

Науковий журнал

4.2010

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки

Хмельницький 2010

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, 2010, № 4 (160)

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

Головний редактор	Скиба М. Є. , заслужений працівник народної освіти України, д. т. н., професор, академік МАІ, академік УТА, ректор Хмельницького національного університету
Заступник головного редактора	Параска Г. Б. , д. т. н., професор, проректор Хмельницького національного університету
Голова редакційної колегії	Шинкарук О. М. , д. т. н., професор, завідувач кафедри радіотехніки та зв'язку Хмельницького національного університету
Відповідальний секретар	Гуляєва В. О. , завідувач відділом інтелектуальної власності Хмельницького національного університету

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

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

Технічний редактор Горященко К. Л., к. т. н.

Редактор-коректор Броженко В. О.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 2 від 22.09.2010 р.**

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

☎ (038-22) 2-51-08
e-mail: vagvestnik@rambler.ru
patent_1@beta.tup.km.ua

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, 2010
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2010

ЗМІСТ

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

В.В. КУХАРЬ КРИТЕРИАЛЬНИЙ АНАЛІЗ БЕСШТАМПОВОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ УДЛИНЕННЫХ ПОКОВОК С ЗАОСТРЕННЫМ КОНЦОМ	7
В.С. ПАВЛОВ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЕНТА ЗАПАСУ ЗА ПРОСТИХ ОПОРІВ	11
Е. А. БОГОМОЛОВ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ УДАЛЕНИЯ ПОРОКА В ОСНОВНОЙ РАБОЧЕЙ ЗОНЕ ШЛЯПОЧНОЙ КАРДОЧЕСАЛЬНОЙ МАШИНЫ	15
Г.С. РАТУШНЯК, К.В. АНОХІНА МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ НА ПОЧАТКОВІЙ ФАЗІ БРОДІННЯ В БІОГАЗОВІЙ УСТАНОВЦІ З ПРОПЕЛЕРНОЮ МІШАЛКОЮ	19
Й.Й. БЛИНСЬКИЙ, Б.П. КНИЩ, В.В. ОНУШКО УНІВЕРСАЛЬНА КЛАСИФІКАЦІЯ ОПТИЧНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ГУСТИНИ ГАЗУ	23
Г.С. РАТУШНЯК, Р.В. СТЕПАНКОВСЬКИЙ ВДОСКОНАЛЕННЯ РЕГУЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ПОТОКІВ ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ	26
YURIY SHALAPKO, MARIJA RAZUVAEVA, NORBERT RADEK COMPUTER SIMULATION OF FRACTURE OF THE INTERFACE IMPLANT-BONE FOR TOTAL HIP PROSTHESIS	34
В.О. ПРОЦЕНКО ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНОЇ ЖОРСТКОСТІ З'ЄДНУВАЛЬНИХ МУФТ З ОСЬОВОЮ УСТАНОВКОЮ ПРЯМИХ КАНАТІВ	38
В.С. КУРСКОЙ І. М. ПАСТУХ РЕЗУЛЬТУЮЧА СИЛА ПРУЖНОГО КОНТАКТУ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ ПОВЕРХНІ	44
О.П. БАБАК, В.В. СТРЕЛЬБИЦКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА РЕЗИНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ОПОР ВИБРАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ	50
В.В. РОМАНЮК ОЦІНЮВАННЯ ГЛОБАЛЬНОГО І ЛОКАЛЬНИХ НАСЛІДКІВ ЗАСТОСУВАННЯ ГРАВЦЕМ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ В АНТАГОНІСТИЧНІЙ ГРІ ЯК МОДЕЛІ РЕАЛІЗАЦІЇ СТОХАСТИЧНОГО ПАРАМЕТРА З НЕВІДОМИМ ІМОВІРНІСНИМ РОЗПОДІЛОМ	53
РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ	
А.Я. КУЛИК АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОГО КОДУВАННЯ ДАНИХ У ПРОБЛЕМНО-ОРІЄНТОВАНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ	58
М.В. ОЛЕКСІВ ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ, ЩО ПРЕДСТАВЛЕНІ БІНАРНІМИ ЗОБРАЖЕННЯМИ ЇХ СИЛУЕТІВ, ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ	63
А.Р. ВОРОНИЧ ЕНТРОПІЙНІ МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ СИГНАЛІВ В РОЗПОДІЛЕНИХ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ	69
К.В. КОЛЕСНИКОВ, А.Р.КАРАПЕТЯН, О.В. КРАВЧЕНКО СИНЕКТИКА НАТУРНИХ МЕТОДІВ МАРШРУТИЗАЦІЇ ПОТОКІВ ДАНИХ У АВТОНОМНИХ СИСТЕМАХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ	72

Р.О. БИВЗЮК, Д.В. ФАУРЕ, Э.В. ФАУРЕ УСТРОЙСТВО ФОРМИРОВАНИЯ ОСТАТКОВ В МНОГОКАНАЛЬНЫХ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ КОДЕКАХ	75
В.М. КИЧАК, И.Ю. КРАВЦОВ МЕТОД КОМПЕНСАЦИИ ПОМЕХ В АДАПТИВНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТКАХ	79
Л.Б. ЛІЩИНСЬКА НЕВИЗНАЧЕНА МАТРИЦЯ ПРОВІДНОСТІ N-ПОЛЮСНИКА З ПОСЛІДОВНИМИ ОПОРАМИ У ЛАНЦЮЗІ КОЖНОГО ПОЛЮСА	83
В.С. ОСАДЧУК, О.В. ОСАДЧУК, О.С. ЗВЯГІН МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЧАСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ВОЛОГОСТІ НАФТОПРОДУКТІВ	89
О.М. СТАЦУК ВПЛИВ АСИМЕТРІЇ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АНІЗОТРОПНОГО ФОТОПРУЖНОГО ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА НА ПОЛЯРИЗАЦІЙНІ ВТРАТИ ОПТИЧНОГО СИГНАЛУ	95
В.Ю. КОРОЛЬОВ, В.В. ПОЛІНОВСЬКИЙ, В.А. ГЕРАСИМЕНКО ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ RS-СТЕГАНОАНАЛІЗУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗОБРАЖЕНЬ	102
В.Д. КОСЕНКОВ, Л.В. СКУБІЙ АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З НЕЗМІННОЮ МАГНІТНОЮ ПРОВІДНІСТЮ ПОВІТРЯНОГО ПРОМІЖКУ	110
В.М. ГРИГА ПРОСТОРОВО-ЧАСОВЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПОТОКОВИХ ГРАФІВ АЛГОРИТМУ	113
В.В. ПОЛІНОВСЬКИЙ, М.І. ОГУРЦОВ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБІГУ В НАУКОВІЙ ОРГАНІЗАЦІЇ	117
А.М. МЕЛЬНИК АВТОМАТИЧНА ГЕНЕРАЦІЯ ТЕСТОВИХ ЗАВДАНЬ РІЗНИХ ТИПІВ	124
А.С. МОСТАВЛЮК ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ПАКЕТУ AWR DESIGN ENVIRONMENT В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ	129
В.І. МЕЖУЄВ ПРЕДМЕТНО-ОРІЄНТОВАНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ СИСТЕМНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ	133
В.Т. КОНДРАТОВ ТЕОРИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ: ПРИМЕНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ НАРАБОТКИ НА МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ОТКАЗ	138
KATARZYNA ORMAN, ŁUKASZ J. ORMAN, NORBERT RADEK STABILITY ANALYSIS OF INFRARED CAMERAS IN VIEW OF THEIR APPLICATION IN HEALTH CARE	149
Л.В. КАРПОВА МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ СТУПЕНЯ РОЗРІЗНЕННЯ ЕХО-СИГНАЛІВ ПРИ РОЗВ'ЯЗАННІ ЗАДАЧ АКТИВНОЇ ТА НАПІВАКТИВНОЇ РАДІОЛОКАЦІЇ НА ОСНОВІ КОРЕЛЯЦІЙНОГО ОЦІНЮВАННЯ КВАДРАТНОЇ ФЛУКТУАЦІЙНОЇ СКЛАДОВОЇ	153
О.М. ШИНКАРУК МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ЩОДО ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ГОТОВНОСТІ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ У НЕОДНОРІДНИХ ПРОЦЕСАХ	156
Ю.О. БАБІЙ МЕТОД АДАПТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ СИГНАЛІВ В ЗАДАЧАХ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ВИЯВЛЕННЯ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ЦІЛЕЙ	160

О.В. КОСТРИБА, І.В. ТРОЦИШИН ДОСЛІДЖЕННЯ КОНВЕРГЕНЦІЇ СУЧАСНИХ ТЕЛЕФОННИХ МЕРЕЖ ТА СИСТЕМ БЕЗДРОТОВОГО ДОСТУПУ	163
Л. В. ТРОЦИШИНА ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МЕТОДИЧНИХ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ПОХИБОК НА ПРОЦЕС ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ ЦИФРОВИМИ ЧАСТОТОМІРАМИ	170
ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ	
О.М. ЛУЩЕВСЬКА, А.Л. СЛАВІНСЬКА, О.М. ТРОЯН ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СПЕЦІАЛЬНОГО ОДЯГУ	177
Н.В. ЧУПРИНА ПРОГРАМА ПОБУДОВИ ПЕРСПЕКТИВНОЇ КОЛЕКЦІЇ ЖІНОЧОГО КОСТЮМА	183
А.Л. СЛАВИНСКАЯ, О.В. АВРАМЕНКОВА РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОЛЛЕКЦИИ МОДЕЛЕЙ ПО ПРИНЦИПУ ТРИПТИХА РАППОРТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ	188
Ю.Б. КОКОЯЧУК, О.М. ТРОЯН ФОРМЕНІЙ ОДЯГ СКАУТСЬКИХ ОРГАНІЗАЦІЙ: ВИНИКНЕННЯ ТА РОЗВИТОК	192
К.В. ДРАГАНЧУК, Т.Д. ТЕРЕЩЕНКО ВИБІР ВИДУ ПЕРЕПЛЕТЕННЯ ТРИКОТАЖНОГО ПОЛОТНА МЕТОДОМ ОЦІНЮВАННЯ ФОРМОСТІЙКОСТІ	198
О.А. МИХАЙЛОВСЬКА, А.Б. ДОМБРОВСЬКИЙ, В.П. ЛИБА ПРОЕКТУВАННЯ КОЛОДОК ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДИТЯЧОГО СПЕЦІАЛЬНОГО ВЗУТТЯ ДЛЯ СПОРТИВНИХ ТАНЦІВ	202
Я.В. КУРІВЧАК, О.А. ОХМАТ, А.А. ГОРБАЧОВ ВИВЧЕННЯ СТРУКТУРНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ КОЛАГЕНУ ДЕРМИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ВІДМОЧУВАЛЬНО-ЗОЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ СИРОВИНИ З ЯСКРАВО ВИРАЖЕНОЮ БОРУШИСТІСТЮ	206
Л.І. ТЕБЛЯШКІНА, І.Г. БРЮХОВА, І.О. ТКАЧЕНКО ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИДАЛЕННЯ ВОДОРОЗЧИННИХ ЗАБРУДНЕНЬ З ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ (ПОВІДОМЛЕННЯ 2)	212
М.Г. МАРТОСЕНКО, О.В. ПАХОЛЮК, З.М. СЕМАК РОЛЬ РОСЛИННОГО БАРВНИКА І ПРОТРАВЛЮВАЧА У ФОРМУВАННІ КОЛІРНОЇ ГАМИ ЗАБАРВЛЕНЬ ЦЕЛЮЛОЗОМІСТКИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ	217
М.П. САВЧУК, Ю.С. МИХЕСВА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АНТИСТАТИЧНОЇ ОБРОБКИ ТКАНИНИ НА ОСНОВІ ПОЛІАМІДНИХ ВОЛОКОН	220
В.В. НЕДІЛЬКО, О.П. СУМСЬКА, Н.Є. СУББОТІНА ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІМЕРНОГО ПОХІДНОГО ГУАНІДИНУ З МЕТОЮ НАДАННЯ АНТИМІКРОБНОЇ АКТИВНОСТІ ВОВНОВІСНИМ ТЕКСТИЛЬНИМ МАТЕРІАЛАМ	224
А.Я. ГАНЗЮК, Ю.О. ЯФИНОВИЧ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПАР У ЯКОСТІ АНТИСТАТИЧНИХ АГЕНТІВ	228
Г.С. ОЛІЙНИК РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСУ ФАРБУВАННЯ АКТИВНИМИ БАРВНИКАМИ БАВОВНЯНИХ ТКАНИН	231
Г.С. ТКАЧУК АДГЕЗИЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ШЛІХТУВАЛЬНИХ СКЛАДІВ ДЛЯ БАВОВНЯНИХ ОСНОВ	235
С.С. ГАРКАВЕНКО СЕМАНТИЧНІ ДИФЕРЕНЦІАЛИ СПОЖИВЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВЗУТТЯ РІЗНИХ МЕТОДІВ КРІПЛЕННЯ	239

Н.Г. КОЛЯДЕНКО РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ОПТИМАЛЬНИХ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ КРІОЗАХИСНОГО ПАКЕТА	244
Т.А. НАДОПТА ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ГАБАРИТНОГО СЛІДУ ПРОТОТИПУ	247
О.В. ДИХА ВИЗНАЧЕННЯ ЗНОСОКОНТАКТНИХ ПАРАМЕТРІВ СПРЯЖЕННЯ "СІДЛО-ШТОК" ЗАПОБІЖНОГО КЛАПАНУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ	252
В.А. ЕВДОКИМОВА, М.Л. КУЛИГИН ПОВЫШЕНИЕ ГИДРОФИЛЬНЫХ СВОЙСТВ ХЛОПКОПОЛИЭФИРНОЙ ТКАНИ ПРИ ОДНОСТАДИЙНОМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ ПЕРОКСИДНОМ СПОСОБЕ БЕЛЕНИЯ	256
В.О. БОЙЧУК ПЕРСПЕКТИВИ ТА НАПРЯМКИ ВИКОРИСТАННЯ АМОРФНИХ ОБЧИСЛЕНЬ	260
В.А. КИРИЛКОВ, Г.Д. МУКОСІЙ ВПЛИВ ХАРАКТЕРИСТИК КАДРОВОГО СКЛАДУ ВАТ «БУДІВЕЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ» НА ВАЖКІСТЬ ТРАВМАТИЗМУ	263

УДК 621.7

В.В. КУХАРЬ

Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск,
Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь

КРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ БЕСШТАМПОВОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ УДЛИНЕННЫХ ПОКОВОК С ЗАОСТРЕННЫМ КОНЦОМ

Розроблені критерії оцінки формозміни при бесштамповому профілюванні заготовок способом розтягування із розривом та запропоновані методики їх розрахунку із врахуванням об'єму металу, що перерозподіляється, та енергосилових витрат на деформування. Визначений характер функціонального зв'язку даних критеріїв оцінки формозміни із роботою деформації.

Parameters for estimate of shape changing during the profiling of billets without dies by the method of extension with a breach are carry out and successiveness of their calculate with means of a volume of metal irregular distribution and power expend during deformation is proposed. The character of functional connection of those parameters for estimate of shape changing with work of deformation is determinate.

Ключові слова: неравномерность деформации, профелирование, растяжение с разрывом заготовки, работа деформации.

Введение

Одной из основных задач при разработке экономичных и эффективных технологий обработки металлов давлением является улучшение показателей точности процессов за счет приближения формы заготовки к конфигурации готового изделия. Выполнение подготовительных операций для обеспечения необходимого перераспределения металла на дополнительном профилирующем оборудовании является малорациональным, особенно в современных условиях многономенклатурного производства неопределенной серийности. При использовании установленного производственного оборудования также стремятся сократить количество технологических переходов и минимизировать работу деформирования. Для повышения технико-экономических показателей целесообразно применение бесштамповых способов профилирования заготовок под штамповку [1, 2], причем в случаях получения удлиненных поковок с заостренным концом (типа «зубило пикообразное», «зуб бороны» и т.п.) операции свободного формоизменения могут быть завершающими.

Анализ предыдущих исследований и публикаций

Согласно разработанной концепции бесштампового профилирования [1, 2], удлиненные поковки с заостренным концом могут быть получены способами растяжения с разрывом заготовки [3, 4], при этом образуются два изделия одинаковой конфигурации. Известна конструкция технологической машины для разрыва заготовок [5], которая содержит закалочное устройство для получения требуемых эксплуатационных свойств поковок. Возможно одновременное растяжение нескольких заготовок. С целью прогнозирования места разрыва и формообразования заострения используют местный нагрев, например, индукционным способом. Однако неизученным остается влияние длины участка разогрева на формирование неравномерности деформации, для выражения которой необходима разработка критериев оценки.

Основной мерой параметрической оценки формоизменения принято считать степень деформации ϵ [6], определяемую по соотношению начальных и конечных габаритных размеров заготовки, что при бесштамповых способах профилирования не в полной мере характеризует особенности формообразования, не позволяя отражать неравномерность деформации. В практике методов оценки неравномерности деформации широко используют критерии, основанные на соотношении линейных размеров локальных участков заготовки до и после формоизменяющей операции, площадей поперечных сечений или местных объемов ко всему объему заготовки [6, 7]. Опираясь на результаты, полученные геометрическими методами, совмещаемыми с расчетно-аналитическими подходами, оценивают напряженно-деформированное состояние и работу деформации. Определение вида и количества контролируемых размеров является основой для разработки схемы обмера заготовки при экспериментальных исследованиях или в процессах моделирования. При этом критерии оценки формоизменения должны иметь пропорциональную связь с работой, затрачиваемой на перераспределение металла заготовки. Закономерности, учитывающие взаимосвязь данных критериев оценки неравномерности деформации с работой, затрачиваемой на деформирование, до настоящего времени не установлены.

Цель работы

Разработка критериев оценки формоизменения при растяжении с разрывом заготовок при различных длинах участков местного нагрева, установление порядка их расчета с определением аналитической взаимосвязи с работой деформации.

Материалы и результаты исследований

Базовым критерием, характеризующим формоизменение заготовки при профилировании, является

величина работы, которую необходимо затратить для осуществления перераспределения металла. Полную работу (A) деформации и удельную работу (A_y), приходящуюся на формоизменение единицы объема заготовки, вычисляют по известным выражениям [7]:

$$A = V_{\text{заг}} \cdot p_{\text{ср}} \cdot \varepsilon \quad \text{и} \quad A_y = p_{\text{ср}} \cdot \varepsilon, \quad (1)$$

где $p_{\text{ср}}$ – среднее удельное давление за путь деформирования до степени деформации ε , определяемое как

$$p_{\text{ср}} = \frac{1}{\varepsilon} \int_0^{\varepsilon} p(\varepsilon) d\varepsilon, \quad (2)$$

где $p(\varepsilon)$, – функция изменения удельного давления за путь деформирования при заданных условиях.

Объем металла, подвергающейся перераспределению, – смещенный объем заготовки $V_{\text{см}}$, знание величины которого позволяет определять степень деформации заготовки: $\varepsilon = V_{\text{см}}/V_{\text{заг}}$. Соответственно, работа деформации может быть найдена как $A = p_{\text{ср}} \cdot V_{\text{см}}$ [7]. Вычисление смещенного объема проводят аналитически, ориентируясь на форму инструмента и закономерности течения металла.

Рассмотрим задачу определения смещенного объема при получении поковок с заостренным концом способом растяжения с разрывом заготовок при дифференцированном разогреве участка формообразования. Использование местного разогрева позволяет локализовать очаг деформации, объем которого $V_{\text{од}}$, приходящийся на две спаренные заготовки, вычисляют как $V_{\text{од}} = F_0 \cdot l_{\text{н}}$, где F_0 – площадь поперечного сечения заготовки, $l_{\text{н}}$ – длина участка нагрева (рис. 1,а). Заостренные концы характеризуются малой площадью торцевых участков $F_{\text{к}}$ и длиной каждого заострения $l_{\text{к}}$ (см. рис. 1,б).

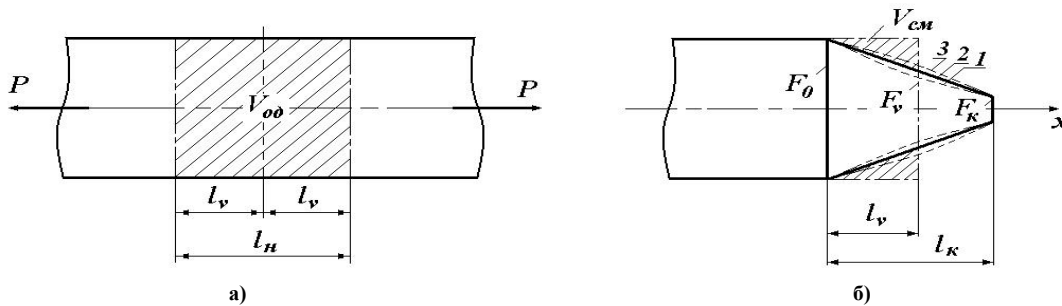


Рис. 1. Схема определения смещенного объема при растяжении с разрывом заготовки: а – участок разогрева стержневой спаренной заготовки, б – разделение заготовки на две части с формированием заострения; 1, 2 и 3 – вогнутая, прямолинейная и выпуклая формы образующих заостренной части соответственно

Смещенный объем определяют как разность объема очага деформации, приходящегося на одну поковку ($V_{\text{од}}/2$), и объема усеченного конуса (или призмы, в зависимости от формы поперечного сечения исходной заготовки) высотой $l_{\text{к}}$ с основаниями F_0 и $F_{\text{к}}$ (см. рис. 1):

$$V_{\text{см}} = \frac{V_{\text{од}}}{2} - \frac{F_0 + F_{\text{к}}}{2} \cdot l_{\text{к}}, \quad (3)$$

где $l_{\text{в}} = l_{\text{н}}/2 = (V_{\text{од}}/2)/F_0$ – длина очага деформации, приходящегося на одну поковку;

$F_{\text{в}}$ – площадь поперечного сечения конуса (или призмы) на расстоянии $l_{\text{в}}$ от начала очага деформации с основанием F_0 .

В зависимости от условий нагрева и деформирования конфигурация заострения может иметь различную форму образующей (см. рис. 1,б): вогнутую, прямолинейную и выпуклую. В случае прямолинейной образующей закономерность изменения площади поперечного сечения F профилированной заготовки вдоль оси x определяется выражением:

$$F = \alpha x + \beta, \quad (4)$$

где $\alpha = (F_{\text{к}} - F_0)/l_{\text{к}}$ и $\beta = F_0$ – коэффициенты, определяемые из граничных условий.

При криволинейной образующей заострения его профиль можно аппроксимировать выражением:

$$F = ax^2 + bx + c, \quad (5)$$

где $a = -(F_{\text{к}} - F_0)/l_{\text{к}}^2$, $b = -2al_{\text{к}}$ и $c = F_0$ – коэффициенты, определяемые из граничных условий или графоаналитическим способом.

Таким образом, величину $F_{\text{в}}$ находим из выражений (4) или (5) при $x = l_{\text{в}}$:

$$F_{\text{в}} = \frac{F_{\text{к}} - F_0}{l_{\text{к}}} \cdot \frac{V_{\text{од}}/2}{F_0} + F_0 \quad \text{или} \quad F_{\text{в}} = -\frac{F_{\text{к}} - F_0}{l_{\text{к}}^2} \cdot \left(\frac{V_{\text{од}}/2}{F_0}\right)^2 + 2 \cdot \frac{F_{\text{к}} - F_0}{l_{\text{к}}} \cdot \left(\frac{V_{\text{од}}/2}{F_0}\right) + F_0. \quad (6)$$

Подставляя уравнения (6) в выражение (3) и проводя преобразования, получим для прямолинейной образующей:

$$V_{\text{см}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{F_0 - F_{\text{к}}}{l_{\text{к}}} \cdot \left(\frac{V_{\text{од}}/2}{F_0}\right)^2, \quad (7)$$

а для случаев с криволинейной вогнутой и выпуклой образующей соответственно:

$$V_{\text{см}} = \frac{F_k - F_0}{2 \cdot l_k} \cdot \left(\frac{V_{\text{од}}/2}{F_0} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{l_k} \cdot \left(\frac{V_{\text{од}}/2}{F_0} \right) - 2 \right) \quad \text{и} \quad V_{\text{см}} = \frac{F_k - F_0}{2 \cdot l_k} \cdot \left(\frac{V_{\text{од}}/2}{F_0} \right)^2 \cdot \frac{1}{\left(\frac{1}{l_k} \cdot \left(\frac{V_{\text{од}}/2}{F_0} \right) - 2 \right)}. \quad (7^*)$$

Для данного случая степень деформации вычисляют как $\epsilon = 2V_{\text{см}}/V_{\text{од}}$.

Величина работы формоизменения заготовки при профилировании пропорциональна так называемому коэффициенту подкатки $K_{\text{по}}$ [6]. В общем случае, его находят как отношение максимальной площади F_{max} поперечного сечения профилированной заготовки к средней площади F_{cp} , определяемой делением объема на длину заготовки, или, соответственно: $K_{\text{по}} = F_{\text{max}}/F_{\text{cp}} = D_{\text{max}}^2/D_{\text{cp}}^2$, где D_{max} и D_{cp} – максимальный и усредненный диаметр профилированного полуфабриката. Следовательно, критерии формоизменения, вычисляемые по соотношению площадей поперечных сечений заготовки, и квадраты критериев, основанных на соотношении линейных размеров локальных участков профилированной заготовки, также имеют пропорциональную связь с работой деформации. Для оценки процесса растяжения с разрывом заготовки целесообразно использовать критерии вида:

$$K_F = F_0/F_k; \quad K_{\text{по}} = F_0/F_{\text{cp}}; \quad K_{\text{nc}} = F_0/F_c, \quad (8)$$

где $F_{\text{cp}} = V_{\text{од}}/2l_k$ и $F_c = (F_0 + F_k)/2$.

В результате проведения серии экспериментов по растяжению с разрывом заготовок из стали 55Г с местным разогревом до 1000 °С и обработки опытных данных получены регрессионные математические модели, позволяющие вычислять значимые параметры с коэффициентом детерминации не менее $R_\alpha = 0,993$:
 - относительное удлинение, при котором происходит разрыв заготовки:

$$\delta_k = 2,245 \cdot (l_n/\sqrt{F_0}) - 1,211; \quad (9)$$

- площадь торцевого участка заострения:

$$F_k = \left[0,0796 \cdot \left(\frac{l_n}{d_e} \right)^2 - 0,3231 \cdot \frac{l_n}{d_e} + 0,3446 \right]^2 \cdot F_0, \quad (10)$$

где $d_e = 1,13\sqrt{F_0}$ – эквивалентный диаметр.

Конечную длину заострения после разрыва определяют как $l_k = (l_n/2) (1 + \delta_k)$. В свою очередь, длину участка нагрева, приходящегося на две поковки, можно подбирать, ориентируясь на длину заострения $l_{\text{кп}}$, определяемого по чертежу поковки:

$$l_n = 1,292 \cdot l_{\text{кп}} + 0,094 \cdot \sqrt{F_0}. \quad (11)$$

Экспериментальная зависимость усилия (P) растяжения заготовок от текущего относительного удлинения δ при различных отношениях l_n/d_e приведена к удельному виду $p = P/F_0$ и показана на рис. 2. Функциональное описание зависимости $p(\delta)$ для данного случая аппроксимировано выражением:

$$p(\delta) = a_0 \cdot \delta^{a_1} \cdot e^{-k \cdot \delta}, \quad (12)$$

где $a_0 = 135,56 - 24,25 \cdot (l_n/\sqrt{F_0})$; $a_1 = 0,514 + 0,314 \cdot \ln(l_n/\sqrt{F_0})$; $k = 1,4$.

