресурсу через різноманітні впливи на параметри кабелю.

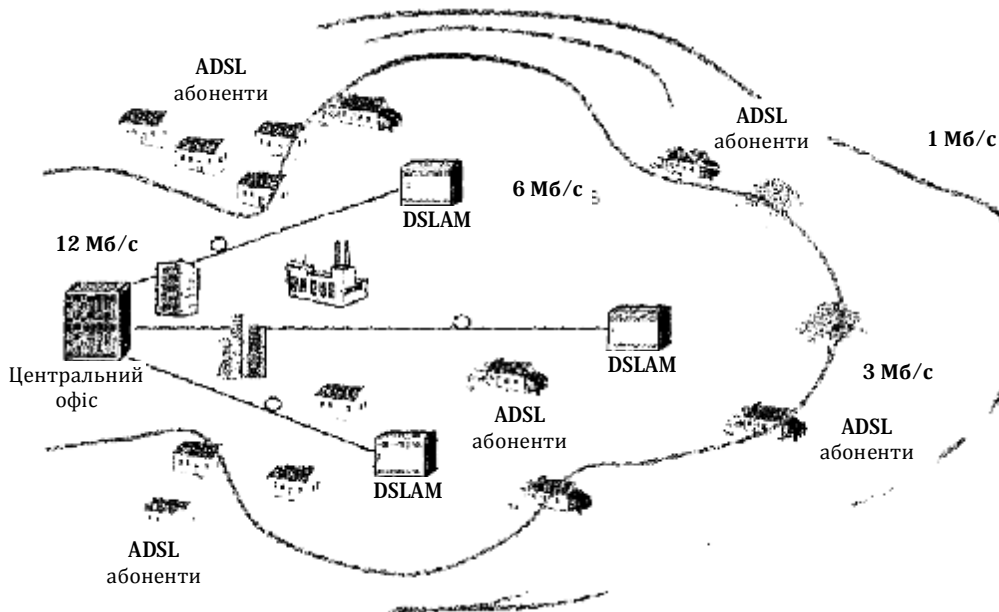


Рис. 4. "Зони якості" в мережі оператора ADSL

Існує також і об'єктивне зменшення швидкості передачі даних в ADSL по мірі віддалення користувачем від DSLAM. Дійсно, чим коротша абонентська пара, тим більшу швидкість обміну даними можна реалізувати в ній. По мірі віддалення від DSLAM зменшується швидкість обміну. В результаті оператор може говорити про зони покриття послугами ADSL різної якості абонентської мережі оператора.

Відповідні обмежуючі складові якості, будуть створювати на карті мережі оператора лінії, що нагадують ізотерми і ізобари в географії, що і представлено на рис. 4.

В наведеному прикладі в центральній області мережі можуть надаватися послуги ADSL з швидкістю обміну по лінії вниз, більш як 6 Мбіт/с, далі йде область, де граничним значенням буде 5 Мбіт/с, потім 4 Мбіт/с та ін.. Для того, щоб в технології ADSL змінити зону покриття послугами слідє наблизити DSLAM до потенційного користувача, що також представлено на рис. 4, де показані декілька віддалених DSLAM, з'єднаних з вузлами зв'язку по оптоволоконним каналам зв'язку.

Варто відмітити, що зона покриття мережі послугами ADSL представляє собою оцінку по середнім розрахункам параметрів якості. На кожному конкретному кабелі досяжна швидкість передачі може бути суттєво менше розрахункової. Крім того, розрахунок максимальної швидкості передачі не враховує індивідуальних впливів на пару зі сторони системи зв'язку чи зовнішніх факторів.

Мінімізація впливу стану лінії ADSL на процес передачі.

Використання медіа-контенту навантажує мережу будь-якого типу. Для мереж типу ADSL проблема особливо поглиблюється через невеликі робочі швидкості та присутню асиметрію між вхідним та вихідним (Down Stream та Up Stream), що може сягати межі у 24 Мб/с вхідного потоку проти 2 Мб/с вихідного. Оскільки типовим режимом роботи системи є прийом даних з незначним вихідним потоком, така ситуація в принципі є типовою.

З послугами Triple Play абонент мережі є не тільки пасивним приймачем, а також може виступати і ініціатором вихідного потоку (голосові та відео послуги).