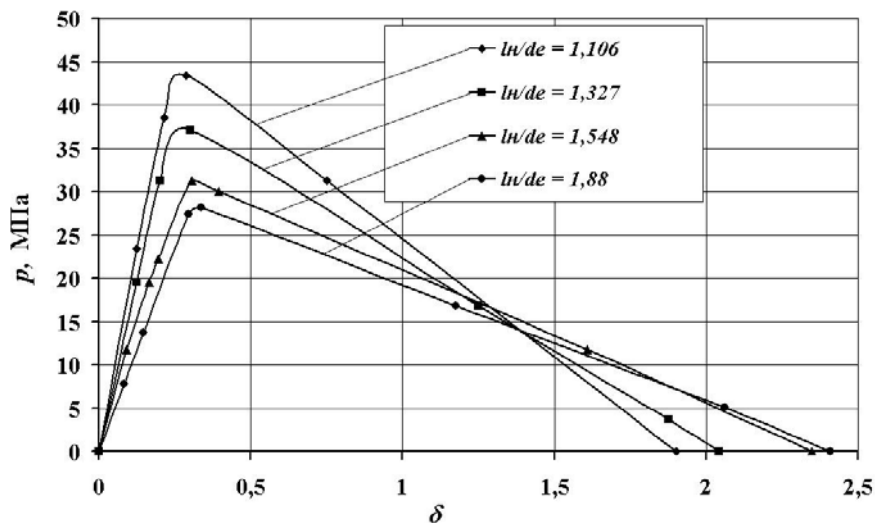


Рис. 2. Зависимость удельного усилия (p) растяжения с завершающим разрывом заготовки от относительного удлинения (δ) при различных величинах l_n/d_e (сталь 55Г, 1000 °С)

Тогда среднее удельное давление за весь путь деформирования, согласно формуле (2), вычисляется как:

$$p_{cp} = \frac{1}{\delta_k} \int_0^{\delta_k} a_0 \cdot \delta^{a_1} \cdot e^{-k \cdot \delta} d\delta. \quad (13)$$

Таким образом, становится возможным определение затрат работы на формоизменение заготовки до разрыва по выражениям (1) и анализ корреляции между предложенными критериями формоизменения (8) и удельной работой деформации A_y . Результаты критериального анализа, проведенного с использованием формулы (7), приведены на рис. 3 и рис. 4. Зависимости коэффициентов неравномерности деформации и работы формоизменения от относительной длины участка нагрева заготовки показаны на рис. 3. Увеличение коэффициента подкачки K_{no} происходит прямопропорционально росту относительной длины l_n/d_e участка нагрева, что связано с вовлечением в очаг деформации большего объема металла, пластическая вытяжка которого при растяжении сопровождается формированием более тонкой шейки и, соответственно, острой торцевой части при разрыве. Уменьшение площади поперечного сечения F_k при увеличении величины l_n/d_e приводит к резкому возрастанию коэффициента K_F (для выполнения условий масштабирования принято $K_F/1000$), которое может быть описано степенной закономерностью или полиномом четвертой степени в промежутке $l_n/d_e = 1,0 \div 2,0$ (см. рис. 3). Незначительный рост критерия K_{nc} с увеличением l_n/d_e связан с усреднением площади поперечного сечения. При возрастании относительной длины участка нагрева наблюдается снижение требуемой удельной работы деформации в связи с уменьшением энергосиловых затрат на формоизменение, однако, здесь необходимо принимать во внимание рост энергетических затрат на нагрев большего объема металла.

В результате критериального анализа процесса растяжения с разрывом заготовки установлен характер пропорциональной связи между критериями неравномерности деформации и работой формоизменения (рис. 4).

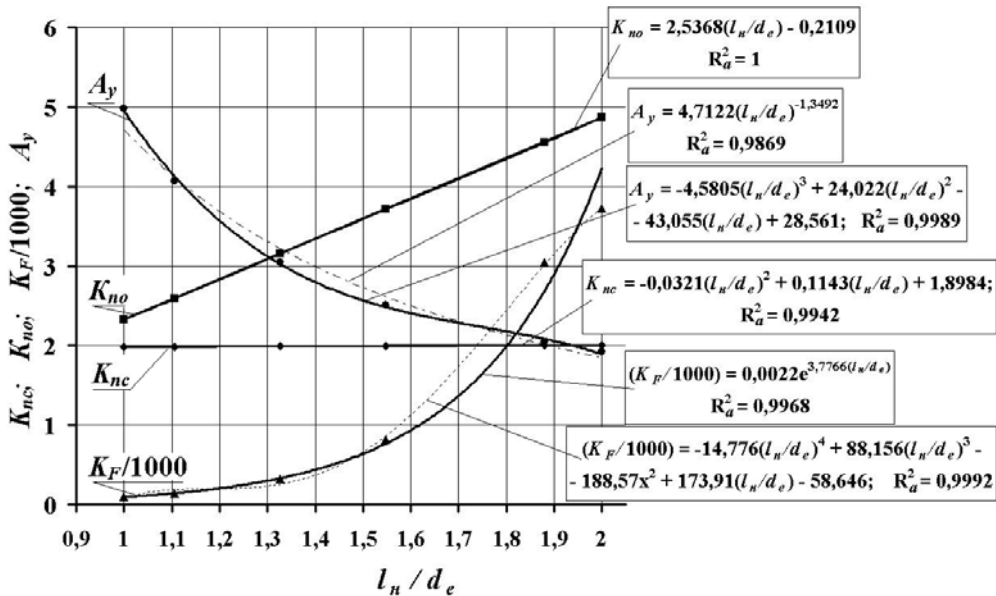


Рис. 3. Зависимости критериев формоизменения при растяжении с разрывом заготовки от относительной длины участков местного нагрева l_n/d_e (сталь 55Г, 1000 °С)

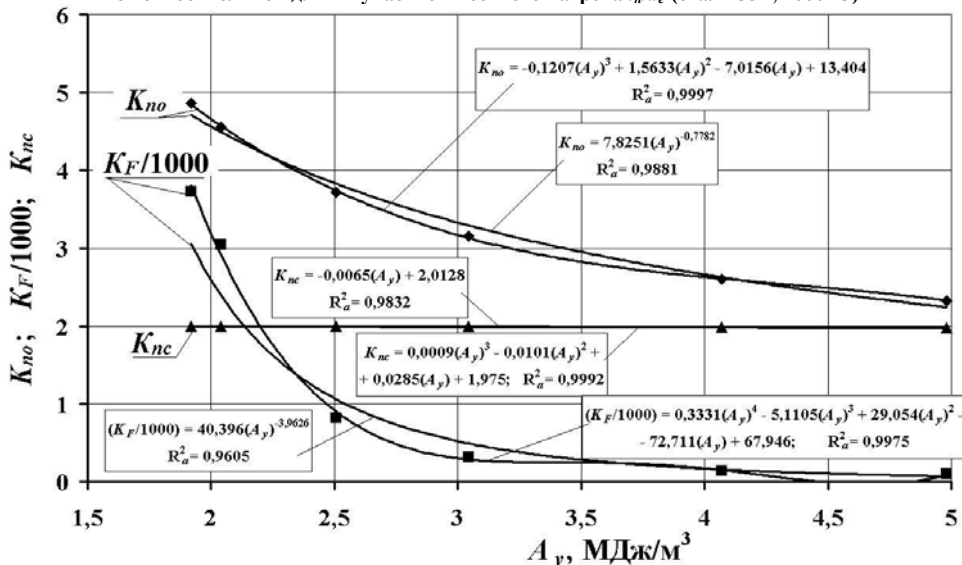


Рис. 4. Функциональная взаимосвязь критериев формоизменения при растяжении с разрывом заготовки с удельной работой деформации (сталь 55Г, 1000 °С)

Учитывая, что рост величины удельной работы деформации связан с минимизацией размеров зоны местного разогрева, следует отметить энергетические преимущества процесса формообразования удлиненных поволоков с заостренным концом способами растяжения с разрывом заготовки, когда при уменьшении удельной работы, затрачиваемой на формоизменение, наблюдается рост значений критериев неравномерности деформации. Для функциональной связи коэффициентов K_{no} и K_F с удельной работой формоизменения характерны степенные закономерности, а в общем случае, зависимости критериев формоизменения от A_1 описаны полиномами различных степеней (см. рис. 4).

Выводы

Процессы бесштампового профилирования заготовок способами растяжения с разрывом позволяют достигать значительного формоизменения при снижении величины удельной работы деформации. Предложенные критерии оценки полезной неравномерности деформации и разработанная методика их расчета учитывают относительный объем перераспределенного металла и энергосиловые затраты на осуществление формоизменения, при этом между критериями формоизменения и работой деформации установлена пропорциональная связь. Перспективами исследований в данном направлении является проведение оценки технологической наследственности изделий в местах формирования заострений.

Литература

1. Кухарь В. В. Основы бесштампового профилирования заготовок на прессах / В. В. Кухарь, В. А. Гринкевич // Прогрессивные методы и технологическое оснащение процессов обработки металлов давлением: материалы междунар. научно-техн. конф., посвященной 75-летию кафедры «Высокоэнергетические устройства автоматических систем» БГТУ «Военмех». – СПб: Военмех, 2009. – С. 101–104.
2. Гринкевич В. А. Разработка концепции бесштампового профилирования заготовок на прессах с повышением точности формоизменения на окончательных операциях // В. А. Гринкевич, В. В. Кухарь, К. К. Диамантопуло // Вестник Национального технического университета «ХПИ»: сб. науч. тр. Тематический выпуск: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2009. – № 32. – С. 26-32.
3. Пат. 18568 Україна, МПК (2006), B21J 5/00. Спосіб одержання заготовок з заостреним кінцем / Диамантопуло К. К., Сердюк О. І., Диамантопуло Ю. К.; заявник та патентовласник Приазовський держ. техн. ун-т. – № u200605103; заявл. 10.05.2006; опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11. – 2 с.
4. Пат. 24977 Україна, МПК (2006), B21J 5/00. Спосіб одержання подвоєної заготовки для безвідходного штампування / Диамантопуло Ю. К.; заявник та патентовласник Приазовський держ. техн. ун-т. – № u200701522; заявл. 13.02.2007; опубл. 25.07.2007, Бюл. № 11. – 2 с.
5. Пат. 19382 Україна, МПК (2006), B21J 5/00. Машина для виробництва поволоков типу стрижня з заостреним кінцем / Диамантопуло К. К., Сердюк О. І., Диамантопуло Ю. К., Литвин А. М., Мкртчян Е. А.; заявник та патентовласник Приазовський держ. техн. ун-т. – № u2006606600; заявл. 13.06.2006; опубл. 15.12.2006, Бюл. № 12. – 3 с; іл.
6. Охрименко Я. М. Технология кузнечно-штамповочного производства / Охрименко Я. М. – М.: Машиностроение, 1966. – 599 с.
7. Сторожев М. В. Теория обработки металлов давлением / М.В. Сторожев, Е. А. Попов. – М.: Машгиз, 1977. – 324 с.

Надійшла 9.09.2010р.

УДК 620.178.1

В.С. ПАВЛОВ

Хмельницький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ЗАПАСУ ЗА ПРОСТИХ ОПОРІВ

Встановлено, що за простих опорів віртуальні і дійсні напруження можуть суттєво відрізнятись. Коефіцієнти запасу, визначені з використанням компонентів віртуального і дійсного напружених станів, однакові. It is set that at simple resistances virtual and actual tensions can substantially differ. The coefficients of supply, certified with the use of components virtual and actual tense states, are identical.

Ключові слова: напруження, напружений стан, коефіцієнт запасу.

Вступ

Оцінка міцності елемента механізму чи конструкції за відомим напруженим станом є однією з найважливіших інженерних задач [1, с.180].

Мірою міцності є коефіцієнт запасу:

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

де K_L і K – відповідно граничне і максимальне значення критерію міцності в небезпечній точці деталі

за подібних граничного і дійсного напружених станів.

Критерієм міцності може бути механічна величина, що має переважний вплив на міцність матеріалу, або інший фактор, лінійно пов'язаний з цією величиною [2, с. 172].

За простого опору в ролі "іншого фактора" використовують напруження, притаманне цьому опору – первинне напруження, що визначають за формулою опору матеріалів.

За простих опорів розтягу (стиску) або згину ним є нормальне напруження σ , при крученні – дотичне напруження τ .

Дуже важливою є та обставина, що складниками формули коефіцієнта запасу при складному опорі є частинні коефіцієнти запасу – коефіцієнти запасу за простих опорів, що є компонентами складного опору.

Як відзначено в роботі [3, с. 33], потрібно розрізняти віртуальний і дійсний напружені стани.

Віртуальний напружений стан (ВНС) характеризує особливість та інтенсивність зовнішніх впливів. Він можливий за абсолютної жорсткості (недеформівності) матеріалу.

Дійсний напружений стан (ДНС) залежить як від зовнішніх впливів, так і від пружних сталих матеріалу: модулів E та G і коефіцієнта Пуассона μ .

Мета роботи – встановлення залежності між коефіцієнтами запасу міцності за простих опорів, визначеними з використанням компонентів віртуального і дійсного напружених станів.

1. Основний розділ

1.1 Основні поняття і вихідні положення

1. Поняття "напружений стан" і ВНС рівнозначні.

2. ВНС в деякій точці деталі характеризує особливість зовнішніх впливів і не залежить від природи матеріалу.

3. ДНС характеризують реальні напруження, що відповідають деформаціям, яких зазначає матеріал під дією зовнішніх впливів.

4. Лінійний ДНС не можливий теоретично.

5. Параметри ДНС відрізняються наявністю позначки (*).

6. Між відносною лінійною деформацією ε ізотропного матеріалу і дійсним нормальним напруженням σ^* в межах пружності, згідно із законом Гука, завжди існує лінійна залежність:

$$\sigma^* = \varepsilon E, \quad (2)$$

де E – модуль поздовжньої пружності.

7. Залежності між коефіцієнтами запасу, встановлені з використанням компонентів віртуального і дійсного напружених станів, при статичному і циклічному навантаженнях аналогічні.

1.2. Дослідження і його результати

1.2.1. Прості опори розтягу (стиску) і згину

Спільним для цих опорів є те, що в довільній точці поперечного перерізу деталі (крім точок нейтральної лінії при згині) ВНС є лінійним.

1.2.1.1. Залежності між компонентами ВНС і ДНС

Головні напруження ВНС:

$$\sigma_1 = \sigma > 0; \quad \sigma_2 = \sigma_3 = 0 \quad (3)$$

або

$$\sigma_1 = \sigma_2 = 0; \quad \sigma_3 = -\sigma < 0. \quad (4)$$

Як показано в [3, с.36], ДНС, відповідний лінійному ВНС, завжди є об'ємним.

Головні напруження ДНС:

$$\sigma_1^* = \sigma^* > 0; \quad \sigma_2^* = \sigma_3^* = -\mu\sigma^* < 0 \quad (5)$$

або

$$\sigma_1^* = \sigma_2^* = -\mu\sigma^* > 0; \quad \sigma_3^* = -\sigma^* < 0. \quad (6)$$

При цьому найбільші за абсолютною величиною головні напруження лінійного ВНС і відповідного об'ємного ДНС однакові [3, с.36]:

$$\sigma_1 = \sigma_1^* = \sigma \quad \text{або} \quad \sigma_3 = \sigma_3^* = -\sigma. \quad (7)$$

Очевидно, це стосується і граничних значень напружень:

$$\sigma_{1L} = \sigma_{1L}^* = \sigma_{Lp}; \quad \sigma_{3L} = \sigma_{3L}^* = \sigma_{Lc}, \quad (8)$$

де σ_{Lp} , σ_{Lc} – граничні розтягуюче і стискаюче напруження відповідно.

1.2.1.2. Визначення коефіцієнтів запасу з використанням компонентів ВНС і ДНС

Формула (1) коефіцієнта запасу набуває вигляду:

$$n_{\sigma} = \sigma_L / \sigma, \quad (9)$$

де σ_L і σ – відповідно граничне і найбільше за абсолютною величиною нормальні напруження в небезпечній точці.

Із формул (7)– (9) випливає, що коефіцієнти запасу за простих опорів розтягу (стиску) або згину, визначені з використанням компонентів віртуального і дійсного напружених станів за одного і того ж виду деформації, що спричиняє лінійний ВНС, рівні:

$$n_{\sigma}^* = n_{\sigma}, \quad (10)$$

де n_{σ}^* , n_{σ} – коефіцієнти запасу, визначені з використанням компонентів ДНС і ВНС відповідно.

1.2.1.3. Визначення максимального дотичного напруження

За довільного напруженого стану максимальне дотичне напруження обчислюють за формулою:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}, \quad (11)$$

де σ_1 , σ_3 – алгебраїчно найбільше і найменше головні напруження відповідно.

ВНС. Згідно із (3), (4), (11):

$$\tau_{\max} = \sigma / 2. \quad (12)$$

ДНС. Відповідно до (5)... (7), (11) отримаємо:

$$\tau_{\max}^* = (1 + \mu) \sigma / 2 \Rightarrow$$

$$\tau_{\max}^* = (1 + \mu) \tau_{\max}. \quad (13)$$

Тобто дійсне максимальне дотичне напруження при деформаціях розтягу (стиску) або згину в $(1 + \mu)$ рази більше за віртуальне.

1.2.2. Простий опір крученню

Як відомо, при крученні круглого стержня матеріал перебуває в умовах чистого зсуву (за винятком точок осі стержня).

Нагадаємо: чистий зсув – це такий вид плоского напруженого стану, при якому можна виділити елемент, в площинках якого діє лише найбільше дотичне напруження τ .

1.2.2.1. Залежність між дійсним і віртуальним дотичними напруженнями

Згідно із [3, с.36] віртуальному чистому зсуву відповідає ДНС, що також є чистим зсувом. Залежність між найбільшими дотичними напруженнями ДНС і ВНС визначається співвідношенням:

$$\tau^* = (1 + \mu) \tau, \quad (14)$$

де τ – дотичне напруження ВНС.

Очевидно, залежність між граничними значеннями дотичних напружень ДНС і ВНС аналогічна виразу (14):

$$\tau_L^* = (1 + \mu) \tau_L, \quad (15)$$

де τ_L – граничне напруження ВНС при крученні.

Отже, при крученні круглого стержня дотичні дійсні робоче τ^* і граничне τ_L^* напруження більші за відповідні віртуальні робоче τ і граничне τ_L в $(1 + \mu)$ рази відповідно.

1.2.2.2. Визначення коефіцієнтів запасу з використанням віртуальних і дійсних дотичних напружень

ВНС. Формула (1) коефіцієнта запасу набуває вигляду:

$$n_{\tau} = \tau_L / \tau, \quad (16)$$

де τ_L , τ – віртуальні граничне і найбільше дотичні напруження відповідно.

ДНС. Згідно із (14)– (16):

$$n_{\tau}^* = \tau_L^* / \tau^* = (1 + \mu) \tau_L / (1 + \mu) \tau \Rightarrow$$

$$n_{\tau}^* = \tau_L / \tau.$$

Тобто, ми отримали формулу (16).

Таким чином, коефіцієнти запасу при крученні, отримані з використанням граничного і робочого дотичних напружень ВНС і ДНС відповідно, рівні:

$$n_{\tau}^* = n_{\tau} \quad (17)$$

1.2.2.3. Визначення головних напружень

ВНС. Головні напруження при крученні круглого стержня, обчислені за формулами опору матеріалів для плоского напруженого стану, дорівнюють:

$$\sigma_1 = +\tau; \sigma_2 = 0; \sigma_3 = -\tau. \quad (18)$$

Тобто перший інваріант тензора напружень, виражений через головні напруження, дорівнює нулю:

$$I_1 = \sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 0. \quad (19)$$

Як показано в [3, с.34], за умови $I_1 = 0$ всі головні напруження ДНС збільшуються в $(1 + \mu)$ рази відповідно. В даному разі:

$$\sigma_1^* = (1 + \mu)\tau; \sigma_2^* = 0; \sigma_3^* = -(1 + \mu)\tau. \quad (20)$$

2. Обговорення результатів дослідження

Можна вважати, що основним підсумком роботи є встановлення того факту, що результати визначення коефіцієнтів запасу за простих опорів з використанням компонентів ВНС і ДНС тотожні.

Тому для оцінки міцності деталі у вигляді коефіцієнта запасу за простих опорів і частинних коефіцієнтів запасу при складному опорі доцільно використовувати первинні дані, які є компонентами віртуального напруженого стану (ВНС).

Разом з тим, при визначенні коефіцієнта запасу з використанням експериментального напруження потрібно пам'ятати, що це напруження дійсне. І його граничне значення, залежно від виду деформації, може суттєво відрізнятись від віртуального.

Висновки

1. Коефіцієнти запасу за простих опорів розтягу (стиску), згину і кручення, визначені з використанням компонентів віртуального і дійсного напружених станів (ВНС і ДНС) однакові, незалежно від характеру навантаження (статичне чи циклічне).

2. За простих опорів розтягу (стиску) і згину, що спричиняють лінійний ВНС, граничні і найбільші за абсолютною величиною нормальні напруження ВНС і ДНС відповідно однакові.

3. ДНС за простих опорів розтягу (стиску) і згину об'ємний.

4. За опору стержня круглого перерізу кручення ВНС і ДНС є чистим зсувом.

5. При крученні дійсне нормальне напруження в $(1 + \mu)$ рази більше за віртуальне.

6. Дійсне дотичне напруження при всіх простих опорах в $(1 + \mu)$ рази більше за віртуальне.

Література

1. Писаренко Г. С. Опір матеріалів: [підручник] / Г. С. Писаренко, О. Л. Квітка, Е. С. Уманський; за ред. Г. С. Писаренка. – К.: Вища школа, 1993. – 655 с.
2. Павлов В. С. Вибір критерію міцності в машинобудуванні / Павлов В. С // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2006. – № 6. С. 172 – 176.
3. Павлов В. С. Про види напруженого стану / Павлов В. С // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2010. – № 3. – С. 32 – 37.

Надійшла 9.9.2010 р.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ УДАЛЕНИЯ ПОРОКА В ОСНОВНОЙ РАБОЧЕЙ ЗОНЕ ШЛЯПОЧНОЙ КАРДОЧЕСАЛЬНОЙ МАШИНЫ

У роботі проаналізований процес очищення волокнистого матеріалу в основній робочій зоні однобарабанної шляпної кардочесальної машини. У результаті цього аналізу отримане рівняння для обчислення ймовірності видалення пороку з волокнистого матеріалу в зоні між шляпками й головним барабаном кардочесальної машини. Це рівняння необхідно для визначення умов найбільш ефективного очищення волокнистого матеріалу на однобарабанних шляпних кардочесальних машинах.

Process of cleaning of fibred material in a basic working area of hat card machine with one main drum, is analysed in this work. As a result of this analysis the equalization for the calculation of probability of deleting of litter admixture from fibred material in the area between hats and main drum of kard machine is got. This equalization can be used for determination of terms of the most effective cleaning of fibred material in hat kard machines with one main drum.

Ключові слова: кардочесальные машины, процесс очистки, волокнистый материал.

Основным типом кардочесальных машин хлопкопрядильных производств являются шляпочные однобарабанные кардочесальные машины. Наиболее интенсивное прочесывание волокнистого материала на этих машинах осуществляется в их основной рабочей зоне, которая находится между главным барабаном и шляпками данных кардочесальных машин [1]. В этой же зоне шляпочных кардочесальных машин происходит и основная очистка прочесываемого волокнистого материала от наиболее мелких, цепких и вредных растительных, минеральных и волокнистых сорных примесей (пороков). Поэтому, важнейшим элементом анализа очищающего действия однобарабанных шляпочных кардочесальных машин, является определение количественных параметров процесса очистки волокнистого материала в зоне между главным барабаном и шляпками этих машин.

Объектом исследования является технологический процесс очистки волокнистого материала в основной рабочей зоне шляпочных однобарабанных кардочесальных машин, которая находится между их главным барабаном и шляпками. Для исследования данного технологического процесса были применены методы и средства математического аппарата теории цепей Маркова [2].

Задачей исследования было получение количественного критерия очищающего действия рабочей зоны: "главный барабан – шляпки", которая является основной зоной обработки (прочесывания и очистки) волокон на однобарабанном типе шляпочных кардочесальных машин. Успешное решение данной задачи позволит расширить объем информации по особенностям обработки волокнистого материала в указанной рабочей зоне, с целью определения условий наиболее эффективной очистки волокнистого материала в процессе кардочесания на однобарабанных шляпочных кардочесальных машинах.

Для совершенствования текстильных технологических процессов и поиска решений других научно-технических проблем текстильных производств, без затрат сырья, электроэнергии и других производственных ресурсов, обычно используют информацию, получаемую на основе анализа результатов соответствующих теоретических исследований.

Однако, для проведения теоретических исследований процесса очистки волокнистого материала в основной рабочей зоне шляпочной кардочесальной машины, необходимы расчетные количественные характеристики данного процесса очистки. В качестве такой количественной характеристики можно использовать вероятность выделения порока в зоне: "главный барабан – шляпки". Формулу для этой характеристики можно определить в результате построения и анализа Марковской модели движения порока в основных зонах обработки волокнистого материала на указанном типе кардочесальных машин. Такими рабочими зонами на однобарабанных шляпочных кардочесальных машинах являются: "главный барабан – шляпки" и "главный барабан – съемный барабан" [3].

Удаление пороков из волокнистого материала в зоне "главный барабан – шляпки", обеспечивается всеми шляпками, которые входят в состав шляпочного полотна. Поэтому, для упрощения анализа характера движения порока в процессе кардочесания, все шляпочное полотно будем рассматривать как единую зону поглощения пороков. Соответствующая расчетная схема такой кардочесальной машины, которая условно содержит одну шляпку, один главный барабан и один съемный барабан, представлена на рис. 1. Тогда порок, который находится на главном барабане 1 (на рис. 1 это местонахождение порока обозначено как D_1), может остаться на главном барабане, при условии перехода данного порока в положение D_2 . И этот же порок, после его возвращения в свое исходное положение D_1 , может перейти на шляпку 2 (это положение D_3), или на съемный барабан 3 (это положение D_4).

Необходимо отметить, что на шляпочных кардочесальных машинах удерживающая способность (цепкость) чешущих поверхностей шляпок и съемного барабана, значительно превышает удерживающую способность чешущей поверхности главного барабана [4]. Следовательно, можно принять, что после перехода порока на шляпки или на съемный барабан, порок уже не сможет возвратиться на главный барабан. Это означает, что рабочие органы кардочесальной машины, которые обозначены на рис 1 цифрами 2 и 3 и, соответственно, – положения порока, которые обозначены как D_3 и D_4 , – являются зонами

поглощения [3, 5]. Поэтому, вероятностная модель движения порока в основных зонах обработки волокнистого материала: "главный барабан – шляпки" и "главный барабан – съёмный барабан", будет иметь вид, который показан на рис. 2.

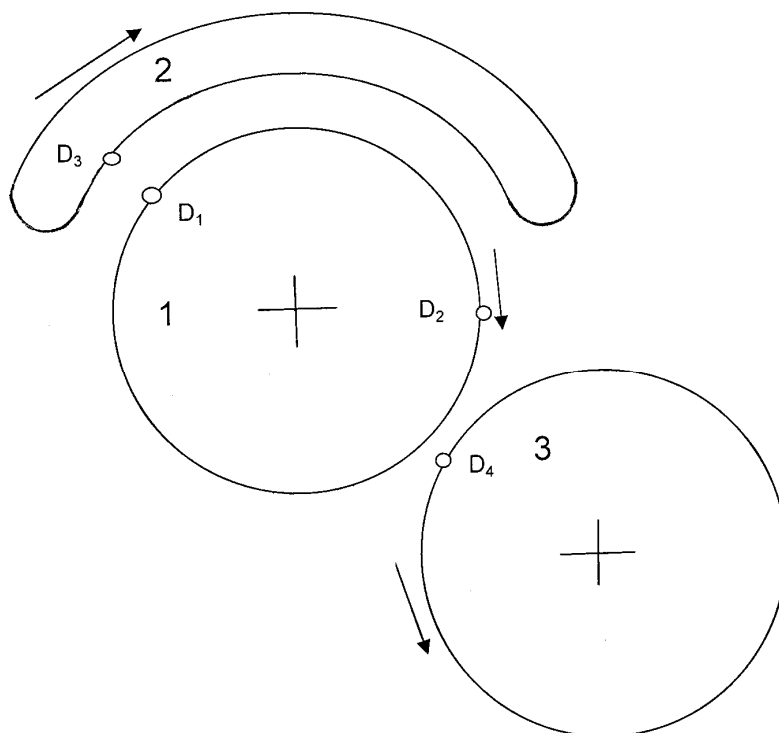


Рис. 1. Расчетная схема движения порока в зонах: "главный барабан – шляпки" и "главный барабан – съёмный барабан" на однобарабанной шляпочной кардочесальной машине

Необходимо принять во внимание, что порок, который находится в основной зоне обработки волокнистого материала, может с вероятностью q_1 остаться на главном барабане, если этот порок перейдет в положение D_2 , или, этот же порок может с вероятностью P_1 выделиться на шляпку, если он перейдет в положение D_3 . Причем, если порок попадет на шляпку, то он уже не сможет вернуться на главный барабан. Но, если порок останется на главном барабане (т.е., в положении D_2), то он может: либо с вероятностью S_2 перейти на съёмный барабан; либо с вероятностью q_2 вернуться в свое исходное положение D_1 .

Примем следующие допущения.

1. Считаем, что волокнистая масса составлена из отдельных, не связанных между собой волокон и мелких, цепких и вредных растительных, минеральных и волокнистых сорных примесей (пороков).

2. Пренебрегаем вероятностями выделения пороков в пассивных зонах очистки волокон: "главный барабан – съёмный барабан" и "главный барабан – колосники (решетка)"

3. Дробление пороков в процессе кардочесания отсутствует.

4. Кардочесальная машина не создает пороки.

Теперь, все варианты вероятностного поведения порока при его движении в двух вышеуказанных основных зонах обработки волокнистого материала на однобарабанных шляпочных кардочесальных машинах (между главным барабаном и шляпками и между главным и съёмным барабанами), могут быть представлены с помощью стохастической матрицы P -перехода за один шаг, которая имеет следующий вид:

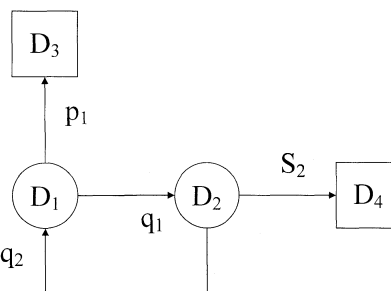


Рис. 2. Вероятностная модель движения порока в зонах "главный барабан – шляпки" и "главный барабан – съёмный барабан" на однобарабанной шляпочной кардочесальной машине

тут D_1 и D_2 – местоположения порока в зоне поглощения пороков на главном барабане; D_3 – местоположение порока в зоне поглощения пороков на шляпочном полотне; D_4 – местоположение порока в зоне поглощения пороков на съёмном барабане; q_1, q_2 – это вероятности дальнейшего пребывания порока на главном барабане, после его взаимодействия со шляпкой и, – со шляпкой и съёмным барабаном; P_1 – вероятность перехода порока на шляпку; S_2 – вероятность перехода порока на съёмный барабан.

	3	4	1	2
3	1			
4		1		
1	p ₁			q ₁
2		S ₂	q ₂	

Под шагом системы понимаем переход порока в новое положение. Элементы матрицы P , которые стоят на пересечении i -й строки и j -го столбца, дадут вероятность перехода из положения D_i в положение D_j за один шаг.

Матрицу P -перехода за один шаг можно рассматривать для удобства проведения действий над ней как расчлененную матрицу, которая состоит из четырех подматриц [5], если преобразовать ее к виду:

$$P = \begin{bmatrix} I & O \\ R & Q \end{bmatrix},$$

где Q – подматрица, которая состоит из 3-й и 4-й строк и 3-го и 4-го столбцов;

R – подматрица, которая состоит из 3-й и 4-й строк и 1-го и 2-го столбцов;

O – подматрица, которая состоит из 1-й и 2-й строк и 3-го и 4-го столбцов;

I – подматрица, которая состоит из 1-й и 2-й строк и 1-го и 2-го столбцов;

Подматрицы Q, R, O, I имеют разный физический смысл:

Q – подматрица перехода системы из одних транзитных положений в другие;

O – нулевая подматрица перехода системы из одних транзитных положений в другие;

R – подматрица перехода системы из транзитных положений в поглощающие;

I – единичная подматрица поглощающих состояний, элементы главной диагонали которой равны 1, а все остальные компоненты равны 0.

Для определения основной матрицы: $N = (I - Q)^{-1}$, математических ожиданий числа попаданий системы (порока) в невозвратные состояния, при условии, что он (порок) начнет движение из какого-либо другого невозвратного положения, нужно определить матрицу: $(I - Q)$. При этом будем учитывать, что: $q_i = 1 - P_i$.

Матрица: $(I - Q)$ есть матрица, обратная основной матрице: $(I - Q)^{-1}$. Но матрица, обратная матрице K , есть присоединенная матрица K^* , элементы которой поделены на определитель матрицы K [5]. В свою очередь, матрицей, присоединенной матрицы K , которая состоит из элементов K_{ij} , называется матрица K^* , составленная из алгебраических дополнений к элементам матрицы K . Причем, алгебраическое дополнение к элементу K_{ij} стоит на пересечении j -й строки и i -го столбца. Следовательно, если дана матрица:

$$K = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & \dots & k_{1n} \\ k_{21} & k_{22} & \dots & k_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ k_{n1} & k_{n2} & \dots & k_{nn} \end{bmatrix},$$

то тогда матрица K^* будет обратной к матрице K и следовательно, матрицу K^* необходимо представить в виде:

$$K^* = \begin{bmatrix} K_{11} & K_{21} & \dots & K_{n1} \\ K_{12} & K_{22} & \dots & K_{n2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ K_{1n} & K_{2n} & \dots & K_{nn} \end{bmatrix}.$$

Под алгебраическим дополнением элемента K_{ij} понимают определитель матрицы, полученной вычеркиванием из первоначальной матрицы i -й строки и j -го столбца и умноженной на $(-1)^{i+j}$.

Учитывая вышеизложенное, расчет матрицы B вероятностей поглощения порока выполняем следующим образом:

$$I - Q = \begin{bmatrix} 1 & -q_1 \\ -q_2 & 1 \end{bmatrix}$$

Определитель d матрицы $I - Q$, равен:

$$d = 1 - (-q_2) * (-q_1) = 1 - q_2 * q_1$$

Соответственно, алгебраические дополнения равны:

$$D_{11} = \begin{vmatrix} 1 & -q_1 \\ -q_2 & 1 \end{vmatrix} = 1 \quad D_{21} = \begin{vmatrix} 1 & -q_1 \\ -q_2 & 1 \end{vmatrix} = q_1$$

Таким образом, первая строка фундаментальной матрицы будет равна:

$$\begin{vmatrix} \frac{1}{1 - q_1 * q_2} & \frac{q_1}{1 - q_1 * q_2} \end{vmatrix}$$

$$n_{11} = \frac{D_{11}}{d} = \frac{1}{1 - q_1 * q_2};$$

$$n_{12} = \frac{D_{21}}{d} = \frac{q_1}{1 - q_1 * q_2}$$

Матрица вероятностей поглощения системы определенным поглощающим состоянием, имеет вид:

$B = \{b_{ij}\} = N * R$ [6]. Тогда, вероятность поглощения порока определенным поглощающим состоянием, может быть определена матрицей, первая строка которой имеет следующий вид:

$$B = \begin{vmatrix} \frac{P_1}{1 - q_1 * q_2} & \frac{q_1 * S_2}{1 - q_1 * q_2} \end{vmatrix}$$

А именно:

$$\begin{vmatrix} \frac{1}{1 - q_1 * q_2} & \frac{q_1}{1 - q_1 * q_2} \\ & \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} P_1 & \\ & S_2 \end{vmatrix} = B$$

Следовательно, вероятность того, что порок из волокнистого слоя на главном барабане будет в процессе кардочесания удален, равна первому элементу первой строки матрицы B , который представляет собой следующее выражение:

$$b_n = \frac{P_1}{1 - q_1 * q_2}$$

Таким образом, для оценки очищающего действия однобарабанных шляпочных кардочесальных машин предложен количественный критерий: вероятность удаления порока из волокнистого материала в основной рабочей зоне этих машин, которая находится между шляпками и главным барабаном данных кардочесальных машин. При этом показано, что для определения указанной вероятности может быть использован математический аппарат теории цепей Маркова. На основе анализа технологического процесса очистки волокнистого материала на однобарабанной шляпочной кардочесальной машине определено уравнение для вычисления вероятности удаления порока из волокнистого материала в основной рабочей зоне этой машины.

Литература

1. Прядение хлопка и химических волокон (проектирование смесей, приготовление холстов, чесальной и гребенной ленты): Учебник для вузов [Борзунов И. Г., Бадалов К. И., Гончаров В. Г. и др.]. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 376 с.
2. Воеводин В. В. Матрицы и вычисления / В. В. Воеводин, Ю. А. Кузнецов. – М.: Наука, 1984. – 320 с.
3. Ашнин Н. М. Кардочесание волокнистых материалов. / Ашнин Н. М. – М.: Легкая промышленность и бытовое обслуживание, 1985. – 144 с.
4. Оренбах С. Б. Гарнитура чесальных машин. / Оренбах С. Б. – М.: Легпромбытиздат, 1987. – 120 с.
5. Кемени Дж. Конечные цепи Маркова / Дж. Кемени, Дж. Снелл. – М.: Наука, 1970. – 201 с.
6. Ашнин Н. М. Теоретическое и экспериментальное исследование процесса кардочесания волокнистых материалов: дис. ... доктора техн. н. / ЛИТЛП (СПбГУТД). – Л., 1980.

Надійшла 6.9.2010 р.

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМУ НА ПОЧАТКОВІЙ ФАЗІ БРОДІННЯ В БІОГАЗОВІЙ УСТАНОВЦІ З ПРОПЕЛЕРНОЮ МІШАЛКОЮ

В статті визначено за результатами моделювання теплового режиму на початковій фазі бродіння в біогазовій установці з пропелерною мішалкою додаткову кількість теплоти, необхідну для забезпечення термостабілізації анаеробного процесу бродіння. Визначено необхідну кількість додаткової теплоти для забезпечення сталого теплового режиму процесу анаеробного бродіння субстрату під час активної фази виробництва біогазу.

In the article certainly as a result of design of the thermal mode on the initial phase of fermentation in the biogas setting with a propellers mixer additional amount of warmth, necessary for providing thermostabilizing of anaerobic process of fermentation. Certainly necessary amount of additional warmth for providing of the permanent thermal mode of process of anaerobic fermentation to substratum during the active phase of production of biogas.

Ключові слова: біогазова установка.

Вступ

Альтернативні та відновлювальні джерела енергії на сьогоднішній день здатні частково забезпечити попит на енергоносії. Біогаз є альтернативним паливом, що утворюється в результаті анаеробного бродіння органічної маси в біогазовому реакторі [1-5]. Для досягнення високої ефективності роботи біогазової установки та отримання максимальної кількості біогазу із одиниці об'єму біомаси необхідно створити оптимальні технологічні параметри в біогазовій установці. Інтенсифікувати та термостабілізувати процес анаеробного бродіння можливо перемішувальним пристроєм, що дозволяє рівномірно розподілити органічне середовище в усьому об'ємі реактора та нагрівальним елементом для підтримання сталого температурного режиму в установці [4]. Вдосконалення технології виробництва біогазу потребує визначення необхідної кількості підведеної теплоти до біогазової установки для забезпечення сталого теплового режиму процесу анаеробного бродіння субстрату.

Постановка задачі дослідження

Авторами запропонована математична модель масообмінних процесів і теплового балансу технологічного процесу біоконверсії в біогазовій установці [6], а також методика визначення втрат теплоти у зовнішнє середовище при його різних температурах з врахуванням опору теплопередачі через огорожуючі конструкції установки та при різних температурних режимах анаеробного бродіння субстрату [6].

Реакція бродіння субстрату в біогазовій установці супроводжується виділенням теплоти [2]. Кількість теплоти, що виділяється під час реакції анаеробного процесу бродіння біомаси, рівна 31,0 кДж [2]. Проте цієї теплоти не достатньо для створення сталого необхідного теплового режиму в біогазовій установці [1]. Автоматизація керування процесом термостабілізації вимагає встановлення характеру зміни температурного режиму анаеробного бродіння. Задачею даної роботи є визначення додаткової кількості теплоти, необхідної для забезпечення на початковій фазі анаеробного процесу бродіння та його термостабілізації для отримання максимальної кількості біогазу із одиниці ваги біомаси при найбільш ефективному термофільному режимі бродіння субстрату. Виявлений характер необхідності в часі додаткової теплової енергії для забезпечення реакції бродіння субстрату сприяє створенню автоматизованої системи керування процесом термостабілізації.

Основна частина

Конструктивну схему установки для виробництва біогазу із пропелерною вертикальною мішалкою [7] та електрокабельною системою підігрівання субстрату й системою автоматизації керування процесом термостабілізації анаеробного бродіння зображено на рис. 1.

Установка працює наступним чином. При відчиненій шиберній засувці 8 через бункер завантаження 7 субстрат надходить до резервуару 1, який накритий утеплювачем 2 для зменшення витрати теплоти в навколишнє середовище. Для інтенсифікації анаеробного бродіння шляхом створення однорідної маси всередині резервуару 1 субстрат перемішується за допомогою вертикальної пропелерної мішалки 3, що розміщена на пустотілому валу 4. Корпус резервуару 1 рівномірно підігрівається завдяки електричному нагрівальному кабелю 5, робочі параметри якого регулюються терморегулятором 6. Біогазова суміш, утворена внаслідок процесу анаеробного бродіння, надходить через захисну газорозподільну решітку 11 до труби споживача 9 та регулюється краном 10. Відпрацьований субстрат видаляється із біогазової установки через отвір для видалення відпрацьованого субстрату 13, який об'єднано шиберною засувкою 14.

Всередині та ззовні резервуару 1 розміщено сенсори температури 12, покази яких сприймає аналоговий модуль вводу інформації 15 та через проміжний інтерфейс 16 передає на комп'ютер 17. Інформація про необхідність регулювання температурного режиму через цифрово-аналоговий перетворювач 18, який під'єднано до проміжного інтерфейсу 16, надходить як виконавчий сигнал на терморегулятор 6. Таким чином за заданою програмою автоматично контролюється та забезпечується необхідний тепловий процес на початковій та в активній фазах бродіння субстрату в біогазовій установці.

Встановлена вертикальна пропелерна мішалка та автоматизована система електричного кабельного підігрівання підвищує ефективність процесу анаеробного зброджування субстрату за рахунок рівномірного прогрівання субстрату, перемішуваного вертикальною пропелерною мішалкою, по всьому об'єму установки. Система автоматизованого керування термостабілізації дозволяє створити однорідне температурне поле субстрату, оскільки автоматично відповідно до теплового процесу підтримує температуру на заданому рівні.

Для виявлення характеру необхідності в часі (τ) додаткової кількості теплоти по забезпеченню реакції на початковій та в активних фазах бродіння завантаженого в реактор субстрату (Q_H) при автоматизованому керуванні процесом термостабілізації розглянуто диференціальне рівняння:

$$\frac{dQ_D}{d\tau} = \frac{dQ_H}{d\tau} + \frac{dQ_T}{d\tau} + \frac{dQ_B}{d\tau} - \frac{dQ_P}{d\tau}, \quad (1)$$

де Q_D – сумарна кількість теплоти для забезпечення виробництва біогазу;

Q_H – кількість додаткової теплоти, що необхідна для підігрівання субстрату по забезпеченню процесу на початковій фазі бродіння біомаси;

Q_T – кількість теплоти по забезпеченню термостабілізації процесу бродіння субстрату при виробництві біогазу;

Q_B – втрати теплоти з реактора у зовнішнє середовище через огорожуючі конструкції;

Q_P – кількість теплоти, що виділяється під час реакції анаеробного бродіння біомаси.

Методики визначення кількості теплоти по забезпеченню термостабілізації процесу бродіння субстрату при виробництві біогазу Q_T та втрати теплоти із реактора у зовнішнє середовище через огорожуючі конструкції Q_B описано в роботі [6].

Кількість додаткової теплоти Q_H , що необхідна для підігрівання субстрату по забезпеченню процесу на початковій фазі бродіння, визначається згідно формули:

$$Q_H = c_c \cdot m_c \cdot \Delta t^0 \quad (2)$$

де c_c – питома теплоємність субстрату, кДж/(кг·К);

m_c – маса субстрату в біогазовій установці, кг;

Δt^0 – різниця між температурою завантаженої в реактор сировини (t_b) та необхідною температурою для ефективного процесу анаеробного бродіння (t_n).

Кількість додаткової теплоти для забезпечення процесу бродіння визначається також теплофізичними властивостями органічного субстрату, а саме питомою теплоємністю, кількістю сухого залишку, динамічною в'язкістю, густиною тощо.

Питома теплоємність субстрату залежить від кількості сухого залишку в органічній масі:

$$c_c = f(c_b, c_3), \quad (3)$$

де c_b – питома теплоємність вологого середовища субстрату;

c_3 – питома теплоємність сухого залишку в органічній масі.

Оскільки рекомендована кількість сухого залишку субстрату становить до 10 % [2], то:

$$c_c = 0,9c_b + 0,1c_3 \quad (4)$$

Для визначення динамічної в'язкості субстрату μ_c запропонована залежність [4]:

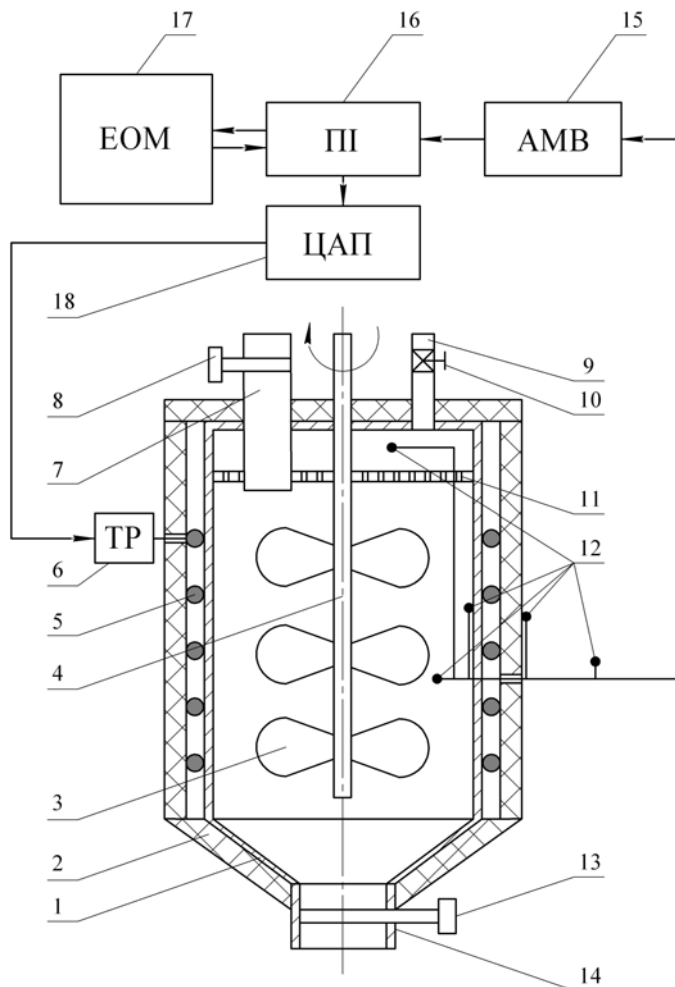


Рис. 1. Конструктивна схема установки для виробництва біогазу із електричною кабельною системою підігрівання та системою автоматизації керування процесом термостабілізації анаеробного бродіння

$$\mu_c = \mu_b \cdot \left[1 + 2,5 \cdot \left(c_c + 10 \frac{c_c - 2}{8 - \beta \cdot c_c} \right) \right], \quad (5)$$

де μ_b – динамічна в'язкість вологого середовища субстрату, Па·с;

β – коефіцієнт, що залежить від типу субстрату тварин, $\beta = 0,65 \dots 0,85$.

Густина субстрату ρ_c при заданих вологості і температурі, за відсутністю експериментальних даних визначається за залежністю [4]:

$$\rho_c = \rho_b + 2,4 \cdot c_c, \quad (6)$$

де ρ_b – густина вологого середовища субстрату, кг/м³.

Для визначення характеру необхідності в часі додаткової теплової енергії для забезпечення реакції бродіння субстрату виконано чисельне моделювання за таких умов: режим анаеробного бродіння термофільний; вертикальна пропелерна мішалка 3 забезпечує рівномірне перемішування субстрату та розподілення температури в резервуарі 1; тепловтрати через утеплювач 2 постійні; доцільним є визначення питомої кількості теплоти на одиницю маси субстрату, тобто $m_c = 1$; коефіцієнт теплопередачі $k = 4$ Вт/(м·К); температура зовнішнього середовища прийнято рівною температурі завантаженої в реактор сировини $t_b = 0^\circ\text{C}$.

Кількість додаткової питомої теплоти Q_H' , що необхідна для підігрівання субстрату з різними вихідними температурами по забезпеченню процесу бродіння на початковій фазі, визначено з врахуванням залежностей (2-6) і наведено в табл. 1.

Тепловий процес анаеробного бродіння протікає в дві стадії. На першій стадії субстрат підігривається до початкової активної фази термофільного анаеробного бродіння. На другій фазі відбувається процес безпосереднього виробництва біогазу в результаті анаеробного бродіння. Кількість теплоти, що необхідна для підтримання сталого режиму процесу анаеробного бродіння в біогазовій установці, залежить від стадії бродіння субстрату.

На першій стадії процесу бродіння кількість теплоти Q_1 визначається за формулою:

$$Q_1 = Q_H + Q_B. \quad (7)$$

В свою чергу Q_B отримано із залежності [6]:

$$Q_B = k \cdot F \cdot \Delta t^0, \quad (8)$$

де k – коефіцієнт теплопередачі, $k = 4$ Вт/(м·К), [6];

F – площа огорожуючих конструкцій біогазової установки. В розрахунках прийнято $F = 1$ м².

На другій стадії анаеробного бродіння кількість теплоти, що необхідна для термостабілізації процесу бродіння, отримано із рівняння:

$$Q_{II} = Q_P + Q_B. \quad (9)$$

Значення необхідної кількості теплоти на першій та другій стадії бродіння субстрату наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Необхідна кількість теплоти на першій та другій стадії анаеробного бродіння субстрату

$\Delta t^0, ^\circ\text{C}$	20	30	40	50
$Q_H', \text{кДж/кг}$	83,3	125,7	167,6	209,5
$Q_P, \text{кДж/кг}$	31,0			
$Q_B, \text{кДж/кг}$	80,0	120,0	160,0	200,0
$Q_I, \text{кДж/кг}$	163,3	245,7	327,6	409,5
$Q_{II}, \text{кДж/кг}$	111,0	151,0	191,0	231,0

Експериментальні значення кількості та характеру виділення теплоти Q_P реакції бродіння органічної маси з початку завантаження її в біогазову установку до активної фази утворення біогазу наведено в роботі [8]. За результатами чисельного моделювання виявлено характер необхідності в часі додаткової теплової енергії для забезпечення реакції бродіння субстрату з врахуванням різниці температур (Δt^0) завантаженої в реактор сировини та субстрату для ефективного процесу бродіння (рис. 2).

Аналіз отриманих результатів (рис. 2) свідчить, що теплоти реакції анаеробного бродіння біомаси, особливо на початковій фазі, недостатньо для ефективного процесу отримання біогазу в біогазовій установці, оскільки значення питомої теплоти становить 31 кДж/кг, а необхідної додаткової питомої теплоти на початковій фазі варіюється від 163,3 до 409,5 кДж/кг. Дослідження теплового режиму на початку активної фази в біогазовій установці та необхідної кількості додаткової енергії для досягнення ефективності процесу бродіння субстрату показує, що найбільшій кількості додаткової питомої теплоти потребує термофільний режим бродіння біомаси, яка може досягати на початковій фазі 409,5 кДж/кг при максимальній різниці температур завантаженого в біогазову установку субстрату та навколишнього середовища.

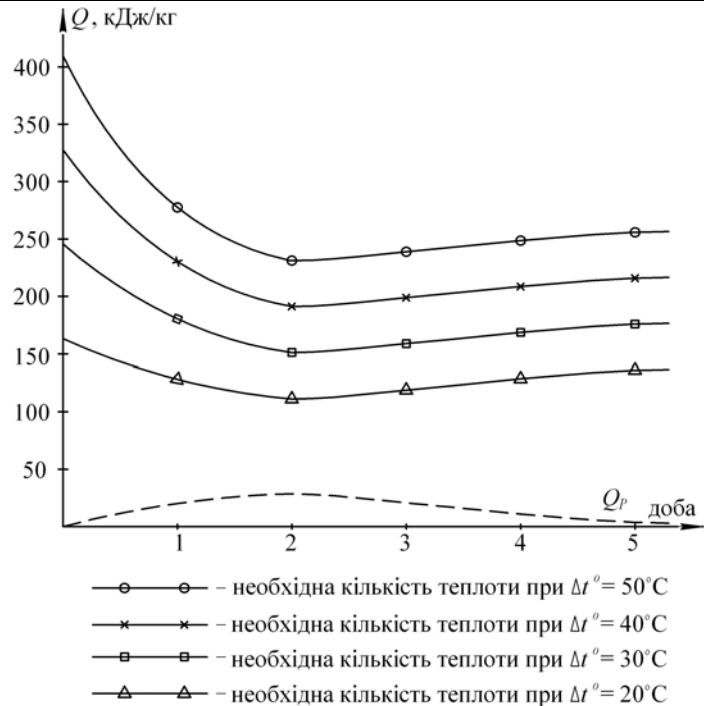


Рис. 2. Залежність в часі необхідної кількості теплоти на першій та другій фазі бродіння субстрату та теплоти реакції від різниці температур завантаженої сировини в реакторі

Висновки

Запропонована конструкція біогазової установки з перемішувальним пристроєм, нагрівальним елементом та системою автоматизації керування процесом термостабілізації анаеробного бродіння дозволяє інтенсифікувати виробництво біогазу за рахунок створення умов для рівномірного прогрівання субстрату по всьому об'єму. За результатами моделювання теплового режиму на початковій фазі бродіння в біогазовій установці з пропелерною мішалкою визначено додаткову кількість теплоти, необхідну для забезпечення термостабілізації анаеробного процесу бродіння.

Кількісно встановлено, що теплоти виділяємої під час зброджування біомаси недостатньо для створення сталого термофільного режиму в біогазовій установці. Визначено необхідну кількість додаткової теплоти для забезпечення сталого теплового режиму процесу анаеробного бродіння субстрату під час активної фази виробництва біогазу.

Література

1. Ратушняк Г. С. Энергозбереження в системах біоконверсії / Г. С. Ратушняк, В. В. Джеджула. – Вінниця: Універсум-Вінниця, 2006. – 83 с.
2. Баадер Б. Биогаз: теория и практика / Баадер Б., Доне Е., Бренндерфер М.; [пер. з нім. М. И. Серебряного]. – М.: Колос, 1982. – 148 с.
3. Сербін В. А. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії в системах ТГП / Сербін В. А. – Макіївка: ДонДАБА, 2003. – 153 с.
4. Ткаченко С. Й. Теплообмінні та гідродинамічні процеси в елементах енергозабезпечення біогазової установки / С. Й. Ткаченко, Д. В. Степанов. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. – 132 с.
5. Ратушняк Г. С. Тепловтрати в біогазових установках при різних температурних режимах анаеробного бродіння / Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна // Вісник ВПШ. – 2008. – № 4.
6. Ратушняк Г. С. Моделювання теплообмінних процесів в біогазових установках / Г. С. Ратушняк, К. В. Анохіна // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – 2008. – № 12.
7. Пат. 36453 Україна, МПК С 02 F 11/04. Біогазова установка / Ратушняк Г. С., Анохіна К. В.; Державний департамент інтелектуальної власності. – № u200806844; Заявл. 19.05.2008; опубл. 27.10.2008, Бюл. № 20.
8. Хабибуллин С. С. Биоэнергетическая конверсия органических отходов / С. С. Хабибуллин // Социально-экономические и технические системы. – 2008. – № 4.

Надійшла 16.9.2010 р.

УНІВЕРСАЛЬНА КЛАСИФІКАЦІЯ ОПТИЧНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ГУСТИНИ ГАЗУ

У статті розглянуто основні оптичні методи дослідження густини газу та наведено їх переваги й недоліки. Запропоновано універсальну класифікацію оптичних методів дослідження густини газу.

In the article the basic optical methods of research of gas closeness are considered and their advantages and failings are resulted. Universal classification of optical methods of research of gas closeness is offered.

Ключові слова: газ, густина, класифікація.

Вступ

На сьогодні в багатьох областях техніки використовуються різноманітні методи дослідження фізичних параметрів газу. Вони дають змогу визначити густину й концентрацію, вміст шкідливих домішок, кількісний склад і їх відсоткову частку в різноманітних сумішах. При цьому об'єктом дослідження може бути природний газ, промисловий дим, пари алкоголю або нафтових продуктів, чадний та вуглекислий гази, запилене повітря тощо.

На основі відомих методів дослідження фізичних параметрів газу створено:

- системи протипожежної охорони;
- повітроочисні системи;
- сенсори та системи контролю природного газу;
- сенсори витоку газу;
- побутові та медичні сенсори алкоголю;
- системи контролю вентиляції та кондиціонування (сенсори CO та CO₂) [1-5].