Якщо дві підмережі з'єднані каналом з невисокою пропускну здатністю, наприклад телефонною лінією, то може виникнути ситуація, в якій передача даних по мережі буде супроводжуватися додатковою затримкою. Це пов'язано з тим, що швидкість підключення до мережі кінцевих станцій набагато перевищує швидкість каналу зв'язку між підмережами, в результаті чого канал зв'язку стає вузьким місцем даної мережі. Це відбувається тільки при використанні протоколу TCP, орієнтованого на з'єднання.

Якщо вузол-приймач, підключений до мережі з досить високою швидкістю, наприклад 100 Мб / с Ethernet, знаходиться за комп'ютером під управлінням Windows XP, на якому запущена служба загального доступу до підключення Інтернету (ICS), і сервер, обмінюються даними з вузлом-приймачем, також підключений до мережі з досить високою пропускну здатністю і знаходиться за вузлом віддаленого доступу, то виникає описана вище проблема. В цьому випадку, виходячи з швидкості локальної мережі вузла-приймача, на вузлі-приймачі встановлюється великий розмір вікна прийому. Вузол-відправник починає передачу, використовуючи порівняно малий розмір вікна, але, якщо при передачі відсутні помилки, поступово збільшує розмір вікна.

Це може вплинути на продуктивність інших підключень, що існують в даній мережі і використовують протокол TCP. Їх пакети змушені будуть довго перебувати в черзі, чекаючи відправки по повільному каналу зв'язку. Якщо при передачі відбувається помилка, то дані передаються повторно, ще більш завантажуючи канал зв'язку.

Щоб уникнути подібної ситуації, необхідно, щоб комп'ютер, який знаходиться на кордоні підмережі і на якому запущена служба загального доступу до підключення Інтернету, автоматично зменшував розмір вікна передачі відповідно до швидкості каналу зв'язку меншою продуктивності, перевизначаючи при цьому параметри, зазначені приймачем. Це дозволить збільшити продуктивність, оскільки розмір вікна буде встановлюватися таким чином, як якщо б вузол-приймач був підключений безпосередньо до повільного каналу зв'язку. Подібне регулювання розмірів вікна здійснюється планувальником QoS-пакетів (рис. 5), що виконується на комп'ютері, на якому запущена служба загального доступу до підключення Інтернету.

Висновок.

Представлений аналіз властивостей мережі ADSL як транспортної служби передачі даних показує складність прогнозування практичної швидкості мережі у кінцевого споживача. Не постійність швидкості передачі, що обумовлена станом мережі, в свою чергу веде до стрибків навантаження лінії.

Література

1. Minoux M. Network synthesis and optimum network design problems: Models, solution methods and

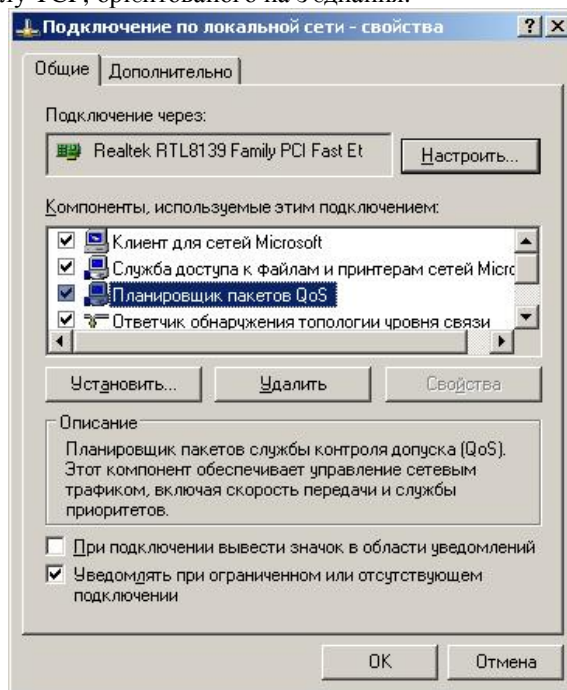


Рис. 5. Служба QoS в системных наладках сетевого адаптера

applications // Networks. – 1999. – Vol. 19 – P. 313-360.

2. Бриндзій О.В., Крикун В.С. Методика оцінки швидкісного потенціалу з'єднань ADSL2+ для надання послуг Triple Play Service // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – №2(44). – С. 58-62.

3. ITU-T Rec. G.997.1. ADSL Management. – ITU-T, 2003. – 128 p.

Рецензент: д.т.н. Троцишин І.В.
Надійшла 20.2.2012 р.

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Повні вимоги до оформлення рукопису
<http://visniktup.narod.ru/rules/>

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 7 від 22.02.2012 р.

Підп. до друку 23.02.2012 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