Одним із основних параметрів газу є його густина або концентрація. На практиці при дослідженні густини газу виникає необхідність вибору методу та відповідного сенсора, оскільки існує широкий спектр специфічних задач їх застосування, виходячи з умов експлуатації. Тому виникає необхідність в класифікації цих сенсорів, яка б повно характеризувала весь клас методів і сенсорів на їх основі. При цьому повинні бути враховані як особливості методів, їх залежність від фізичного процесу, на основі якого вони працюють, так і конкретні реалізації приладів. В зв'язку з цим задача побудови універсальної класифікації методів дослідження густини газу є актуальною.

Постановка задачі

Існує ціла низка методів визначення густини або концентрації газу. До них відносяться механічний (зважування), газова електронографія, електронний парамагнітний резонанс, ізотопний аналіз [2– 5]. Але найширше на сьогодні застосовуються сенсори густини газу на основі оптичних методів. Це пов'язано з тим, що вони мають ряд важливих переваг – висока точність вимірювання, візуалізація газового потоку та невисока вартість [6]. Згідно класифікацій, які наведені в [10– 15], їх можна розділити на 3 основні групи: засновані на залежності коефіцієнта заломлення світла від густини газу; на поглинанні променевої енергії газом і засновані на післясвітінні молекул газу при електричному розряді. Останні дві групи методів використовуються для дослідження густини газу при низьких тисках. Із методів першої групи використовується метод Теплера та інтерферометричний. В них для вимірювання густини користуються залежністю між густиною газу і коефіцієнтом заломлення світла. Але на сьогодні розроблено ряд нових методів або комбінованих, які об'єднують декілька. Тому метою роботи є аналіз відомих оптичних методів дослідження густини газу та їх класифікація.

Класифікація оптичних методів дослідження густини газу

Оптичні методи дослідження густини газу засновані на використанні законів оптики, що стосуються природи поширення й взаємодії з речовиною електромагнітного випромінювання оптичного діапазону (видиме світло, ультрафіолетове й інфрачервоне випромінювання). До цих методів відносяться рефрактометричний аналіз, поляриметричний та спектрополяриметричний, нефелометричний та турбодиметричний, інтерференційний, абсорбційний, флуорометричний, спектрофлуорометричний та мікроцитоспектрофлуорометричний [7– 9].

На рис. 1 наведена запропонована класифікація оптичних методів дослідження густини газу.

Рефрактометричний метод є найпростішим оптичним методом дослідження густини газу, який заснований на вимірюванні показника заломлення, із затратою невеликої кількості речовини (0,05– 0,5 г), що аналізується, проводиться за короткий час і має високу чутливість: для газу – 10^{-7} – 10^{-8} , для рідини – 10^{-4} – 10^{-5} . Для цього виконують вимірювання рефракції або показника заломлення світла досліджуваних зразків.

Визначення показника заломлення проводять за допомогою спеціальних приладів – рефрактометрів, які діляться на чотири основні типи: ручний (заснований на явищі повного внутрішнього відбиття); цифровий; лабораторний або рефрактометр Аббе; рефрактометр, на одній лінії з потоком. До недоліків методу можна віднести високу залежність від температури [7].

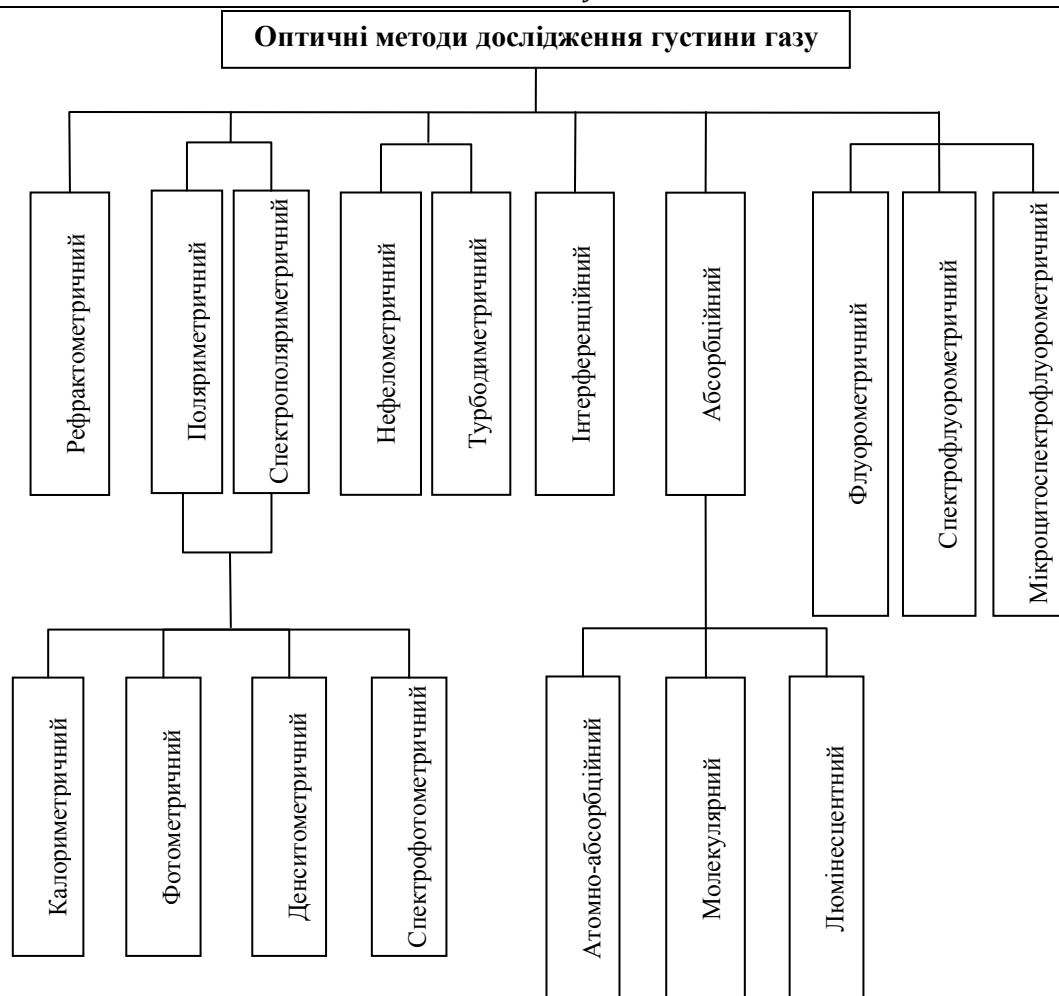


Рис. 1. Оптичні методи дослідження густини газу

Для вимірювання поглинання світла речовиною з метою аналізу складу й структури зразка широко застосовують поляриметричні й спектрополяриметричні методи (колориметрію, фотометрію, спектрофотометрію, денситометрію).

Прилади, що служать для цієї мети, одержали назву колориметрів, фотометрів, спектрофотометрів, денситометрів.

Колориметрія й спектрофотометрія засновані на взаємодії випромінювання з однорідними системами. Вона зменшує трудомісткість та підвищує точність та об'єктивність аналізу. Інтервал вимірювальних концентрацій становить 10^{-8} – 10^{-3} моль/л. Конструкція калориметрів визначається умовами вимірювань (в першу чергу, температурним діапазоном) і необхідною точністю. Сучасні калориметри працюють в діапазоні температур від $-273,16$ °С до більш ніж 1000 °С і мають точність до $0,01$ %.

Фотометричні методи найбільш розповсюджені внаслідок умовної простоти обладнання, високої чутливості і можливості використання для визначення майже всіх елементів як при великих концентраціях (20 – 30 %), так і мікроконцентраціях (10^{-3} – 10^{-4} %).

Денситометрія є сучасним і точним методом дослідження оптичної густини газу за допомогою рентгенівських променів. Точність методу складає $5 \cdot 10^{-7}$. Похибка у відтворенні результатів досліджень не перевищує $0,4$ – $0,81$ %. Прилади, що працюють на основі цього методу, отримали назву денситометри [14].

Спектрофотометрія – це оптичний метод дослідження густини газу, заснований на вивченні **спектрів** поглинання в ультрафіолетовій (200 – 400 нм), видимій (400 – 760 нм) та інфрачервоній (>760 нм) областях спектра. Прилади на її основі дозволяють вивчати характерні спектри поглинання різних речовин і встановлювати їхню хімічну будову й кількісний вміст у розчинах.

Для вимірювання концентрації й вивчення властивостей оптично активних молекул застосовують поляриметри й спектрополяриметри. Поглинання світла речовиною нерідко супроводжується виникненням вторинного випромінювання з меншою довжиною хвилі [15].

Ці методи мають ряд недоліків:

- висока чутливість досягається у вузьких частотних інтервалах;
- дані, які реєструються, не завжди можна пов'язати з конкретним процесом;
- висока вартість;
- низька селективність через можливе накладання спектрів і як наслідок – збільшення похибки.

Нефелометрія заснована на поглинанні й розсіюванні світлової енергії зваженими частинками

речовини, що аналізується. Цей метод досить точний для дослідження складу речовини. В середньому похибка не перевищує 0,5 % і може бути знижена до 0,3 %.

Турбодиметрія широко використовується для проведення експрес-аналізу концентрації в довгохвильовій області спектра (650 нм). Вона дає тільки усереднені дані про склад речовини, що досліджується, але це не завжди є прийнятним. Перевагою методу є його простота. Нижня границя концентрацій, що визначаються, в нефелометрії досягає 10^{-4} %; в турбодиметрії вища – похибка 5– 10 % [13].

Основним недоліком цих методів є великий час реєстрації розсіювання (5– 20 хв.), Це пов'язано з тим, що інтенсивність розсіяного світла залежить від концентрації частинок. Це означає, що його неможливо використовувати в приладах з швидко протікаючими процесами.

Інтерференційний метод дослідження є одним з основних оптичних методів дослідження густини газу. Він заснований на явищі інтерференції та забезпечується цілою низкою інтерферометрів – Маха–Цендера (ділить оптичний сигнал на два пучки з різними оптичними властивостями і об'єднує їх на виході в спільний канал, після чого проходить їх інтерференція), Релея (для визначення показника заломлення для умов близьких до «нормальних», тобто майже рівний одиниці), Жамена (для точного визначення показника заломлення газів при тиску, близькому до атмосферного, коли відповідний показник заломлення відрізняється від одиниці в четвертому-п'ятому знаку після коми) тощо. Похибка методу може змінюватись від 1 % до 17 % [16].

Абсорбційні методи – це методи аналізу, засновані на поглинанні електромагнітного випромінювання речовинами, що аналізуються. При поглинанні світла атоми й молекули речовин переходять у новий збуджений стан. Залежно від їх виду і способу трансформування поглинутої енергії розрізняють атомно-абсорбційний та молекулярно-абсорбційний аналізи, нефелометрію й люмінесцентний аналіз [10].

Атомно-абсорбційний аналіз заснований на поглинанні світлової енергії атомами речовин, що аналізуються. Цей метод характеризується високою швидкодією, простотою виконання та доступністю. Чутливість досягає $5 \cdot 10^{-7}$. Відносна похибка аналізу складає 1– 4 % [11].

Молекулярно-абсорбційний аналіз заснований на поглинанні світла молекулами речовини, що аналізуються, й складних іонів в ультрафіолетовій, видимій та інфрачервоній областях спектра. Він ускладнює проведення якісного аналізу на основі молекулярних спектрів поглинання, тому його зазвичай використовують для кількісного аналізу елементів як при великих концентраціях (20-30 %), так і при мікроконцентраціях (10^{-3} – 10^{-4} %) [12].

Величина розсіювання світла мікрочастинками, що знаходяться в газі або в рідині, визначається нефелометричним або турбодиметричним методом. Про вміст речовини судять інтенсивності світлового потоку, що розсіюється, зваженими частинками обумовленої речовини (нефелометрія), або поглинання світлового потоку цими частинками (турбодиметрія).

Люмінесцентний аналіз заснований на вимірюванні оптичного випромінювання, що виникає в результаті виділення енергії збудженими молекулами речовини, що аналізується. Для кількісного визначення речовин використовується ділянка спектра від 100 до 600 нм. На практиці для проведення люмінесцентного аналізу багатьох речовин використовують ультрафіолетові промені світла, які одержують в основному за допомогою ртутних ламп. Такий аналіз застосовується для визначення концентрацій до 10^{-4} – 10^{-8} моль/л, тобто для визначення мікрокількостей речовин. Перевагою люмінесцентного аналізу є його висока чутливість. За його допомогою можна визначити до мільйонної частки відсотка речовини, чутливість виявлення яких сягає $5 \cdot 10^{-7}$ – 10^{-8} % [8].

Люмінесцентний аналіз – якісний і кількісний метод дослідження різних об'єктів, заснований на явищі люмінесценції. Перевага методу – висока чутливість, яка дозволяє ідентифікувати речовину до 10^{-10} – 10^{-12} г. Похибка вимірювання залежить від умов і складає від 1 % до 10 %.

До недоліків вище наведених методів необхідно віднести:

- високу собівартість;
- обмежене число люмінесцентних речовин;
- відсутність можливості кількісних вимірювань при наявності кількох люмінесцентних з'єднань.

Флуориметрія – це визначення концентрації речовини за інтенсивністю флюоресценції, яка виникає при опроміненні речовини ультрафіолетовими променями (10– 400 нм). При певних умовах цим методом можна визначити дуже малі концентрації речовини (10^{-4} – 10^{-8} моль/л) [15, 16].

Висновок

В роботі проведено аналіз існуючих оптичних методів дослідження густини газу. Запропоновано їх класифікацію. Описані особливості методів, їх залежність від фізичного процесу, на основі якого вони працюють. Розроблена класифікація висвітлює весь клас методів і сенсорів на їх основі, які використовуються на сьогодні при дослідженні густини газу.

Література

1. Датчики газа фирмы “SENCERA” [Електронний ресурс]: Ukrainian Context Optimizer. – Режим доступу: <http://www.filur.net/index.php?mod=art&id=15>
2. Методы исследования [Електронний ресурс]: Ukrainian Context Optimizer. – Режим доступу:

<http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/120>

3. Электронография [Электронный ресурс]: Ukrainian Context Optimizer. – Режим доступу: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/138>
4. Электронный парамагнитный резонанс [Электронный ресурс]: Ukrainian Context Optimizer. – Режим доступу: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/27125>
5. Изотопный анализ [Электронный ресурс]: Ukrainian Context Optimizer. – Режим доступу: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/129>
6. Измерение воздушных потоков / С. Г. Попов – М.: Энергия, 1947, – 464 с.
7. Оптические методы исследования [Электронный ресурс]: Ukrainian Context Optimizer. – Режим доступу: http://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_medicine/21175
8. Классификация оптических методов [Электронный ресурс]: Ukrainian Context Optimizer. – Режим доступу: <http://www.znaytovar.ru/new114.html>
9. Рефрактометрические методы химии / Б. В. Иоффе – Л.: Аврора, 1983, – 450 с.
10. Некоторые задачи и методы экспериментальной аэромеханики / С. Г. Попов – М.: Энергия, 1952, – 632 с.
11. Техника эксперимента в аэродинамических трубах: пер. с англ. / Пэнк-хёрст Р., Холдер Д. – М.: Энергия, 1955, – 236 с.
12. Изучение сверхзвуковых явлений при помощи интерферометра / Ладенбург Р., Винклер Д., Ван-Вурис К. – М.: Энергия, 1951, – 254 с.
13. Техника гиперзвуковых исследований: пер. с англ. / Крилл А. – М.: Энергия, 1964, – 432 с.
14. Аэрофизические исследования сверхзвуковых течений / А. М. Павлюченко, О. А. Брагин – М.: Энергия, 1966, – 632 с.
15. Современная техника аэродинамических исследований при гиперзвуковых скоростях: пер. с англ. / Крилл А. – М.: Энергия, 1965, – 242 с.
16. Методы измерения вибрации [Электронный ресурс]: Ukrainian Context Optimizer. – Режим доступу: http://5ka.su/ref/nauka/0_object69745.html

Надійшла 19.9.2010 р.

УДК 697.922.566

Г.С. РАТУШНЯК, Р.В. СТЕПАНКОВСЬКИЙ

Вінницький національний технічний університет

ВДОСКОНАЛЕННЯ РЕГУЛЮВАННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ПОТОКІВ ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ

Стаття присвячена проблемі регулювання аеродинамічних потоків трубопроводних систем. Запропоновано нову конструкцію дросель-клапана з метою вдосконалення регулювання аеродинамічних потоків в системах вентиляції, аспірації та пневмотранспорту. Розроблено експериментальний стенд та проведено експериментальні дослідження роботи нової конструкції дросель-клапана в системі.

The article is devoted the problem of adjusting of aerodynamic streams of the pipeline systems. The new construction of choke valve is offered with the purpose of perfection of adjusting of aerodynamic streams in the systems of ventilation, axufflation and pneumatic transport. An experimental stand is developed and experimental researches of work of new construction of choke valve are conducted in the system.

Ключові слова: дросель-клапан, трубопровід

Створення складних технічних гідросистем ставить перед проектувальниками цілий комплекс завдань різної специфіки. На першому плані в сучасному проектуванні, як відомо, знаходяться вимоги щодо енергозбереження. Найбільш суттєвий вплив на втрати енергії (напору) потоку рідини мають місцеві гідроопори. Складність розрахунків гідроопорів в регулюючих пристроях зумовлена наявністю в них змін швидкості руху, відриву потоку, виникнення вихроутворення та турбулентності [1].

При експлуатації вентиляційних, аспіраційних систем та системи пневмотранспорту виникає необхідність регулювання витрати повітря відповідно до технологічного процесу. Регулювання витрати повітря в повітроводах виконують за допомогою дросель-клапанів, регулюючих пристроїв, засувок та, в деяких випадках, встановленням діафрагм [2]. В системах аспірації та пневмотранспорту встановлення дросель-клапанів, які відіграють роль регулюючих пристроїв, забороняється, так як транспортування повітряного потоку з різного роду домішками приводить до забруднення дросельного пристрою та відповідно розбалансування системи. Застосування регулюючих пристроїв у вигляді звичайних та конусних діафрагм не забезпечує якісне регулювання витрати повітря вентиляційних, аспіраційних систем та системи пневмотранспорту внаслідок неможливості збереження необхідної їх збалансованості під час експлуатації. Це приводить до зменшення енергетичної ефективності даних систем та збільшення енерговитрат виробництва.

Задачею роботи є розроблення заходів щодо вдосконалення процесу регулювання аеродинамічних

потоків в системах вентиляції, аспірації та пневмотранспорту з метою підвищення їх експлуатаційної надійності, підбору оптимальних параметрів регулювання витрати повітря окремих ділянок та системи вцілому для забезпечення енергозбереження.

В процесі дослідження будуть розв'язані наступні задачі:

- розроблення нової конструкції дросель-клапана з метою покращення аеродинамічних властивостей проходження робочого середовища в вищенаведених системах;
- дослідження роботи нової конструкції дросель-клапана та дросель-клапана звичайного виконання;
- порівняння аеродинамічних характеристик двох різних конструкцій дросель-клапанів.

Широке застосування в вентиляційних системах загального призначення знайшли дросель-клапани (рис. 1), регулюючі пристрої, шибери, засувки. Регулюючим елементом в наведених конструкціях є пластина або ряд пластин, перфоровані пластили [3], при зовнішній дії на яких відбувається процес регулювання витрати повітря. Розміщення регулюючої лопаті всередині дросель-клапана (процес регулювання відсутній) зумовлює до утворення гідроопору перетіканню повітря через дросель-клапан. Це є основним недоліком дросель-клапанів звичайного виконання (ДКЗВ) (рис. 1).

Застосування дросель-клапанів в системі пневмотранспорту та аспірації забороняється, так як відбувається забруднення, зачеплення різного роду домішок, що транспортуються по даних системах, з регулюючою лопатю, в більшій мірі в місці приєднання регулюючої лопаті до корпусу дросель-клапана (рис. 1, вид А). Це є транспортування компонентів, що є продуктами або відходами виробництва наступних галузей: типографій та поліграфічних комплексів, паперово-картонній індустрії, тютюнових компаній, текстильної промисловості, підприємств деревообробної промисловості, підприємств, що використовують сипучі матеріали, підприємств харчової промисловості та ін [3, 4] (рис. 1).

В системі пневмотранспорту рекомендується встановлювати конусні діафрагми, в аспіраційних системах – діафрагми на вертикальних ділянках, що транспортують сухий незлипаючий пилю та волокнистий пилю, в яких не відбувається повільного точного регулювання за рахунок відсутності варіювання поперечного перерізу діафрагми.

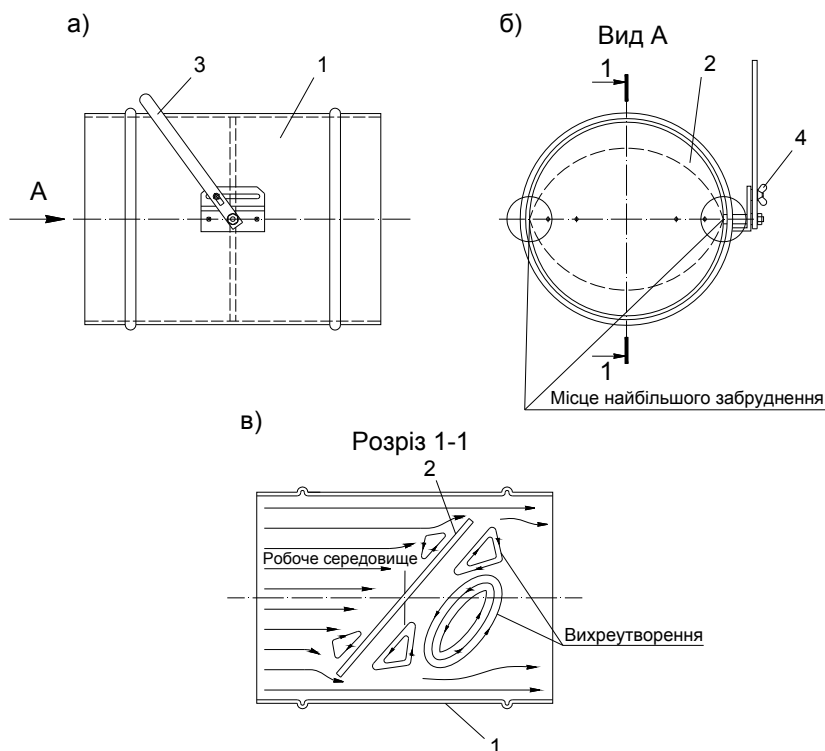


Рис. 1. Дросель-клапан звичайного виконання (ДКЗВ): а) дросель-клапан: вид збоку; б) вид А; в) розріз 1-1;
1 – корпус; 2 – поворотна регулююча лопать; 3 – рукоятка регулювання; 4 – зажимний гвинт

При вивченні складних явищ, що зв'язані з обтіканням твердих тіл потоком газу, досліджуються лінії потоку та траєкторії руху частинок газу, тобто аеродинаміка спектрів обтікання тіл потоком газу [5].

На рис. 2 зображено зафотографовані спектри обтікання потоком повітря різних по формі тіл [6]. Аналіз свідчить, що найбільш плавний спектр обтікання з невеликою зоною хаотичного вихрового руху потоку за тілом має каплеподібне тіло (рис. 2, в), що за аеродинамічними параметрами є зручнообтікаємими.

Тіла несправної форми (наприклад, плоска пластина, що поставлена поперек потоку) викликає найбільш інтенсивний вигин ліній течії та потужне вихреутворення за тілом. Такі тіла за аеродинамічними параметрами є незручнообтікаємими.

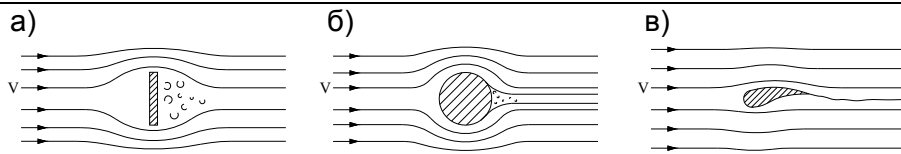


Рис. 2. Спектри обтікання потоком повітря твердих тіл:
а) плоска пластина; б) куля; в) каплеподібне тіло

В табл. 1 наведено значення критерія Рейнольдса Re та коефіцієнта сили лобового опору C_x для деяких тіл [6].

Як видно з таблиці 1, куля в порівнянні з іншими твердими тілами має невеликий коефіцієнт лобового опору C_x . Це означає, що утворення за тілом області вихроутворення є однією з причин наявності сили опору. Чим більше та інтенсивніше вихроутворення за тілом, тим більша сила опору такого тіла, та, відповідно, збільшуються затрати енергії на подолання даного опору.

Вищенаведені дослідження поставили задачу до створення дросельного пристрою, який би дозволив зменшити інтенсивність вихроутворення.

Дана мета досягається нижченаведеною конструкцією дросель-клапана [7].

Дросель-клапан (рис. 3) виготовлений з корпусу 1, всередині якого герметично закріплена еластична розтягуюча вставка 2. Всередині корпусу влаштовані два регулюючо-запірні елементи 3_1 і 3_2 , які своїми кінцями закріплені до видовжених сторін корпусу 1. На зовнішній видовженій стороні корпусу 1 з однієї сторони влаштовані дві шестерні 5_1 і 5_2 , які зчеплені між собою. До однієї шестерні 5_1 зовні закріплена рукоятка регулювання 4, а всередині корпусу до двох шестерень 5_1 і 5_2 закріплені регулюючо-запірні елементи 3_1 і 3_2 . З протилежної видовженої сторони корпусу 2 зовні влаштовані заглушки 7, до яких закріплені протилежні кінці регулюючо-запірних елементів 3_1 і 3_2 . На еластичній розтягуючій вставці 2 з двох протилежних сторін влаштовані металеві пластини 6, еластична розтягуюча вставка 2 розміщена між регулюючо-запірними елементами 3_1 і 3_2 .

Таблиця 1

Значення Re та C_x для деяких тіл

Форма тіла	Re	C_x
Куля	$4 \cdot 10^6$ $1 \cdot 10^6$	0,09 0,13
Еліпсоїд з великою віссю, направлений перпендикулярно до потоку (відношення осей 1,35)	$> 5,5 \cdot 10^6$ $< 4,5 \cdot 10^5$	0,2 0,6
Еліпсоїд з великою віссю, направлений по потоку (відношення вісей 1,8)	$> 1 \cdot 10^5$	0,05-0,1
Плоска квадратна пластина, що розташована перпендикулярно до потоку	-	1,28
Плоска кругла пластина, що розташована перпендикулярно до потоку	-	1,12
Колоподібний циліндр з віссю, направленою перпендикулярно до потоку	$8,8 \cdot 10^4$	0,63–1,2

Еластична розтягуюча вставка 2 виконана з гуми або подібного йому за фізичними властивостями матеріалу, та вкрита антиадгезійним, хімічно інертним, абразивно стійким, з широким діапазоном температур матеріалом – тефлоном. В результаті чого термін працездатності еластичної вставки та дросель-клапана в цілому значно збільшується.

Дросель-клапан (рис. 3) працює наступним чином.

В початковому положенні, при повністю відкритому прохідному перерізі, регулюючо-запірні елементи 3_1 і 3_2 знаходяться у верхньому положенні. При необхідності створення регулюючого або запираючого процесу протікаючого робочого середовища, рукояткою регулювання 4 здійснюють оберт. Це в свою чергу призводить до обертання шестерень 5_1 і 5_2 і, відповідно, регулюючо-запірних елементів 3_1 і 3_2 . Завдяки системі зчеплених шестерень 5_1 і 5_2 , при їх обертанні відбувається одночасне зближення регулюючо-запірних елементів 3_1 і 3_2 до вісі корпусу 1, що повільно здавлюють еластичну розтягуючу вставку 2 до повного її перекриття. Видовжені сторони корпусу 1 створюють умови для компенсації необхідного об'єму здавленої частини еластичної розтягуючої вставки 2. Металева пластина 6 відіграє роль фіксатора, завдяки якій регулюючо-запірні елементи 3_1 і 3_2 , при поверненні в початкове положення, захиплюють еластичну розтягуючу вставку 2, надавлюючи на металеву пластину 6.

Звужуюча область, що утворюється в результаті надавлювання регулюючо-запірних елементів 3_1 і 3_2 на еластичну розтягуючу вставку 2, створює плавний спектр обтікання з невеликою зоною хаотичного вихрового руху за звужуючою областю, що спостерігається у каплеподібного тіла, які в аеродинаміці називають зручнообтікаемими. Утворення за тілом невеликої області вихроутворення є однією з основних причин покращення аеродинамічних властивостей протікання струмини чистого повітря та повітря разом з різного роду домішками. Протікання такого процесу в дросельному пристрої призводить до ефективної роботи вентиляційних, аспіраційних систем та системи пневмотранспорту вцілому.

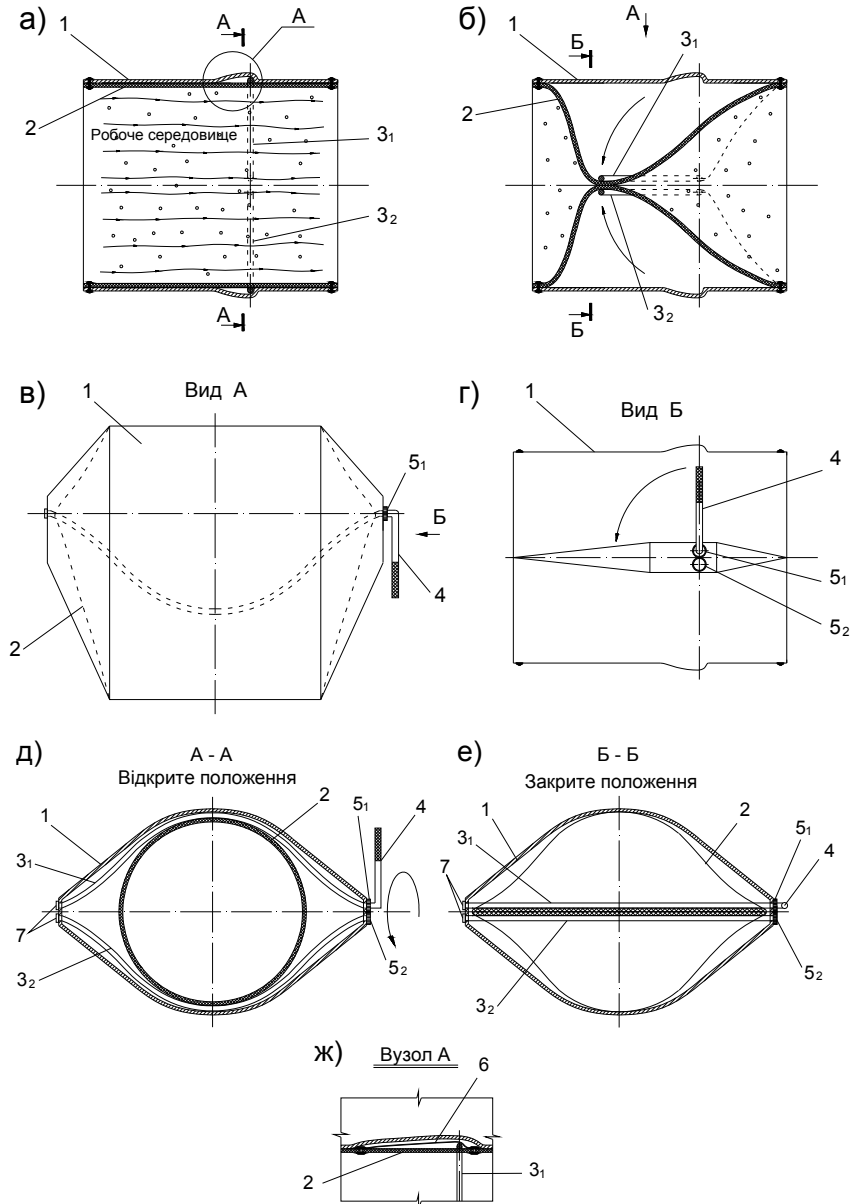


Рис. 3. Дросель-клаван з еластичною вставкою (ДКЕВ): а) – конструктивне виконання дросель-клавана (неробоче положення); б) – конструктивне виконання дросель-клавана (робоче положення); в) – вид А; г) – вид Б; д) – розріз по А-А (відкрите положення); е) – розріз по Б-Б (закрите положення); ж) – вузол А. 1 – корпус; 2 – еластична розтягуюча вставка; 3_1 і 3_2 – регулюючо-запірні елементи; 4 – рукоятка регулювання; 5_1 і 5_2 – з’єднувальні шестерні; 6 – металева пластина; 7 – заглушки

Експериментальні дослідження

Для порівняння аеродинамічних характеристик запропонованих дросель-клаванів, що мають різні конструкції, було розроблено стенд (рис. 4). Він включає каналний вентилятор типу *VKA 125 LD*, повітровід $\varnothing 125$, в якому по черзі вмонтовують дросель-клаван звичайного виконання (ДКЗВ) (рис. 1) та дросель-клаван з еластичною вставкою (ДКЕВ) (рис. 3). ДКЗВ та ДКЕВ мають градуйовані шкали, які вказують на зміну положення регулюючого органу. Температура повітря в приміщенні $t_{\text{вн}} = 20^\circ\text{C}$.

Головною задачею проведення експерименту було наступне: співставлення результатів вимірювання параметрів повітря, внаслідок почергового регулювання вентиляційної мережі дросель-клаванами двох різних конструкцій, здійснювали при однакових їх площях поперечного перерізу $F_1 = F_2$ (рис. 5). Площу поперечного перерізу F_2 зорієнтували по площі поперечного перерізу F_1 : наприклад, при обертанні регулюючого органу поз. 2 на $5^\circ - F_1 = F_2 = 11007 \text{ мм}^2$ і т.д.

Проведення експерименту на вищенаведеному стенді (рис. 4) відбувалось відповідно до методики [8].

Для вимірювання тиску та швидкості рух повітря в повітроводі були вибрані ділянки з розташуванням мірних перерізів на відстані не менше шести гідралічних діаметрів за місцем збурення потоку (за дросель-клапаном) та не менше двох гідралічних діаметрів перед ним.

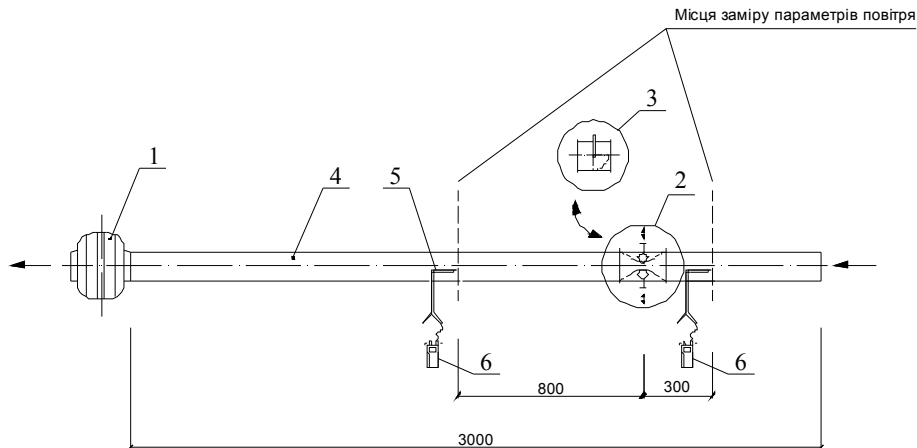


Рис. 4. Експериментальний стенд: 1 – каналний вентилятор низького тиску *VKA 125 LD*; 2 – дросель-клапан з еластичною вставкою (ДКЕВ); 3 – дросель-клапан звичайного виконання (ДКЗВ); 4 – повітродовід; 5 – трубка Піто; 6 – вимірювальний прилад *TESTO 510*

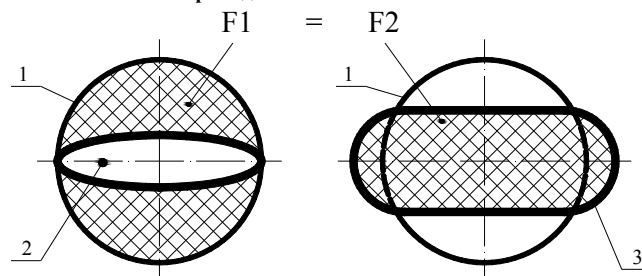


Рис. 5. Схема порівняння площ поперечних перерізів дросель-клапанів різних конструкцій під час вимірювання параметрів повітря в вентиляційній мережі: 1 – корпус; 2 – регулюючий орган – металевий диск; 3 – регулюючий орган – еластична вставка; F_1 – площа поперечного перерізу дросель-клапана звичайного виконання; F_2 – площа поперечного перерізу дросель-клапана з еластичною вставкою

Для проведення замірів параметрів повітря використовувалось наступне обладнання:

- Прилад *TESTO 510*;
- Трубка Піто ($L = 300$ мм, $D = 6$ мм) для вимірювання статичного, повного та динамічного тисків.

З метою отримання експериментальних результатів на дослідній установці, зроблено наступні кроки:

1. У повітродовід вмонтовуємо дросель-клапан звичайного виконання (ДКЗВ) і не раніше 15 хв після пуску вентилятора виконуємо заміри параметрів повітря [8], повертаючи регулюючий орган через 5 град.

2. Замінюємо конструкції дросель клапанів (рис. 4) і виконуємо аналогічну операцію п. 1, при цьому надавлюючи на еластичну вставку 2 регулюючо-запірними елементами 3_1 і 3_2 (рис. 3). Площу поперечного перерізу еластичної вставки в місці здавлювання приводимо до площі поперечного перерізу дросель-клапана звичайного виконання (рис. 5), внаслідок повертання регулюючого органу останнього через 5 град.

Візуалізація результатів аеродинамічного процесу наводиться у вигляді таблиці (табл. 2) та графіків залежності коефіцієнта місцевого опору та втрати тиску від площ поперечних перерізів ДКЗВ та ДКЕВ (рис. 6, 7). Аналіз отриманих результатів свідчить про наступне.

Внаслідок співставлення аеродинамічних характеристик дросель-клапанів $\xi - F$, мм² (рис. 6) можна виділити три зони:

- Зона I – незначна зміна площ поперечних перерізів дросель-клапанів, що відповідає положенню регулюючої лопатки ДКЗВ від 0° до 15° ($F_{(ДКЗВ)} = F_{(ДКЕВ)} = 9213$ мм²), призводить майже до однакових значень КМО: $\xi_{(ДКЗВ)} \approx \xi_{(ДКЕВ)}$;
- Зона II – зміна площ поперечних перерізів від $F_{(ДКЗВ)} = F_{(ДКЕВ)} = 9213$ мм² до $F_{(ДКЗВ)} = F_{(ДКЕВ)} = 2672$ мм² призводить до розходження КМО: $\xi_{(ДКЗВ)} > \xi_{(ДКЕВ)}$;
- Зона III – зміна площ поперечних перерізів від $F_{(ДКЗВ)} = F_{(ДКЕВ)} = 2672$ мм² до повного закриття дросель-клапанів призводить до суттєвої різниці КМО: $\xi_{(ДКЗВ)} \gg \xi_{(ДКЕВ)}$. Значна різниця спостерігається при зміні площ поперечних перерізів дросель-клапанів від $F_{(ДКЗВ)} = F_{(ДКЕВ)} = 956$ мм² до повного закриття (табл. 3).

Результати дослідження підтверджують що застосування ДКЕВ розширює регулюючі можливості аеродинамічної системи, а саме, внаслідок співставлення аеродинамічних характеристик дросель-клапанів $\Delta P - F$, мм² (рис. 7) видно, що:

- втрати тиску різні при однакових площах поперечних перерізів $\Delta P_{ДКЗВ} > \Delta P_{ДКЕВ}$;

Результати експериментальних досліджень

Дросель-клапан звичайного виконання (ДКЗВ)						Дросель-клапан з еластичною вставкою (ДКЕВ)					
Повертання лопаті (площа поперечного перерізу)	ΔP , Па	ξ	Повертання лопаті (площа поперечного перерізу)	ΔP , Па	ξ	Вертикальне звуження (площа поперечного перерізу)	ΔP , Па	ξ	Вертикальне звуження (площа поперечного перерізу)	ΔP , Па	ξ
Регулювання відсутнє $F = 11023 \text{ мм}^2$	10	0,294	45° ($F = 3982 \text{ мм}^2$)	118,3	5,82	Регулювання відсутнє $F = 12272 \text{ мм}^2$	3,67	0,106	103 мм ($F = 3982 \text{ мм}^2$)	103,7	4,71
5° ($F = 11007 \text{ мм}^2$)	7,3	0,21	50° ($F = 3293 \text{ мм}^2$)	156	10,64	40 мм ($F = 11007 \text{ мм}^2$)	6,67	0,184	107 мм ($F = 3293 \text{ мм}^2$)	121	6,72
10° ($F = 10178 \text{ мм}^2$)	11,3	0,31	55° ($F = 2672 \text{ мм}^2$)	178	15,3	52 мм ($F = 10178 \text{ мм}^2$)	10	0,27	110 мм ($F = 2672 \text{ мм}^2$)	147	9,87
15° ($F = 9213 \text{ мм}^2$)	12	0,32	60° ($F = 2124 \text{ мм}^2$)	210,7	31,6	62 мм ($F = 9213 \text{ мм}^2$)	14,3	0,37	114 мм ($F = 2124 \text{ мм}^2$)	190,7	20,43
20° ($F = 8253 \text{ мм}^2$)	23	0,66	65° ($F = 1653 \text{ мм}^2$)	228,3	48,93	71 мм ($F = 8253 \text{ мм}^2$)	16	0,44	116 мм ($F = 1653 \text{ мм}^2$)	211	35,17
25° ($F = 7318 \text{ мм}^2$)	38,3	1,14	70° ($F = 1263 \text{ мм}^2$)	245	91,88	79 мм ($F = 7318 \text{ мм}^2$)	20,33	0,58	118 мм ($F = 1263 \text{ мм}^2$)	237,3	79,1
30° ($F = 6418 \text{ мм}^2$)	53	1,75	75° ($F = 956 \text{ мм}^2$)	255,3	191,5	86 мм ($F = 6418 \text{ мм}^2$)	33	0,95	120 мм ($F = 956 \text{ мм}^2$)	253	126,5
35° ($F = 5563 \text{ мм}^2$)	67,7	2,67	80° ($F = 735 \text{ мм}^2$)	268	-	91 мм ($F = 5563 \text{ мм}^2$)	45,3	1,35	121 мм ($F = 735 \text{ мм}^2$)	264	132
40° ($F = 4733 \text{ мм}^2$)	93,7	4,13	85° ($F = 602 \text{ мм}^2$)	-	-	98 мм ($F = 4733 \text{ мм}^2$)	69,7	2,4	122 мм ($F = 602 \text{ мм}^2$)	270	-

- площа поперечного перерізу $F_{(ДКЗВ)} = F_{(ДКЕВ)} = 602 \text{ мм}^2$: втрати тиску різко зростають і унеможливають подальше проведення вимірювань при застосуванні дросель клапана звичайного виконання (ДКЗВ) (вид А);
- відсутній режим регулювання: втрати тиску $\Delta P_{ДКЗВ} > \Delta P_{ДКЕВ}$ внаслідок наявності гідроопору в конструкції ДКЗВ (металевий диск) (табл. 4).

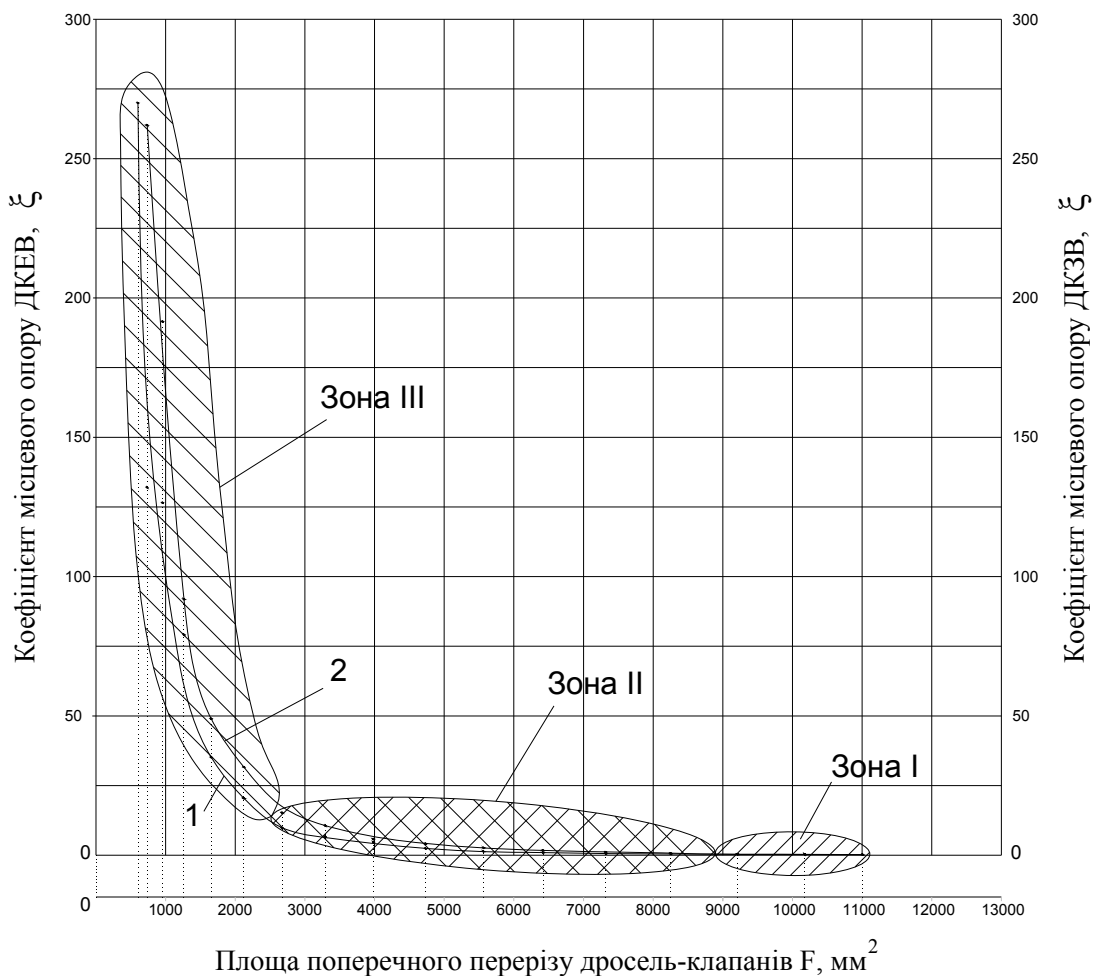


Рис. 6. Аеродинамічні характеристики дросель-клапанів: $\xi - F, \text{ мм}^2$ 1 – характеристика дросель-клапана з еластичною вставкою (ДКЕВ); 2 – характеристика дросель-клапана звичайного виконання (ДКЗВ); Зона I – зона незначного розходження КМО: $\xi_{(ДКЗВ)} \approx \xi_{(ДКЕВ)}$; Зона II – зона розходження КМО: $\xi_{(ДКЗВ)} > \xi_{(ДКЕВ)}$; Зона III – зона суттєвого розходження КМО: $\xi_{(ДКЗВ)} \gg \xi_{(ДКЕВ)}$

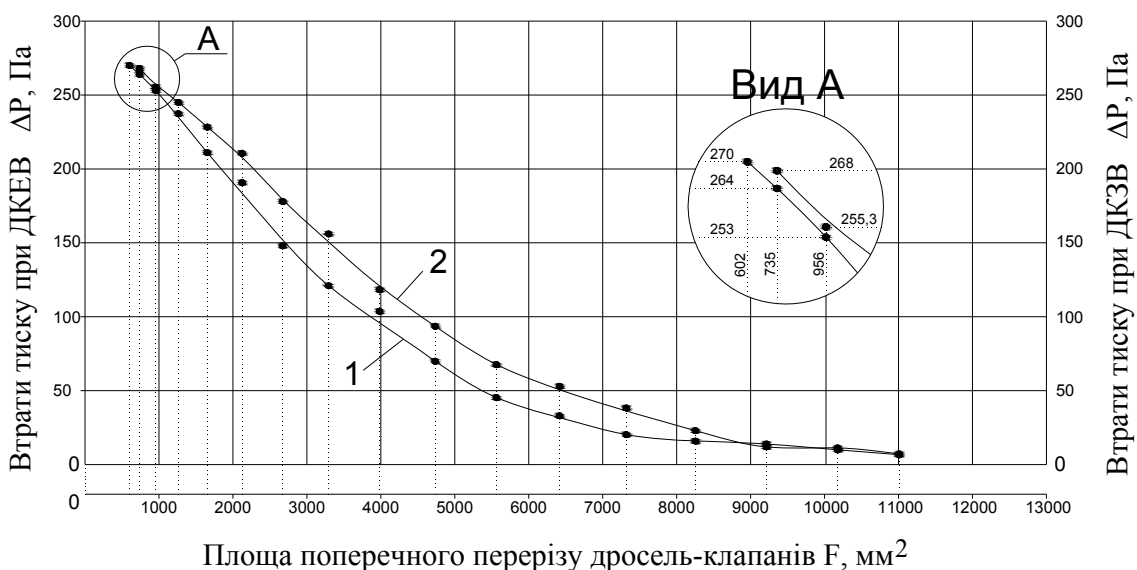


Рис. 7. Аеродинамічні характеристики дросель-клапанів: $\Delta P - F, \text{ мм}^2$ 1 – характеристика дросель-клапана з еластичною вставкою (ДКЕВ); 2 – характеристика дросель-клапана звичайного виконання (ДКЗВ)

Розбіжність КМО дросель-клапанів різних конструкцій в Зоні III

$F_{(ДКЗВ)} = F_{(ДКЕВ)},$ мм ²	Коефіцієнт місцевого опору	
	$\xi_{(ДКЗВ)}$	$\xi_{(ДКЕВ)}$
956	191,5	126,5
735	–	132
602	–	270

Таблиця 4

Значення ξ та ΔP дросель-клапанів різних конструкцій при відсутньому режимі регулювання

Площа поперечного перерізу дросель-клапанів різних конструкцій при відсутньому режимі регулювання	Коефіцієнт місцевого опору	Втрати тиску
	ξ	ΔP , Па
$F_{(ДКЕВ)} = 12272$ мм ²	0,106	3,67
$F_{(ДКЗВ)} = 11023$ мм ²	0,294	10

Примітка: вищенаведені результати досліджень ξ та ΔP при відсутньому режимі регулювання не наведені на рис. 6 та рис. 7.

Аналіз вимірювань аеродинамічних характеристик дросель-клапанів різних конструкцій виділяє зони нестабільності: при створенні дуже малої площі поперечного перерізу проходження повітря через дросель-клапан, що спостерігається при відкриванні та закриванні останніх.

Для детальнішого аналізу та синтезу роботи запропонованих регулюючих пристроїв аеродинамічних потоків необхідно дослідити виявлені зони нестабільності.

Висновки

Аналіз запропонованої конструкції дросель-клапана (ДКЕВ) з відомими конструкціями (ДКЗВ) свідчить про основні переваги:

- застосування ДКЕВ дозволяє розширити спектр регулювання аеродинамічної системи;
- відсутність регулюючого органу всередині конструкції ДКЕВ виключає наявність місцевого опору при повністю відкритому його положенні, на відміну від ДКЗВ, що є шляхом до зменшення енерговитрат;
- відсутність регулюючого органу всередині конструкції ДКЕВ дає можливість застосовувати його в системах аспірації та пневмотранспорту на відміну від ДКЗВ, в якому регулюючий орган створює перешкоду проходженню повітря разом з різного роду домішками.

Література

1. Богуславский Л. Д. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: [справ. пособие] / Богуславский Л. Д., Ливчак В. И., Титов В. П. – М.: Стройиздат, 1990. – 624 с.
2. Альтшуль А. Д. Гидравлика и аэродинамика (основы механики жидкости): [учебное пособие для вузов] / А. Д. Альтшуль, П. Г. Киселев. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Стройиздат, 1975. – 323 с.
3. Староверов И. Г. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч. II. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Староверов И. Г. – М.: Стройиздат, 1977. – 502 с.
4. Донин Л. С. Справочник по вентиляции, кондиционированию и теплоснабжению предприятий пищевой промышленности / Донин Л. С. – М.: издательство «Пищевая промышленность», 1968. – 286 с.
5. Талиев В. Н. Аэродинамика вентиляции: [учеб. пособие для вузов] / Талиев В. Н. – М.: Стройиздат, 1979. – 295 с., ил.
6. Щекин Р. В. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. Книга вторая. Вентиляция и кондиционирование воздуха / Щекин Р. В., Корневский С. М., Бем Г. Е. 1976. – 352 с.
7. Пат. 44940 UA, МПК F16K 7/00, B08B 15/00. Дросельный пристрій / Степанковський Р. В., Ратушняк Г. С. – № u200903248; заявл. 06.04.2009; опубл. 26.10.2009, Бюл. № 20. – 8 с.
8. Методы аэродинамических испытаний: ГОСТ 12.3.018-79. – М.: Изд-во стандартов, 1981. – 10 с.
9. Загузов И. С. Математические модели в аэрогидромеханике. Ч. I: [учебное пособие]. / И. С. Загузов, К. А. Поляков. – Самара: Самарский университет, 2001. – 88 с.
10. Штокман Е. А. Очистка воздуха от пыли на предприятиях пищевой промышленности. / Штокман Е. А. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Агропромиздат, 1989. – 312 с.
11. Пат. 7255322 B1, США, МПК F16K 7/04. Pinch valve system with extended life / John Tiwet, Rebecca Tiwet. – № 11/408,402; заявл. 21.04.06; опубл. 14.08.2007. – 9 с.

Надійшла 12.9.2010 р.

COMPUTER SIMULATION OF FRACTURE OF THE INTERFACE IMPLANT-BONE FOR TOTAL HIP PROSTHESIS

Важливою особливістю моделювання та виготовлення протезів стегна є мінімальна витрата матеріалів, але при цьому вони повинні забезпечити необхідний рівень міцності. В усіх випадках, аутопластичність призводить до зміни умов навантаження кісток, за яких вони б змогли адаптуватися під час заживлення та експлуатації, а також їх структури і механічних властивостей. Найважливішою умовою ефективної адаптації кістки до ендопротезів є забезпечення довгострокової стабільності імплантату, а саме надійна первинна фіксація. Було зроблено детальний аналіз напруженого стану кісткової тканини в області її контакту з ендопротезом. Ми дійшли висновку, що для всіх з'єднань найбільш небезпечним з точки зору цілісності і можливого фретингу контакту є напружено-деформований стан, за якого можливе відносно зміщення поверхонь у 2–6 мкм.

An important feature of hip prostheses is their minimum consumption of materials, while maintaining the necessary level of strength. The autoplasmic in all cases leads to changes in loading conditions bone which they adapt to new conditions, changes its structure and, consequently, mechanical properties. The most important prerequisite of effective adaptation to the bone to endoprosthesis and ensure long-term stability of the implant it is a reliable primary fixation. A detailed analysis of a strained state of the bone in the areas of its contact with the endoprosthesis was made. We concluded that for all connections the most dangerous in terms of integrity and possible contact of fretting is a stress-strain state for which the possible relative displacement surfaces in 2–6 μm.

Keywords: integrity, reliability, contact.

Ключові слова: цілісність, надійність, контакт.

THE GENERALLY PROBLEM

The total hip prosthesis on today is one of the most dynamically developing directions in an orthopaedic. His specific gravity considerably grew at different diseases of mainly hip joint in the last few years. In other, the number of diseases of hip joint grew considerably, that it is linked, foremost with the increase of life-span at elderly patients and increasing unfavourable influence of environment – harmful productions, radiation, quality of products, social terms.

Artificial joint replacement is a common treatment for joints that have been affected by trauma, artrosis, or rheumatoid arthritis. In globally, 1 million total hip replacements and 500,000 total knee replacements are performed every year. The maximum lifespan of prosthesis will be about 15 to 20 years [1]. Loosening starts with progressive micromotion, in the range of 0.2–1 mm [2], of the prosthesis relative to the surrounding bone. Once it has started, it is a continuous process that will destroy bone, and as a result, the prosthesis will start to migrate over larger distances. At present, this process of prosthetic loosening and bone destruction can only be stopped by revision of the prosthesis. Initial micromotions into interface steam-cement-bone were studied using the finite element method (FEM) in the work [3, 4]. It was found that at the interface of component of implant the relative micromotion are a few microns.

Unfortunately, this is the natural status of the requested system, as well as the mechanics of the contact calls of these movements in order to reduce tension in the structure. There are many methods for modification of materials and methods of changing the design and geometry of the endoprosthesis. However, all efforts should have such a tendency, when the cyclic micromotion optimally meets the stress-strain state interface. The article presents new data on modeling state stress in the rod-cement-bone with micromotion.

SIMULATION IS STRESS – DEFORMED STATE TO THE HIP PROSTHESIS FOR FEA

Replacement of numerical model with the continuous distributing of parameters and endless number of degrees of freedom of discrete model lies in the basis of the use of numeral methods, which has the eventual number of unknown. The quantity of unknown in numeral methods can be very large and relies on the requirements, which are pulled out to computation and computer possibilities. Among the numeral methods of most distribution acquired the method of the finished elements, which allows approaching work of model to reality. Complication of our model to prosthesis consists in simultaneous co-operation of different on materials and by form objects of model. Above all things this variety of the systems of interface: a metal is a polymer, a polymer is cement, a bone is a metal, bone – cement and etc. Simulation of work to prosthesis by FEM enables to define the terms of the permanent fixing of stem, even distributing and optimum loading in interfaces, to decrease cutting away stress on boundary implantant – bone, line of microdisplacement of prosthesis in distal direction without damage of cement mantle. By us the FE model of fixing of stem was used in femoral to the bone on the base of software product „IMPACT” (Khmelnitskiy National University).

The comfort of model consists in that that any eventual-element system in IMPACT can be decided in the dynamic raising, setting the law of change of the operating loading and maximum terms only. Component parts of the system: a stem is steel Cr-Co-Mo, cement-PMMA, bone. The last constituent consists of external and internal

part (under extremity of stem after a cement cork) (fig. 1).

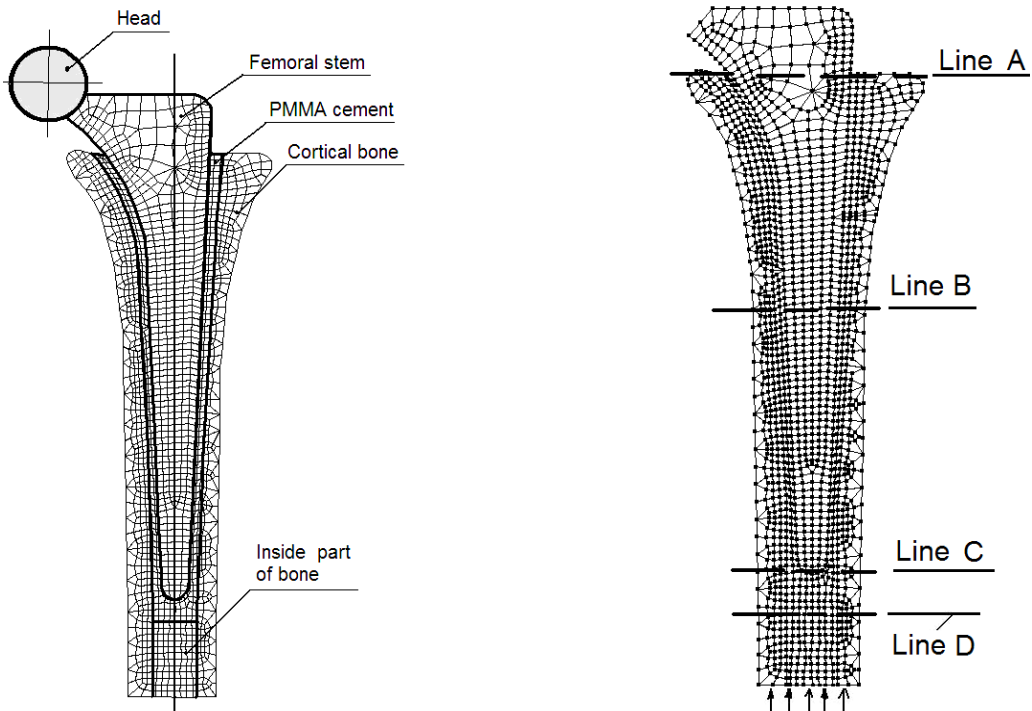


Fig. 1. FE model of the system is bone – cement, stem – cement for hip prosthesis and lines which were explored

From clinical researches there are the known most reliable places of loss of integrity of interface between a bone and stem. This place of output of stem from a bone (proximal line A fig.1,b), middle part (line B) region of clench of extremity of stem and cement (distal line of bone C), region of output of cement in cortical (internal) part of bone (line D). For every line, motion and equivalent stress at the proper line was found. Loading were modelled for a man weighing 70 kg in the post operation state and frequency 0,5 Hz. The hard jamming was set in the region of head of stem, and squeezing periodic stress was put on low part of bone. Mechanical properties descriptions of materials were definite from [3].

RESULTS

Numeric values displacements and equivalent stresses to show the level B (fig.2,3,4)

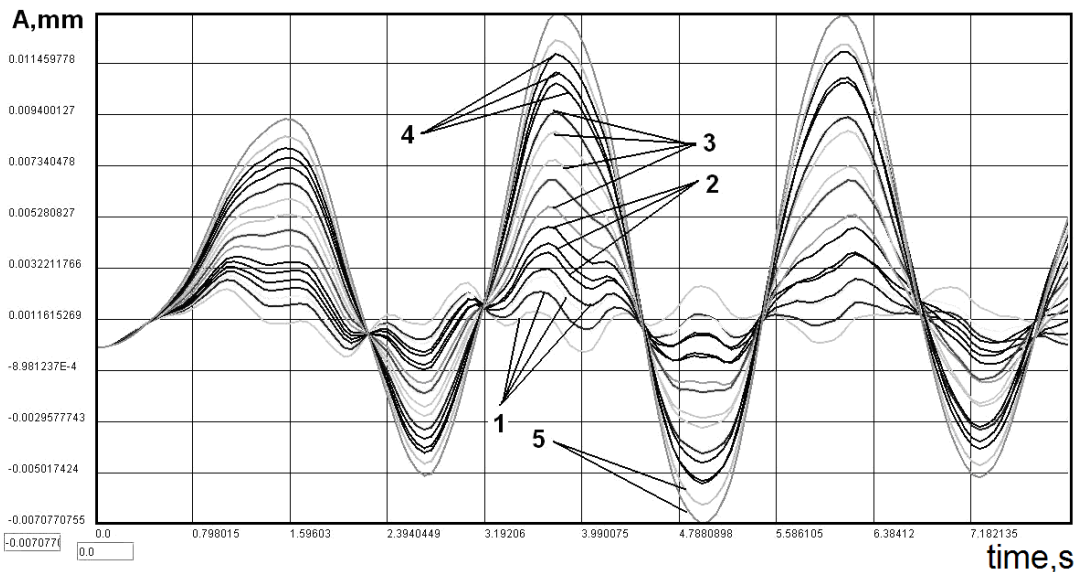


Fig. 2. This is displacement of nodes on line B on vertical direction at walking of man.
1 – microdisplacement of nodes for medial part of bone, 2,4 – cement mantle, 3 – nodes of stem, 5 – lateral part of bone

Maximal stress are reach in medial part of metallic stem, that is confirmed by the less motion of nodes of this part and make 3,0– 3,5 MPa. In medial part the stress have the greater gradient of falling of stress than in lateral. Stress in this part more even and make 0,6– 1,1 MPa. Stress, that are set in a bone cement on an order less than in a

stem and make 0,006– 0,046 MPa.

Thus equivalent stress at the line of the proper to the cut to prosthesis distributing with a large unevenness, that creates in the places of border on materials possibility of initiation of change and periodic relative motion in interfaces. For determination of possible deformation of bone subject to the condition loss of integrity or partial damage of cement mantle numerical taking into account damage of separate elements of joint was conducted.

On fig. 5 the shown result of simulation of scenario-damage of cement mantle that is begun with the region of top collar which naturally relaxes due to a bone cavity. Damage of interface between a stem and bone will lead to deformation bone in radial direction. Clearly, that cyclic expansion of bone will be considerable only in the case of integrity of proximal part of joint.

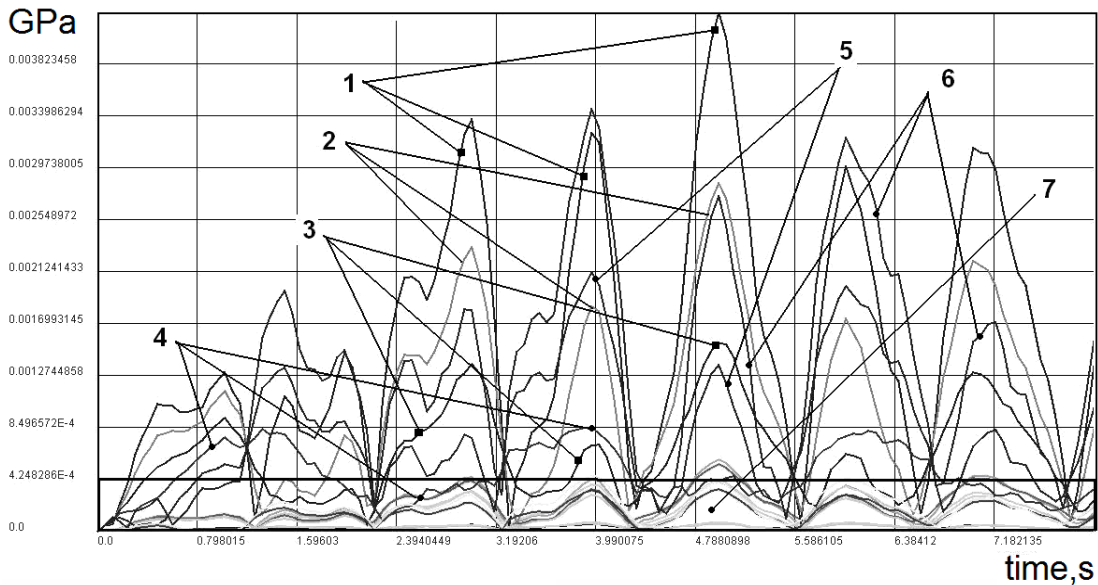


Fig. 3. The evolution of stress intensity by level B. The point 1, 2, 3, – elements of the steam, located to the left of the axis of symmetry. 4 – central element of the steam, 5,6 – tension steam of the right elements, 7 – region of stresses for bone and cement

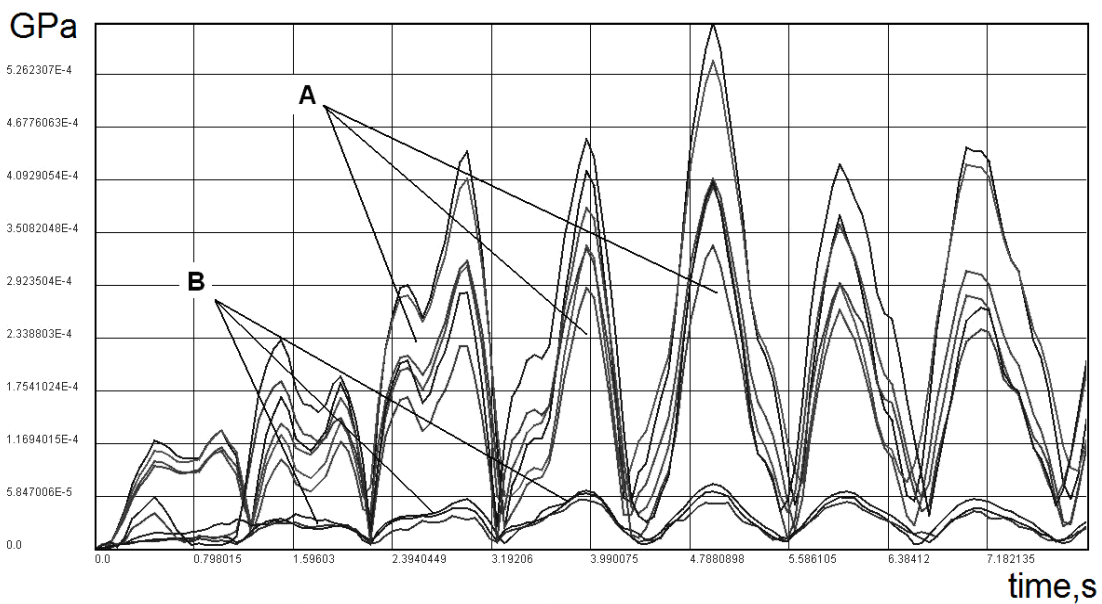


Fig. 4. Stress intensity ofor region 7 on fig.3.
A – level of stress bone, B – the level of stress in the cement mantle

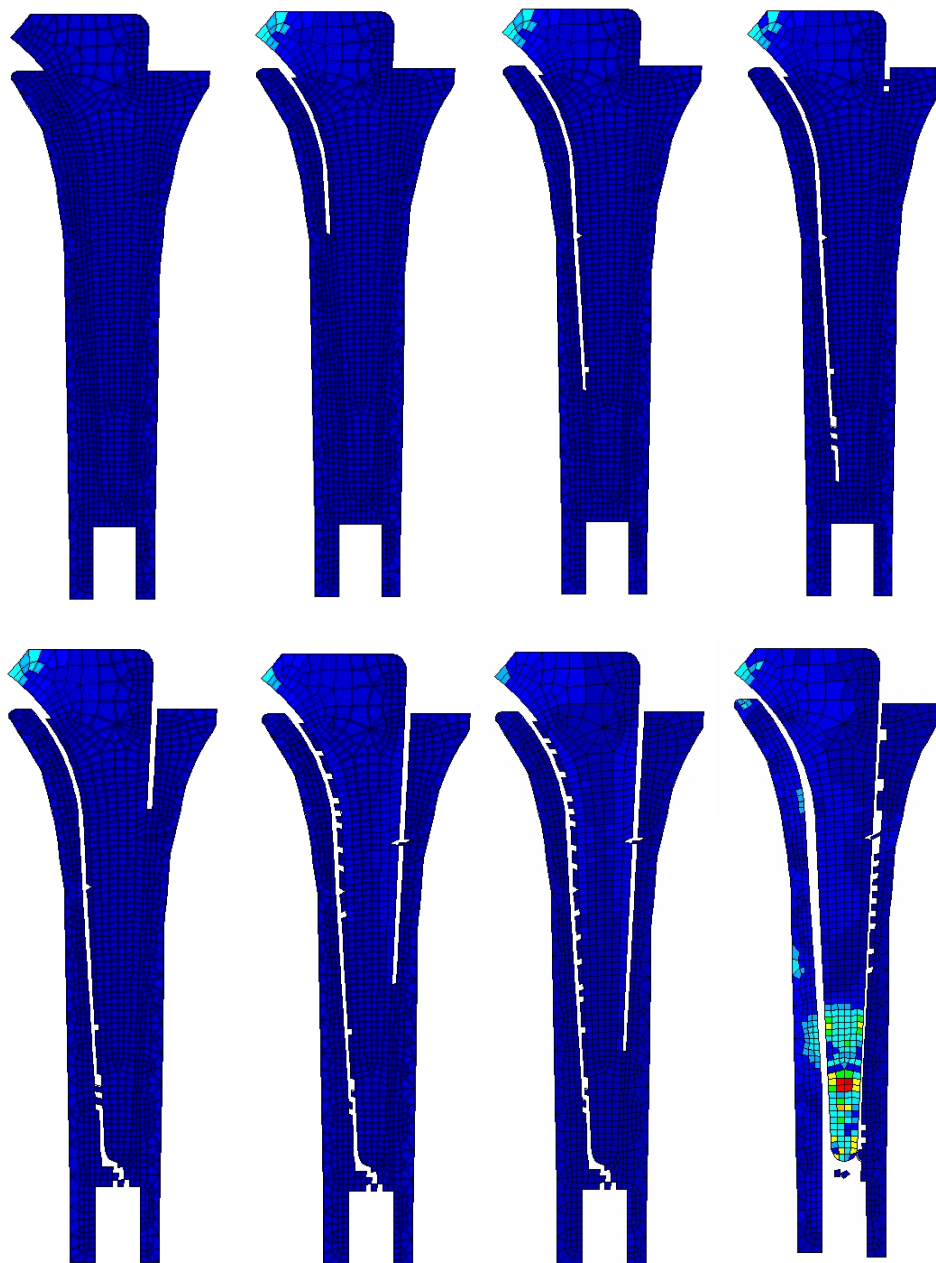


Fig. 5 Scenario loss of integrity of the interface components prosthesis depending on fatigue phenomena

Bibliography

1. Hench L. L.: Biomaterials: a forecast for the future // *Biomaterials* 19. – 1998: P. 1419.
2. Valstar Edward R., Nelissen Rob G. H. H., Reiber Johan H. C., Rozing Piet M. The use of Roentgen stereophotogrammetry to study micromotion of orthopedic implants // *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 56. – 2002: P. 376 – 389
3. Shalapko J., Kostogryz S., Paraska G., Zagurskyj A. Modeling for interface mobilization of elements of total hip prosthesis. IX międz. Seminarium naukowe “Mechanika w medycynie”. – Rzeszow– Boguchwala, 2008. – P. 227– 236.
4. Мікропереміщення та цілісність елементів ендопротезування кульшового суглобу / Ю. І. Шалапко, В. Лабяк, Ю. Б. Міхайловський, Б. Васильчшин // *Вісник Хмельницького національного університету* – 2006. – Т. 2, № 2 – С. 171 – 179

Надійшла 21.9.2010 р.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИЧНОЇ ЖОРСТКОСТІ З'ЄДНУВАЛЬНИХ МУФТ З ОСЬОВОЮ УСТАНОВКОЮ ПРЯМИХ КАНАТІВ

На основі експериментів побудовані та проаналізовані графіки залежностей кута закручування канатних муфт від обертального моменту. Досліди виконувались при різних відстанях між напівмуфтами. На основі побудованих графіків визначена енергомідкість канатних муфт.

On the basis of experiments schedules of dependences of a corner of a twisting rope muffs from the rotating moment are constructed and analysed. Experiences were carried out at different distances between halfmuffs. On the basis of the constructed schedules it is defined power consumption rope muffs.

Ключові слова: муфта, канат, жорсткість, енергомідкість.

Вступ

Зв'язок роботи з основними науковими напрямками. Робота відноситься до області машинознавства і деталей машин. Виконання приводів машин з окремих агрегатів та складальних одиниць вимагає застосування з'єднувальних муфт для сполучення їх валів [1, 2]. Найчастіше в таких умовах застосовують компенсуючі, або пружно-компенсуючі муфти [3, 4].

Актуальність, практична значимість, мета і наукова новизна роботи

Розвиток пружно-компенсуючих муфт, у відповідності до закону прогресивного розвитку техніки відбувається в напрямку підвищення довговічності, демпфуючої та компенсуючої здатності і ремонтпридатності. Муфти з канатними пружними елементами, за рахунок своїх переваг, здатні забезпечити ріст вказаних характеристик. Канатні муфти характеризуються високою навантажувальною здатністю та довговічністю за рахунок високої міцності канатів, високою компенсуючою здатністю за рахунок високої гнучкості канатів, високою демпфуючою здатністю за рахунок конструкційного демпфування канатів [5-9]. До переваг відноситься також технологічність пружного елемента, оскільки канатне виробництво знаходиться у світі на високому рівні, зменшення періодичності та спрощення нагляду і мащення, оскільки мастилом просочене осердя каната. Крім цього, канатні пружні елементи можуть бути виготовлені з неліквідів канатних заводів та утилізовані після відбракування з вантажопідійомних машин за рахунок застосування в муфтах.

Системних робіт в галузі муфт з канатними пружними елементами на сьогодні не створено, а їх характеристики не досліджені, що стримує впровадження. Дослідження характеристик канатних муфт в умовах сучасного росту вимог до приводів машин з огляду на їх переваги є актуальним і практично значимим.

Однією з основних характеристик муфти, яка визначає динаміку приводу, є крутильна жорсткість. Дослідження жорсткості муфт з осьовою паралельною установкою канатів прямолінійної форми становить головну мету даної роботи. Її наукова новизна характеризується вперше виконаним експериментальним дослідженням статичної жорсткості таких муфт.

Аналіз стану проблеми і постановка задачі дослідження

Жорсткість муфт з канатними пружними елементами обумовлена жорсткістю канатів використаних в якості пружних елементів. В муфті з осьовою паралельною установкою канатів прямолінійної форми (рис. 1) відстань між напівмуфтами є одного порядку з діаметром каната, кінці якого жорстко закріплені. Канати при роботі муфти працюють на згин, кручення і розтягнення. На початковому етапі роботи муфти, коли канати незіжнуті через відсутність наташіння, має місце їх малий вільний згин, який змінюється згином невеликим при їх розтягненні і закручуванні. При цьому обертання муфти може відбуватися в напрямку закручування або розкручування канатів.

Єдиної методики визначення згинальної жорсткості сталевих канатів до теперішнього часу не створено. Це пояснюється тим, що жорсткість канатів обумовлена пружною жорсткістю, триборжорсткістю, жорсткістю від опору пластичним деформаціям в точках контакту дротин, причому, загальна картина цих складових дуже складна і мало досліджена. Так, теоретичні дослідження пружної жорсткості канатів виконані професорами М. Ф. Глушко [8], І. М. Чаюном [9], С. Т. Сергеевим та ін., а експериментальні дослідження згинальної жорсткості канатів – професорами Б. С. Ковальським, В. А. Малиновським [5–7] та ін. В той же час, при проведенні вказаних експериментів, умови навантаження канатів відрізнялися від таких умов при роботі їх у муфтах [10], що не дозволяє застосовувати отримані по канатах результати до муфт. Тому, найбільш повно жорсткість канатних муфт може бути оцінена за рахунок виконання експериментальних досліджень, які становлять головну задачу даної роботи.

Розв'язання поставленої задачі

Експерименти виконували над муфтою виготовленою за рис. 1 із діаметром розташування канатів $D = 59$ мм, при відстанях між напівмуфтами $l = 30, 20, 15, 10$ і 6 мм.

В якості пружних елементів були використані нові канати хрестової правої звивки типу ТК конструкції $6 \times 19 + \text{о.с.}$ ГОСТ 3067. Діаметр кожного з чотирьох канатів ($z = 4$) $d_k = 5,2$ мм, діаметр дротів $\delta = 0,34$ мм, розривне зусилля не менше $F_0 = 15200$ Н, площа перерізу всіх дротів в канаті $S = 12,15$ мм².

Канати закріплені в осьових отворах діаметром 6,8 мм фланців напівмуфт болтами М8, що встановлені в їх радіальні різьбові отвори. Дослідження виконували за рахунок навантаження муфти на спеціальному дослідному стенді обертальним моментом і замірів кута повороту однієї напівмуфти φ при жорстко закріпленій іншій напівмуфті. Закручування муфти виконували в напрямку закручування (рис. 2, а, б) та розкручування (рис. 2, в, г) канатів.

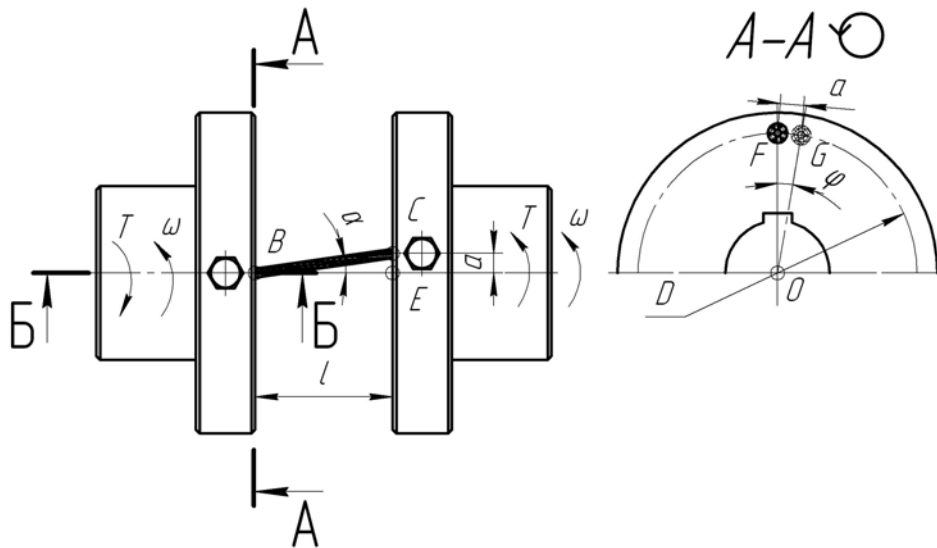


Рис. 1. Схема муфти з осью паралельною установкою канатів прямолінійної форми

На рис. 3 і рис. 4 представлені графіки залежності кута повороту φ від обертального моменту T для відстаней між напівмуфтами, відповідно $l = 30, 20, 15, 10$ і 6 мм. На вказаних рисунках криві побудовані суцільною лінією у випадку, коли напрямки закручування муфти і звивки сталок у канатах співпадають, а штриховою лінією – коли ці напрямки протилежні. Для порівняння осью ліній нанесені графіки зміни кута повороту отримані з розрахунків жорсткості муфти [14] в припущенні, заснованому на дослідях П.П. Нестерова, С.Т. Сергеева та ін [7, 8], що жорсткість кожного каната рівна сумарній жорсткості ΣEI всіх його дротів.

Як видно з графіків, жорсткість муфти при обертанні в напрямку закручування канатів (далі – додатній напрямку) більша, ніж в напрямку розкручування канатів (далі – від’ємний напрямку). Пояснити це явище можна наявністю триборжорсткості від тертя між собою дротів і сталок. Очевидно, що при обертанні в додатньому напрямку, муфта буде характеризуватися більшою демпфуючою здатністю, оскільки при цьому між дротами і сталками буде найбільше розсіяння енергії коливань за рахунок тертя. Вказані обставини дозволяють рекомендувати такі муфти для установки в приводах нереверсивних, або які реверсуються під малим навантаженням чи без нього, наприклад у приводах подачі стругальних, довбальних, повздовжньо- та карусельно-фрезерних верстатів, елеваторів, рольгангів та ін.

Пологе зростання кривої жорсткості у нижній частині характеристики муфт при відстанях між напівмуфтами $l = (5 \dots 2,5)d_k$ (рис. 3) обумовлене поступовим натягненням незімкнутого каната на початковому етапі навантаження муфти до щільного зчеплення дротів між собою і появи триборжорсткості, що відповідає верхній частині характеристик. За малих відстаней ($l = (2 \dots 1)d_k$) (рис. 4) між напівмуфтами жорсткість зростає швидше, оскільки за рахунок малої довжини зімкнення каната через зчеплення дротів виникає раніше, що призводить до швидкого росту триборжорсткості. При аналізі верхньої частини характеристик муфт можна побачити, що жорсткість з ростом навантаження стабілізується, що обумовлено зімкненням каната і жорстким зчепленням дротів і сталок між собою при рості навантаження.

Невелика різниця між сумарною жорсткістю дротів ΣEI та жорсткістю муфти на рис. 3 при $l = (5 \dots 2,5)d_k$ в нижній частині характеристик пояснюється тим, що канати в таких умовах при навантаженні муфти зберігали пряму вісь, деформуючись тільки в місцях закріплення у напівмуфтах.

При невеликих відстанях між напівмуфтами (рис. 4) мало місце викривлення осі каната, що супроводжувалося депланаціями поперечних перетинів каната [8] за рахунок відносних зміщень його елементів, внаслідок чого виникло зменшення їх пружної згинальної жорсткості та, як наслідок, крутильної жорсткості муфти.

При максимальному куті закручування муфти кожен з канатів розтягується силою F_n :

$$F_n = \frac{T(4l^2 + D^2 \sin^2 \varphi)}{zD^2 \sin \varphi} \quad (2)$$

При цьому запас міцності каната на розрив:

$$z_p = \frac{F_0}{F_n} \quad (3)$$

Та напруження розтягнення в дротах:

$$\sigma_p = \frac{F_H}{S}. \quad (4)$$

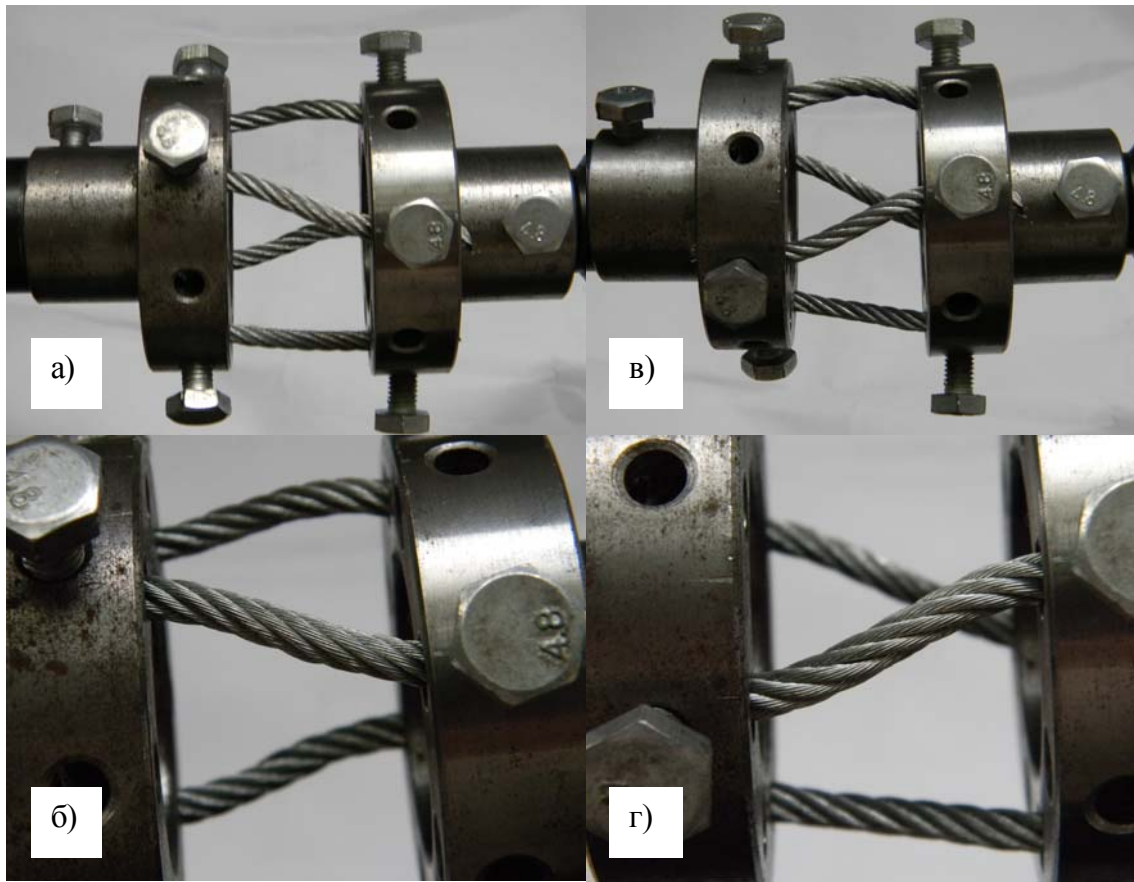


Рис. 2. Муфти навантажені обертальним моментом в напрямку закручування (а, б), та розкручування (в, г) канатів

Осьова сила, що діє на напівмуфти (з розгляду трикутників *BCE* і *OFG* на рис. 1:

$$F_o = \frac{4Tl}{D^2 \sin \varphi}. \quad (1)$$

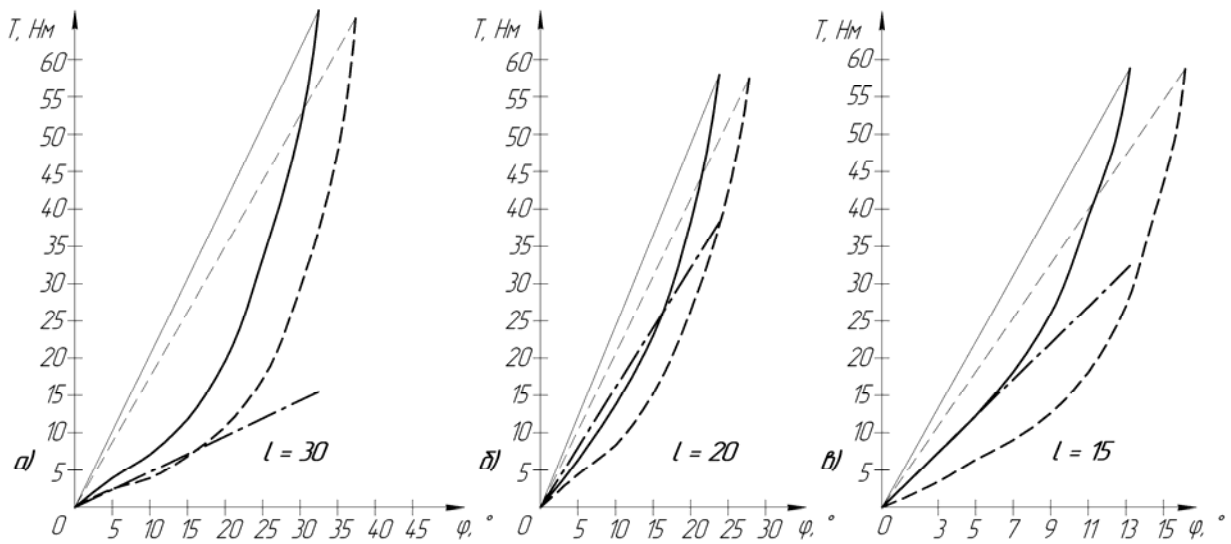


Рис. 3. Графік зміни кута закручування муфти φ від обертального моменту T для відстаней між напівмуфтами $l = 30$ мм (а), $l = 20$ мм (б) та $l = 15$ мм (в)

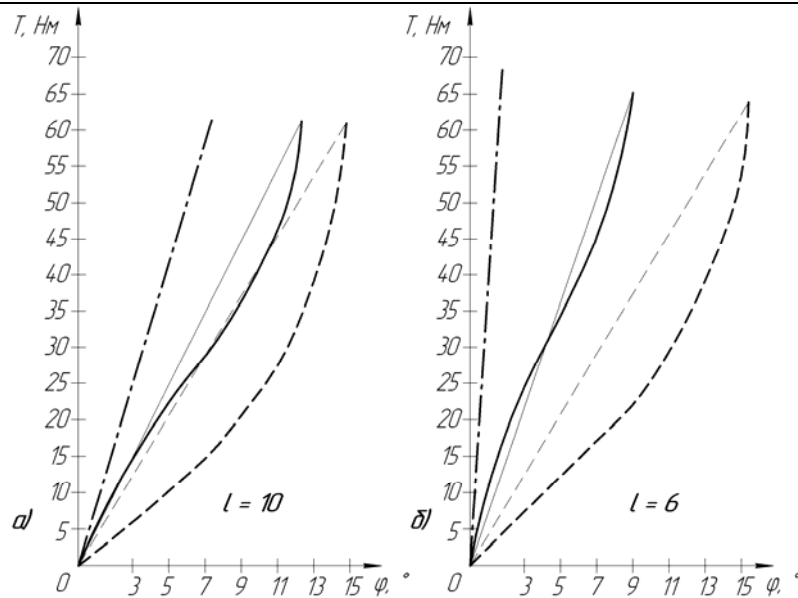


Рис. 4. Графік зміни кута закручування муфти φ від обертового моменту T для відстаней між напівмуфтами $l = 10$ мм (а) та $l = 6$ мм (б)

Результати розрахунків за формулами (2) і (3) по даних графіків рис. 3 і 4 наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Сили натягіння, запаси міцності та напруження в канатах муфт

Відстань l , мм	Напрямок обертання	Максимальна сила натягіння F_n , Н	Запас міцності z_p	Максимальна осьова сила на напівмуфтах F_o , Н	Напруження σ_p , МПа
30	+	1364	11,14	2085	112,26
	-	1257	12,09	3240	103,46
20	+	1114	13,65	3277	91,69
	-	1050	14,48	2839	86,42
15	+	1329	11,43	4444	109,38
	-	1193	12,74	3689	98,19
10	+	1139	13,34	3238	93,74
	-	1072	14,18	2708	88,23
6	+	1087	13,98	2732	89,46
	-	1134	13,40	1636	93,33

Кут повороту напівмуфт в припущенні, що замість канатів встановлені суцільні стрижні [4]:

$$\varphi = \frac{Tl^3}{3EJ_z D^2}. \quad (5)$$

Для натягнутих канатів добуток EI застосовувати не можна [7– 9], тому в формулу (3) підставимо зведену жорсткість каната G :

$$\varphi = \frac{Tl^3}{3GzD^2}, \quad (6)$$

або

$$G = \frac{Tl^3}{3\varphi z D^2}. \quad (7)$$

Жорсткість каната в умовах малого згину за формулою проф. Б.С. Ковальського (без урахування трибоскладової) [7]:

$$B_1 = k^2 d_k^2 F_n, \quad (8)$$

де d – діаметр каната;

F_n – сила натягіння каната;

k – коефіцієнт (для канатів ТК 6×19, $k = 1,7 \dots 1,9$).

Жорсткість каната як щільно звитої пружини за формулою проф. М.Ф. Глушко [8]:

$$B_2 = a_1 \delta^4 (a_2 + a_3 \sigma_p), \quad (9)$$

де δ – діаметр дротів;

$a_{1,2,3}$ – розрахункові коефіцієнти, що залежать від конструкції канатів (для канатів ТК 6×19

$a_1 = 12600, a_2 = 1, a_3 = 0,104$).

Результати розрахунків за формулами (7)... (9) на основі експериментальних даних графіків рис. 3 і 4 та табл. 1 наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Жорсткість канатів в муфтах

Відстань l , мм	Напрямок обертання	Жорсткість при максимальному навантаженні, Нмм ²		
		Зведена G визначена експериментально	B_1 за Б.С. Ковальським	B_2 за М.Ф. Глушко
30	+	75783	106591	21296492
	-	65065	98229	19720471
20	+	26520	87054	17739937
	-	22731	82053	16817089
15	+	20655	103856	20837695
	-	17071	93228	17194392
10	+	6694	89008	18098920
	-	5578	83772	17134045
6	+	2041	84944	17349434
	-	1212	88617	18027124
Сумарна жорсткість дротів каната $\sum EI = E \times 6 \times 19 \frac{\pi \delta^4}{64} = 15704 \text{ Нмм}^2$				

Результати розрахунку жорсткості канатів, наведені в табл. 2, підтверджують відмінність умов роботи канатів в муфтах від інших випадків їх застосування і ілюструють явище депланатії їх поперечних перетинів при значному викривленні осі при згині.

У випадку наближеної лінійної апроксимації отриманих експериментальних кривих жорсткості (тонкі прямі лінії на рис. 3 та рис. 4) і застосування формули проф. Б.С. Ковальського (8) можна уточнити значення коефіцієнта k :

$$k = \sqrt{\frac{B_1}{d_k^2 F_H}} \quad (10)$$

та середню жорсткість муфти:

$$C = \frac{57,3T}{\phi} \quad (11)$$

Результати розрахунків за формулами (10) та (11) зведені в табл. 3.

Як відомо [3, 4, 11, 12], енергоємність муфти – це максимальна кількість потенційної енергії, яку вона може акумулювати при максимальній деформації. Цей показник можна використовувати для якісного аналізу муфт [4] і визначити за отриманими графіками зміни жорсткості муфт:

$$A = \frac{Sxy}{57,3} \text{ Нм/рад}, \quad (11)$$

де S – площа, що обмежена кривою навантаження, віссю абсцис та віссю ординат, мм²;
 $x = 0,5$ (рис. 2 а, б) та $0,2$ град/мм (рис 3, в та рис. 4) – масштаб по осі ϕ ;
 $y = 0,5$ Нм/мм – масштаб по осі T .

Площі S визначали за рахунок вимірювання при побудові графіків в системі КОМПАС-3D і наближено перевіряли за рахунок апроксимації криволінійної фігури трикутником. Результати розрахунків енергоємності зведені в табл. 4.

Таблиця 3

Середня жорсткість муфт та значення коефіцієнта k

Відстань l , мм (відносна відстань l/d_k)	30 (5,76)		20 (3,85)		15 (2,88)		10 (1,92)		6 (1,15)	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
Середня жорсткість муфт C , Нм/рад	117,3	110,7	138,5	118,7	255,6	211,3	279,6	233	394,7	234,4
Коефіцієнт k	1,24	1,19	0,81	0,78	0,66	0,63	0,40	0,38	0,23	0,17

Дані табл. 4 підтверджують, що енергоємність залежить від об'єму пружних елементів, але також можна констатувати, що для канатних муфт з малими відстанями між напівмуфтами енергоємність значною мірою обумовлена триборжорсткістю канатів, оскільки об'єм пружних елементів тут найменший, а енергоємність має значну величину. Слід також відзначити, що досліджувані муфти характеризуються значною енергоємністю. Так, наприклад, муфта з гумовими брусками, що досліджена в роботі [15], при приблизно вдвічі більших розмірах має енергоємність $A = 12,4$ Нм/рад, порівнювану з енергоємністю

досліджуваних муфт, що підтверджує перспективність застосування канатів в пружних муфтах і дозволяє виконувати такі муфти більш компактними.

Таблиця 4

Енергоємність досліджуваних муфт

Відстань l , мм	Напрямок обертання	Площа S , мм ²	Енергоємність A , Нм/рад
30	+	2564	11,19
	-	2383	10,39
20	+	2178	9,50
	-	1975	8,60
15	+	2726	4,75
	-	2566	4,48
10	+	3266	5,70
	-	2832	4,94
6	+	2876	5,02
	-	3195	5,57

Висновки

На основі виконаних досліджень можна констатувати наступне:

1. Статичні характеристики муфт з осью паралельною установкою канатів мають нелінійний характер.

2. Жорсткість муфти при обертанні її в напрямку закручування канатів більша ніж при обертанні в напрямку їх розкручування.

3. Муфти з усіма канатами однакового напрямку звивки слід встановлювати в приводах нереверсивних або які реверсуються під малим навантаженням, щоб запобігти розкручуванню канатів. В інших випадках треба встановлювати канати різного напрямку звивки в шаховому порядку.

4. При відстанях між напівмуфтами $(5...2,5)d_k$ характеристика полога, канати мають пряму вісь, а на жорсткість муфти на початковому етапі навантаження основний вплив має сумарна згинальна жорсткість дротів каната ΣEI .

5. При відстанях між напівмуфтами $(2...1)d_k$ характеристика муфти більш крута ніж при великих відстанях, має місце викривлення осі канатів, яке супроводжується депланацією їх поперечних перетинів, і жорсткість муфти при цьому набагато менше від сумарної жорсткості всіх дротів.

6. Муфти з канатами одного напрямку звивки слід встановлювати в нереверсивних приводах або, які реверсуються без навантаження, в інших випадках треба встановлювати муфти з канатами різного напрямку звивки.

7. Канатні муфти мають значну енергоємність, що робить їх більш компактними ніж інші типи муфт.

Напрямки подальших досліджень:

1. Вплив радіальних, осьових та кутових зміщень на жорсткість муфти.
2. Жорсткість закріплення канатів у напівмуфтах і її вплив на характеристику муфти.
3. Жорсткість муфт при застосуванні канатів відбракованих з підйомно-транспортних машин (обтягнутих і частково зношених).

4. Вплив умов експлуатації та мащення канатів на жорсткість муфт.

5. Динамічна жорсткість муфт.

6. Жорсткість муфт з канатами різного напрямку звивки.

7. Довговічність муфт залежно від умов експлуатації.

8. Демпфуюча здатність муфт.

9. Допустима частота обертання муфт.

10. Коефіцієнт корисної дії муфт.

11. Напружений стан, статична та втомна міцність фланців напівмуфт в умовах змінних режимів роботи привода.

Література

1. Техническая механика и детали машин / [Каценеленбоген И. В., Попов А. А., Столбин Г. Б., Яковлев Н. А.]; Под ред. Г. Б. Столбина. – М.: Машгиз, 1949. – 675 с.
2. Павлов Я. М. Детали машин./ Павлов Я. М. – М.: Машиностроение, 1969. – 448 с.
3. Решетов Д. Н. Детали машин. / Решетов Д. Н. – М.: Машиностроение, 1989. – 496 с.
4. Малащенко В. О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків / Малащенко В. О. – Львів: Вид-во національного університету «Львівська політехніка», 2009. – 208 с.
5. Ковальський Б. С. Внутреннее трение при колебаниях каната / Б. С. Ковальський, А. И. Жиряков // Стальные канаты. – 1968. – Вып. 7. – С. 84–93.
6. Малиновский В. А. Изгибная жесткость и потери на внутреннее трение в стальных канатах / В. А.

Малиновский // Вестник машиностроения. – 1984. – № 6. – С. 36-40.

7. Малиновский В. А. Стальные канаты. Часть 1: Некоторые вопросы технологии, расчета и проектирования / Малиновский В. А. – Одесса: Астропринт, 2001. – 188 с.

8. Глушко М. Ф. Стальные подъемные канаты / Глушко М. Ф. – К.: Техніка, 1966. – 327 с.

9. Чаюн И. М. Несущая способность подъемных канатов и лент / Чаюн И. М. – Одесса: Астропринт, 2003. – 236 с.

10. Проценко В. О. Напряжки дослідження сталевих канатів для оцінки характеристик пружно-компенсуючих канатних муфт / В. О. Проценко // Перспективные научные исследования '2010: материалы 6-й Междунар. науч. – практ. конф. – София: «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2010. – Т. 14. – С. 10– 14.

11. Поляков В. С. Исследование брусковой муфты в условиях статического нагружения / В. С. Поляков, Л. С. Лефтеров // Труды ленинградского ордена Ленина политехнического института имени М. И. Калинина. – 1965. – № 254. – С. 19– 27.

12. Прикладная механика. Лабораторный практикум / [В. Ф. Мальцев, И. Ф. Сорока, В. И. Крупский и др.]. – К. – Одесса: Вища школа, 1988. – 176 с.

Надійшла 21.9.2010 р.

УДК 621.81:(621.891+620.194)

В.С. КУРСКОЙ І. М. ПАСТУХ

Хмельницький національний університет

РЕЗУЛЬТУЮЧА СИЛА ПРУЖНОГО КОНТАКТУ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ ПОВЕРХНІ

Визначена сила пружного контакту двох мікроелементів поверхні, виходячи з моделі еліптичних параболоїдів, кутові параметри просторової орієнтації вектора сили.

Estimated force resilient contact of two microelements of surface, coming the model of elliptic paraboloids from, angular parameters orientations spatial vector of force.

Ключові слова: пружний контакт, рівнодійна сила.

Вступ та постановка задачі

Однією з найсуттєвіших складових розв'язку задачі пружного контакту двох мікроелементів на базі моделі еліптичних параболоїдів [1–3] є визначення результуючої сили пружної взаємодії, що дозволить в майбутньому не лише аналізувати характеристики міцності та жорсткості реального контакту, але й прогнозувати його поведінку в умовах динамічного навантаження. Аналітичні залежності, котрі в повній мірі характеризують вектор рівнодійної контактних напружень як за модулем, так і за орієнтацією, в подальшому можуть бути використаними для вирішення ймовірнісної задачі розрахунку сукупної сили пружного контакту в нормальному та тангенціальному напрямках. В свою чергу, наявність подібних матеріалів відкриває шлях до аналізу зміни тангенційної жорсткості стику, тобто до прогнозування працездатності фретинг-контакту аж до стану його розкриття.

Задача визначення модуля сили пружного контакту

Для спрощення розв'язку задачі [4], не порушуючи умов контакту, доцільно розташувати центр параболоїда матриці так, щоб він співпадав з початком координат, а його головні осі співпадали з осями координат. Тоді рівняння параболоїда матриці матиме канонічний вигляд, в той час як параболоїд пуансона буде не лише повернуто відносно системи координат на певний кут α_p , але й зміщено в основній системі координат з відповідними поправками до напрямків прикладення сил.

Розв'язок задачі контактування починається з перевірки наявності перетину конкретної пари мікроелементів профілю, яка виконується виходячи з міркувань про цілком визначені їх геометричні характеристики – висота та величина ексцентриситету. Якщо на заданому інтервалі координат Z , які відповідають висотам параболоїдів, система рівнянь, що описують ці параболоїди, не має спільного розв'язку, то точок перетину немає. У випадку наявності точок перетину наступним кроком буде визначення лінії перетину фігур.

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

$$\begin{cases} z = \frac{(x)^2}{a} + \frac{(y)^2}{b} \\ z = -\frac{(x_\alpha - \Delta x)^2}{c} - \frac{(y_\alpha - \Delta y)^2}{d} + \Delta z \end{cases}, \quad (1)$$

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

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

$x_\alpha = x \cdot \cos \alpha_p - y \cdot \sin \alpha_p$ – рівняння координат x пуансона в новій системі з урахуванням кута повороту пуансона,

$y_\alpha = x \cdot \sin \alpha_p + y \cdot \cos \alpha_p$ – рівняння координат y пуансона в новій системі з урахуванням кута повороту пуансона.

Схема контакту та елементів тіл, котрі контактують, показана на рис. 1 і 2.

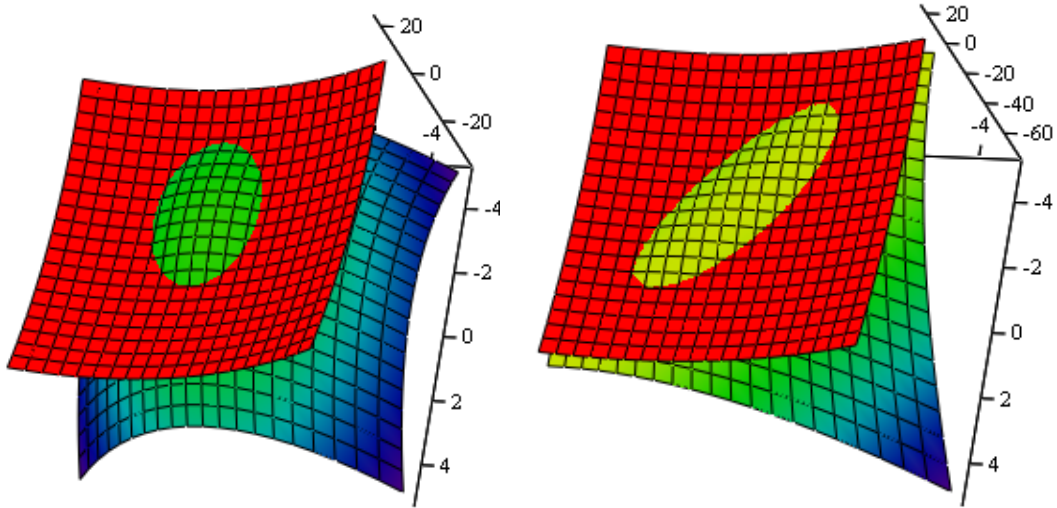


Рис. 1. Загальний вигляд тривимірного представлення контакту на основі моделі еліптичного параболоїда для відносного кута повороту 0° та 45° відповідно

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

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

де константи:

$$A = \frac{1}{a} - \frac{1}{d} - \frac{\cos(\alpha_p)^2}{c} + \frac{\cos(\alpha_p)^2}{d}, \quad (3)$$

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

$$C = \frac{1}{b} - \frac{1}{c} + \frac{\cos(\alpha_p)^2}{c} - \frac{\cos(\alpha_p)^2}{d}, \quad (5)$$

$$D = -\frac{2 \cdot \Delta x \cdot \sin(\alpha_p)}{c} - \frac{2 \cdot \Delta y \cdot \cos(\alpha_p)}{d}, \quad (6)$$

$$G = \frac{2 \cdot \cos(\alpha_p) \cdot \sin(\alpha_p)}{c} + \frac{2 \cdot \cos(\alpha_p) \cdot \sin(\alpha_p)}{d}, \quad (7)$$

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

Тоді:

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

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

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

В загальному вигляді розв'язок отриманого квадратного тричлена має вигляд:

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

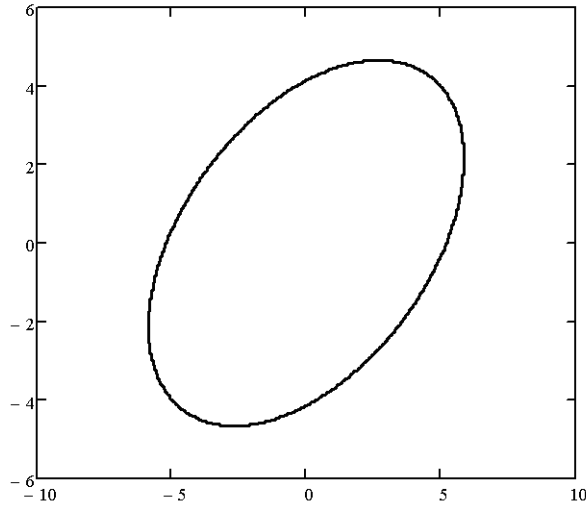


Рис. 2. Основа еліптичного параболоїда в системі координат XOY , повернутого на кут α_p

З рівняння (11) визначаються граничні значення абсцис перетину $[x_{\min}; x_{\max}]$.

Аналогічно визначається діапазон ординат:

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

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

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

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

З рівняння (14) визначаються граничні значення ординат перетину $[y_{\min}; y_{\max}]$

Загальний об'єм зони перетину:

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

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

Тоді з урахуванням визначених меж інтегрування формула для об'єму зони взаємного впровадження буде виглядати наступним чином:

$$V_{\Delta} = \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \left(\frac{(x \cdot \cos(\alpha) - y \cdot \sin(\alpha) - \Delta x)^2}{c} + \frac{(x \cdot \sin(\alpha) - y \cdot \cos(\alpha) - \Delta y)^2}{d} + \Delta z - \frac{x^2}{a} - \frac{y^2}{b} \right) dx dy. \quad (16)$$

Величина загальних відносних деформацій:

$$\varepsilon_{\Sigma} = \frac{V_{\Delta}}{V1 + V2}, \quad (17)$$

де $V1$ та $V2$ – об'єми еліптичних параболоїдів між площинам основ (рис. 3).

З рис. 3 об'єми фігур визначаються наступним чином:

$$V_1 = \int_{-\sqrt{a \cdot h}}^{\sqrt{a \cdot h}} \int_{\sqrt{b \cdot h}}^{\sqrt{b \cdot h}} \left(\frac{x^2}{a} + \frac{y^2}{b} \right) dx dy \rightarrow \frac{8 \cdot h \sqrt{a \cdot h} \sqrt{b \cdot h}}{3}, \quad (18)$$

$$V_2 = \int_{-\sqrt{c \cdot h}}^{\sqrt{c \cdot h}} \int_{\sqrt{d \cdot h}}^{\sqrt{d \cdot h}} \left(\frac{x^2}{c} + \frac{y^2}{d} \right) dx dy \rightarrow \frac{8 \cdot h \sqrt{c \cdot h} \sqrt{d \cdot h}}{3}, \quad (19)$$

де h – висота параболоїда.



Рис. 3. До визначення величини відносних деформацій

Напрямок сили в контакті

Для визначення напрямку вектору рівнодійної сил необхідно визначити реальну поверхню контакту з урахуванням пружних характеристик мікроелементів. Для цього розглянемо довільне січення зони перетину площиною, паралельною площині XOZ (рис. 4)

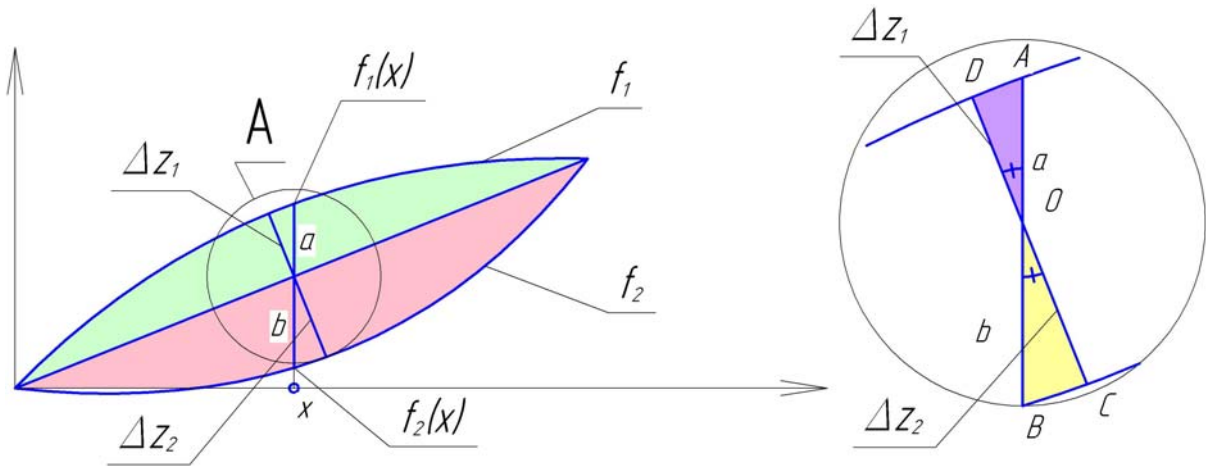


Рис. 4. Зона перетину еліптичних параболоїдів

Приймаючи, що деформація зони контактування є досить малою, а отже і відрізки BC та AD є наближеними до прямих, вводимо співвідношення:

$$\frac{a}{b} = \frac{\Delta z_1}{\Delta z_2}, \tag{20}$$

Звідки:

$$\frac{a}{b} = \frac{\Delta z_1}{\Delta z_2} = \frac{F/E_1}{F/E_2} = \frac{E_2}{E_1}, \tag{21}$$

З другого боку, з рис. 4:

$$a + b = f_1(x, y) - f_2(x, y). \tag{22}$$

Підставляючи значення b з виразу (20) в (21) та виконуючи відповідні перетворення, отримаємо рівняння, що описує поверхню розподілу еліптичних параболоїдів:

$$f_R(x, y) = \frac{E_2 \cdot f_2(x, y) + E_1 \cdot f_1(x, y)}{E_1 + E_2}. \quad (23)$$

Загальний вигляд отриманих поверхонь представлено на рис.5.

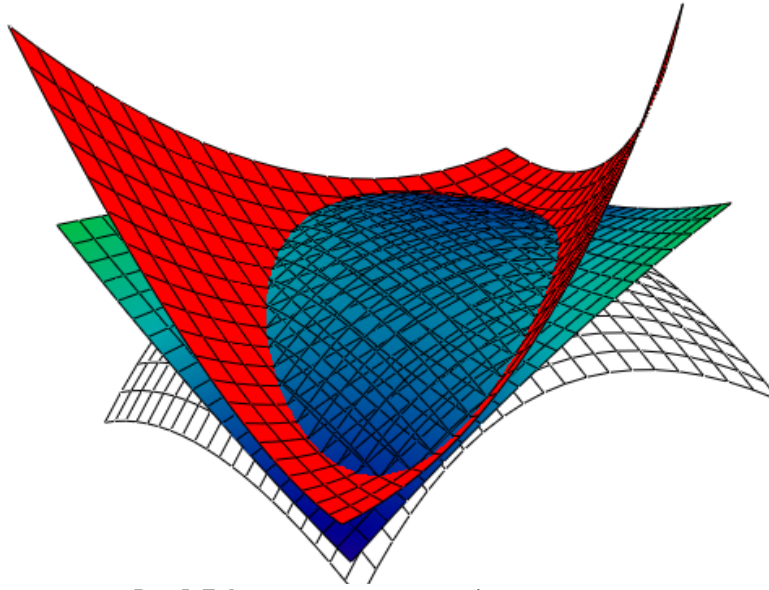


Рис. 5. Деформована поверхня розділу зони контакту

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

Результуючий вектор взаємодії може бути представлений у вигляді:

$$\vec{F}_r = |F| \cdot \vec{N}, \quad (24)$$

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

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

Визначення модулю сили в контакті виконуємо за наступною формулою:

$$|F| = E \cdot \varepsilon \cdot S, \quad (25)$$

де S – площа поверхні, що деформується, яка визначається за формулою:

$$S = \int_D \sqrt{1 + \left(\frac{df}{dx}\right)^2 + \left(\frac{df}{dy}\right)^2} dx dy, \quad (26)$$

$$S = \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \sqrt{1 + \left(\frac{df}{dx}\right)^2 + \left(\frac{df}{dy}\right)^2} dx dy. \quad (27)$$

Величина відносних деформацій для конкретного параболоїда визначається як:

$$\varepsilon_i = \frac{V_i \Delta}{V_i}, \quad (28)$$

де i – індекси 1 або 2 відповідно для матриці і пуансона;

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

$$V = \iint_D (f_1(x, y) - f_R(x, y)) dx dy. \quad (29)$$

Фактором детермінації дискретного одиничного вектора є кути відносно осей координат. Визначення кута нахилу результуючого вектору відносно системи координат виконується визначенням нормального результуючого вектора та знаходженням кутів між ним та осями координат.

Нормальний вектор в заданій точці визначеної поверхні розподілу має наступний вигляд:

$$\vec{N}_i = \begin{pmatrix} \frac{d}{dx} f_R(x_i, y_i) \\ \frac{d}{dy} f_R(x_i, y_i) \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (30)$$

Тоді результуючий вектор може бути представлений у формі:

$$\vec{N} = \begin{pmatrix} \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \left(\frac{d}{dx} f_R(x, y) \right) dx dy \\ \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \left(\frac{d}{dy} f_R(x, y) \right) dx dy \\ \int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} dx dy \end{pmatrix} \quad (31)$$

А відповідні кути можуть бути знайдені за наступними формулами:

$$\alpha = \arccos \left(\frac{\int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \left(\frac{d}{dx} f_R(x, y) \right) dx dy}{\sqrt{\left(\int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \left(\frac{d}{dx} f_R(x, y) \right) dx dy \right)^2 + \left(\int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \left(\frac{d}{dy} f_R(x, y) \right) dx dy \right)^2 + \left(\int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} dx dy \right)^2}} \right), \quad (32)$$

$$\beta = \arccos \left(\frac{\int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \left(\frac{d}{dy} f_R(x, y) \right) dx dy}{\sqrt{\left(\int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \left(\frac{d}{dx} f_R(x, y) \right) dx dy \right)^2 + \left(\int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \left(\frac{d}{dy} f_R(x, y) \right) dx dy \right)^2 + \left(\int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} dx dy \right)^2}} \right), \quad (33)$$

$$\gamma = \arccos \left(\frac{\int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} dx dy}{\sqrt{\left(\int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \left(\frac{d}{dx} f_R(x, y) \right) dx dy \right)^2 + \left(\int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} \left(\frac{d}{dy} f_R(x, y) \right) dx dy \right)^2 + \left(\int_{y_{\min}}^{y_{\max}} \int_{x_{\min}}^{x_{\max}} dx dy \right)^2}} \right). \quad (34)$$

Висновок

Визначена сила пружного контакту двох мікроелементів поверхні, виходячи з моделі еліптичних параболоїдів, кутові параметри просторової орієнтації вектора сили.

Література

1. Пастух І. М. Класифікація та аналіз з'єднань деталей машин з позицій фретингостійкості / І. М. Пастух, В. С. Курської // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 5. – С. 20–23.
2. Пастух І. М. Методика ідентифікації поверхонь фретинг-контакту / І. М. Пастух, В. С. Курської // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 1. – С. 47–50.
3. Пастух І. М. Модель контакту мікроелементів поверхонь / І. М. Пастух, В. С. Курської // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 2. – С. 23–30.
4. Пастух І. М. Формування моделі поверхні контакту та її характеристик / І. М. Пастух, В. С. Курської // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 3. – С. 11–15.

Надійшла 21.9.2010 р.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗНОСА РЕЗИНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ОПОР ВИБРАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

У статті наведені результати дослідження зносу гумових елементів СКН 26 і СКН 40 вібраційних опор. The results of researches of wear of rubber elements of СКН26 and СКН40 of oscillation supports are presented in the article.

Ключові слова: знос, гума, час.

Постановка проблемы в общем виде

Характерными особенностями развития техник в настоящее время являются постоянно возрастающая актуальность использования средств борьбы с вибрацией элементов конструкций и сооружений, механизмов, транспортных и других машин. Поскольку, в финишной обработке различных деталей важное место занимают методы упрочнения деталей клепом, который осуществляется на вибрационных и виброударных машинах, то необходимо их проектировать с заданными значениями параметров вибраций.

Одним из способов установления заданных значений параметров вибраций является использование гидравлических опор.

Совершенство способа обработки и применяемой техники может быть оценено по различным критериям, смысл которых раскрывается в сравнении с получаемыми результатами. Основные, подлежащие сравнению параметры – себестоимость, производительность, энергозатраты, трудозатраты и пр. Кроме указанных весьма важную роль играют периоды между обслуживанием, трудоемкость, время на техобслуживание и текущий ремонт единиц оборудования. Это, в первую очередь, относится к гидравлическим опорам, поскольку от ресурса их работы зависит объем выпускаемой продукции.

В процессе натурных испытаний предлагаемых опор [1] наблюдалась осадка опор, которая увеличивалась со временем и могла свидетельствовать об износе резиновых элементов. Кроме того, часть опор не отработывала проектный срок. Поэтому возникла необходимость в более детальном исследовании опор, с целью установления ресурса работы.

Анализ последних публикаций

Выбор резиновых элементов предлагаемой поры должен базироваться, очевидно, на анализе их триботехнических характеристик отвечающих условиям работы. В тоже время в справочной литературе [2, 3] такие сведения отсутствуют, что существенно сдерживает развитие конструкторско-технологических работ и исследований с целью решения задачи.

Постановка задания

Задачей исследования является установление износа резиновых элементов предложенных конструкций гидравлических опор.

Испытания проводились на установке ХТИ-7, общая схема которой представлена на рис. 1. Исследуемые поры 1 были закреплены на опорной раме 3. Поскольку рабочими параметрами вибрационных установок являются частота 21 Гц и амплитуда 2 мм, то масса дебалансов, установленных на плите 2, подбирались исходя из указанных параметров. Дебалансы связаны с двигателем с помощью гибкой муфты (см. рис. 1). Для контроля амплитуды колебаний плиты на опорной раме был закреплен измерительный клин.

Исследуемые резиновые элементы гидравлических приведены на рис. 2.

После 50, 100, 150, 200, 250, 300 и 400 часов работы опоры разбирали и измеряли износ опорных поверхностей, с помощью индикатора часового типа с ценой деления 0,01 мм.

Результаты испытаний представлены в табл. 1 и 2.

В процессе исследований было обнаружено следующее:

1) элементы **типа 2** (рис. 2) разрушались быстрее по сравнению с **типом 1** (рис. 2), наблюдалось разрушение в виде одной магистральной трещины в диаметральном направлении по одной стороне;

2) невооруженным взглядом был виден неравномерный износ опорных поверхностей, больше изнашивались элементы по краям чем внутри конуса;

3) в опорах с элементами **типа 2** (рис. 2) происходила утечка масла через зазор между металлическими и резиновыми элементами, который образовывался вследствие износа.

В результате испытаний (табл. 1,2) была получена зависимость $h = f(t)$. Поскольку, информация об износах была выявлена путем замеров подконтрольных образцов через определенные промежутки времени, то предпочтение следует отдать корреляционному анализу зависимости между износом и временем в логарифмических координатах [4]. Поэтому, полученную зависимость ищем в виде

$$h = Ct^m, \quad (1)$$

где h – износ резиновых элементов, мм;
 t – время работы, ч;

C – постоянная для материала резины СКН 26 и СКН 40;
 m – показатель степени.

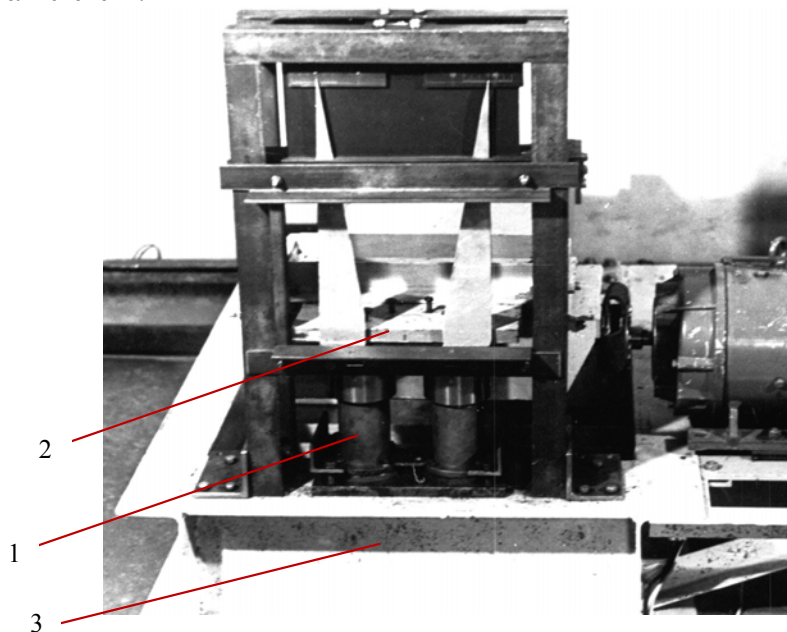


Рис. 1. Общая схема экспериментальной установки ХТИ-7
 1 – гидравлическая опора; 2 – плита; 3 – опорная рама

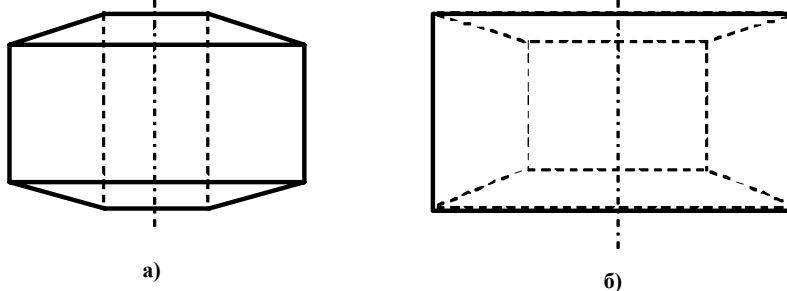


Рис. 2. Резиновые элементы опоры: а- тип 1; б- тип 2

Таблица 1

Износ h опорных поверхностей деталей тип 1 (рис. 2)
 за время работы t в зависимости от типа резины СКН 26 и СКН40

СКН-26		
№ п/п	Время работы t , ч	Износ h , мм
1	50	0,12
2	100	0,16
3	150	0,27
4	200	0,43
5	250	0,52
6	300	0,61
7	400	0,78

СКН-40		
№ п/п	Время работы t , ч	Износ h , мм
1	50	0,11
2	100	0,15
3	150	0,25
4	200	0,4
5	250	0,49
6	300	0,57
7	400	0,73

Таблица 2

Износ h опорных поверхностей деталей тип 2 (рис. 2)
 за время работы t в зависимости от типа резины СКН 26 и СКН40

СКН-26		
№ п/п	Время работы t , ч	Износ h , мм
1	50	0,14
2	100	0,28
3	150	0,37
4	200	0,49
5	250	0,64
6	300	0,85
7	400	1,1

СКН-40		
№ п/п	Время работы t , ч	Износ h , мм
1	50	0,13
2	100	0,26
3	150	0,36
4	200	0,47
5	250	0,6
6	300	0,8
7	400	1

Постоянные C и m определяем методом наименьших квадратов [4]. Для этого возьмем логарифмы чисел h_i и t_i и, таким образом, получим ряд парных значений:

$$\left. \begin{aligned} Y_i &= \lg h_1, \lg h_2, \lg h_3, \dots, \lg h_n \\ X_i &= \lg t_1, \lg t_2, \lg t_3, \dots, \lg t_n \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

После чего, определим средние значения X_{cp} и Y_{cp}

$$X_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad (3)$$

$$Y_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n}, \quad (4)$$

где n – количество исследований.
Вспомогательные величины

$$S_x = \sum_{i=1}^n X_i^2 - nX_{cp}^2, \quad (5)$$

$$S_y = \sum_{i=1}^n Y_i^2 - nY_{cp}^2, \quad (6)$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n X_i Y_i - nX_{cp} Y_{cp}. \quad (7)$$

Коэффициент корреляции r_{xy}

$$r_{xy} = \frac{S_{xy}}{\sqrt{S_x S_y}}. \quad (8)$$

После чего определим постоянные A и B , с помощью которых можно вычислить C и m ,

$$B = \frac{S_{xy}}{S_x r_{xy}}, \quad (9)$$

$$A = Y_{cp} - BX_{cp}, \quad (10)$$

$$C = 10^A, \quad (11)$$

$$m = B^{-1}. \quad (12)$$

По формулам (2– 12) определяем параметры степенной функции (1) для резин СКН 26 и СКН 40, результаты заносим в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Результаты расчета C , m резиновых элементов типа 1 из резин СКН 26 и СКН 40

Показатели расчета	Резина СКН-26	Резина СКН-40
Коэффициент корреляции r_{xy}	0,98	0,98
Постоянная C	0,0021	0,0019
Постоянная m	1,009	1,001

Таблица 4

Результаты расчета C , m резиновых элементов типа 2 из резин СКН 26 и СКН 40

Показатели расчета	Резина СКН-26	Резина СКН-40
Коэффициент корреляции r_{xy}	0,96	0,98
Постоянная C	0,0028	0,0027
Постоянная m	1,011	1,015

Выводы:

- 1) экспериментальные исследования показали, что резиновые элементы **типа 2** менее износостойки по сравнению с **типом 1**;
- 2) элементы опоры изготовленные из резины СКН 40 более износостойки, по сравнению с СКН 26;
- 3) при производстве пор следует отдавать предпочтение элементам **типа 1** (рис. 2), поскольку при испытании опор с элементами **типа 2** (рис. 2) наблюдалась утечка масла через зазор между металлическими и резиновыми элементами.

Полученные аналитические зависимости могут быть использованы при прогнозировании работоспособности гидравлических опор содержащих резиновые элементы.

В дальнейшем необходимо исследовать влияние частоты колебаний на износ элементов опоры.

Литература

1. Пат. 60534 МКИ F16F19/08. Гідравлічний пружний елемент / Стрельбіцький В.В., Кіницький Я.Т., Нестер А.А. (Україна). – Заявл. 21.11.2002; Опублік. 15.10.2003. Бюл. № 10.
2. Истирание резин [Бродский Г.И., Евстратов В.Ф., Сахновский Н.Л., Слюдиков Л.Д.]. – М.: Химия, 1975. – 240 с.
3. Крыжановский В.К. Технические свойства полимеров / Крыжановский В.К., Буров В.В., Панаматченко А.Д. – СПб.: Профессия, 2005. – 248 с.
4. Ефремов Л.В. Практик инженерного анализа надежности судовой техники / Ефремов Л.В. – Л.: Судостроение, 1980. – 176 с.

Надійшла 10.9.2010 р.

УДК 519.832.4

В.В. РОМАНЮК

Хмельницький національний університет

ОЦІНЮВАННЯ ГЛОБАЛЬНОГО І ЛОКАЛЬНИХ НАСЛІДКІВ ЗАСТОСУВАННЯ ГРАВЦЕМ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ В АНТАГОНІСТИЧНІЙ ГРІ ЯК МОДЕЛІ РЕАЛІЗАЦІЇ СТОХАСТИЧНОГО ПАРАМЕТРА З НЕВІДОМИМ ІМОВІРНІСНИМ РОЗПОДІЛОМ

Представлено концепцію оцінювання наслідків застосування гравцем його оптимальної стратегії при оптимальній стратегії в іншого гравця в антагоністичній грі. Одну частину наслідків класифіковано як глобальні, де очікуваний вигравш першого гравця інтегрується за усіма можливими стратегіями. Решту наслідків класифіковано як локальні, де очікуваний вигравш першого гравця інтегрується за деякою підмножиною усіх стратегій.

There has been represented the conception of evaluating aftereffects of the player application of its optimal strategy by the optimal strategy at the other player in the antagonistic game. One part of aftereffects has been classified as global, where the first player expected payoff is integrated over all possible strategies. The rest of aftereffects has been classified as local, where the first player expected payoff is integrated over some subset of all strategies.

Ключові слова: антагоністична гра, математична модель, оптимальна стратегія, наслідок, стохастичний параметр, функціональний інтеграл.

Постановка й актуальність проблеми у загальному виді та її зв'язок з важливими науково-практичними завданнями

Математичні моделі відіграють виключно важливу роль у дослідженні, прогнозуванні й оптимізації явищ та процесів сучасного світу. А оцінювання параметрів математичних моделей є характерним практично для кожного об'єкта моделювання. Стохастичність або невизначеність параметра моделі може бути природним чином усунена з використанням імовірнісного розподілу на множині усіх його значень. Проте зазвичай такий розподіл не є певним або ж про нього взагалі нічого невідомо. Тоді усунення стохастичності або невизначеності параметра моделі може здійснюватись за допомогою ігрової антагоністичної моделі, де у ролі другого гравця виступає особа, що приймає рішення про конкретне значення параметра для його разової підстановки у вихідну математичну модель. Першого гравця у такій антагоністичній моделі уособлюють випадкові природні обставини (обставини, власне, пов'язані безпосередньо з об'єктом моделювання), котрі, зрозуміло, передбачити або вивчити можливо лише при багатократному повторенні модельованого явища. Описана проблематика має ґрунтовне наукове завдання, котре полягає у розвитку концепції стохастичного моделювання в умовах часткової або повної невизначеності параметрів об'єкта моделювання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій за предметом дослідження та визначення питань, що потребують вирішення

Деякі аспекти прийняття оптимального рішення щодо значень стохастичного параметра були розглянуті у роботах [1, 2]. Модель практичної реалізації стохастичного параметра з невідомим імовірнісним розподілом на інтервалі ненульової міри у формі антагоністичної гри представлено в [1], де доведено теореми про нижнє і верхнє значення відповідної антагоністичної гри для випадків з континуальним ядром та з матричним ядром. Також в [1] представлено розроблене програмне забезпечення для знаходження оптимальної стратегії другого гравця як варіанту шуканого імовірнісного розподілу, що може бути використане, зокрема, у задачах моделювання шорсткостей поверхонь, тертя і різання. Праця [2] містить побудоване ядро антагоністичної гри для задачі безумовної оптимізації, за розв'язком якої

пропонується приймати рішення про достатність проведених вимірювань випадкової величини для того, щоб її реалізувати у відповідній математичній моделі у формі розподілу відносних статистичних частот. Там же представлено програму підтримки прийняття рішення про вірогідність досліджуваного розподілу. Взагалі кажучи, основні питання інтервального оцінювання даних досить глибоко висвітлені у [3, 4], а роботи [1] і [2] частково вирішують проблему коректної “підстановки” інтервальних оцінок параметрів у відповідну математичну модель за їх невідомих імовірнісних розподілів. Однак мінімакний підхід у визначенні оптимальних рішень щодо значень стохастичних параметрів може давати і декілька стратегій, що задовольнятимуть відомий принцип оптимальності в антагоністичних іграх, причому жодних пріоритетів вибору якоїсь з них цей підхід не запропонує [5]. А знання таких пріоритетів в оптимальних стратегіях є вагомою допомогою у відповідних процесах прийняття рішень, побудованих або породжуваних на основі антагоністичних конфліктних явищ. Тому вивчення наслідків застосування гравцем тієї чи іншої оптимальної стратегії потребує додаткового вирішення, хоча, безумовно, існує теорія вибору NE-ситуацій у безкоаліційних іграх [6].

Формулювання мети і постановка завдань статті

Будемо розглядати антагоністичну гру

$$G = \langle \mathbf{X}, \mathbf{Y}, K(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) \rangle \quad (1)$$

з множинами $\mathbf{X} \subset \mathbb{R}^M$ та $\mathbf{Y} \subset \mathbb{R}^N$ чистих стратегій першого та другого гравців відповідно, де дійснозначна функція $K(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$ від аргументів $\mathbf{X} \in \mathbf{X} \subset \mathbb{R}^M$ та $\mathbf{Y} \in \mathbf{Y} \subset \mathbb{R}^N$ визначена на декартовому добутку $\mathbf{X} \times \mathbf{Y} \subset \mathbb{R}^{M+N}$, де $M \in \mathbb{N}$ та $N \in \mathbb{N}$. У змішаному розширенні гри (1)

$$\mathcal{G} = \langle \mathcal{X}, \mathcal{Y}, v(\mu(\mathbf{X}), v(\mathbf{Y})) \rangle \quad (2)$$

з множинами стратегій \mathcal{X} та \mathcal{Y} першого та другого гравців відповідно математичним сподіванням виграшу першого гравця буде

$$v(\mu(\mathbf{X}), v(\mathbf{Y})) = \int \int_{\mathbf{X} \times \mathbf{Y}} K(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) d\mu(\mathbf{X}) dv(\mathbf{Y}), \quad (3)$$

де інтеграл (3) береться по імовірнісній мірі $\mu(\mathbf{X}) \in \mathcal{X}$ першого гравця й імовірнісній мірі $v(\mathbf{Y}) \in \mathcal{Y}$ другого гравця, причому $\mathbf{X} \in \chi$ та $\mathbf{Y} \in \gamma$, χ є деякою σ -алгеброю підмножин множини $\mathbf{X} \subset \mathbb{R}^M$, що містить й одноточкові множини $\mathbf{X} \in \mathbf{X} \subset \mathbb{R}^M$, і γ є σ -алгеброю підмножин множини $\mathbf{Y} \subset \mathbb{R}^N$, що містить одноточкові множини $\mathbf{Y} \in \mathbf{Y} \subset \mathbb{R}^N$, а множини \mathcal{X} та \mathcal{Y} є множинами усіх імовірнісних мір на σ -алгебрах χ та γ відповідно, і функція $K(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$ є вимірною відносно σ -алгебри $\chi \times \gamma$ [7]. Вважатимемо, що у грі (1) існує ситуація рівноваги $\{\mu_{\text{opt}}(\mathbf{X}), v_{\text{opt}}(\mathbf{Y})\}$ (сідлова точка у, взагалі кажучи, змішаних стратегіях), для якої виконана подвійна нестрога нерівність

$$v(\mu(\mathbf{X}), v_{\text{opt}}(\mathbf{Y})) \leq v(\mu_{\text{opt}}(\mathbf{X}), v_{\text{opt}}(\mathbf{Y})) \leq v(\mu_{\text{opt}}(\mathbf{X}), v(\mathbf{Y})) \quad \forall \mu(\mathbf{X}) \in \mathcal{X} \text{ та } \forall v(\mathbf{Y}) \in \mathcal{Y}. \quad (4)$$

Окрім цього, припускаємо можливість представлення кожної стратегії гравця у формі імовірнісного розподілу:

$$p(\mathbf{X}) d\mathbf{X} = d\mu(\mathbf{X}) \quad (5)$$

та

$$q(\mathbf{Y}) d\mathbf{Y} = dv(\mathbf{Y}). \quad (6)$$

Також вважатимемо, що опонент гравця, наслідки якого оцінюватимуться, діятиме в області своїх змішаних стратегій (де, зрозуміло, “знаходяться” і його чисті стратегії). Під наслідком застосування гравцем його оптимальної стратегії можна розуміти загальний виграш (або корисність) цього гравця, який він отримає, дотримуючись цієї стратегії, за певних дій іншого гравця в межах визначеної сукупності його стратегій (чистих чи змішаних). Ця сукупність, очевидно, повинна містити принаймні одну оптимальну стратегію. Зрештою, необхідно представити концепцію підсумовування значень ядра гри $K(\mathbf{X}, \mathbf{Y})$ на тій підмножині декартового добутку $\mathbf{X} \times \mathbf{Y} \subset \mathbb{R}^{M+N}$ або добутку $\mathcal{X} \times \mathcal{Y}$, яка міститиме принаймні по одній оптимальній стратегії гравців і деяку множину стратегій (можливо, неоптимальних), на яку може відхилитися опонент гравця, наслідки для якого оцінюватимуться.

Оцінювання наслідків застосування гравцем його оптимальної стратегії при змішаній оптимальній стратегії в іншого гравця

Спочатку займемося питанням оцінювання наслідку застосування гравцем його оптимальної стратегії, яка є чистою. Множини оптимальних стратегій першого та другого гравців позначимо через

$\mathcal{X}_{\text{opt}} \subset \mathcal{X}$ й $\mathcal{Y}_{\text{opt}} \subset \mathcal{Y}$ відповідно, причому, оскільки за домовленістю існує принаймні одна NE-ситуація $\{\mu_{\text{opt}}(\mathbf{X}), \nu_{\text{opt}}(\mathbf{Y})\}$ або, згідно з (5) і (6), NE-ситуація $\{p_{\text{opt}}(\mathbf{X}), q_{\text{opt}}(\mathbf{Y})\}$ (надалі надамо перевагу саме такій формі), $\mathcal{X}_{\text{opt}} \neq \emptyset$ й $\mathcal{Y}_{\text{opt}} \neq \emptyset$. Глобальний наслідок використання другим гравцем його оптимальної чистої стратегії

$$\mathbf{Y}_{\text{opt}} = [y_1^* \quad y_2^* \quad \dots \quad y_N^*] \in \mathbf{Y} \subset \mathbb{R}^N \quad (7)$$

дорівнює інтегралу

$$\mathcal{E}_2(\mathcal{X}) = \int_{p(\mathbf{X}) \in \mathcal{X}} \left(\int_{\mathbf{X}} K(\mathbf{X}, \mathbf{Y}_{\text{opt}}) p(\mathbf{X}) d\mathbf{X} \right) dp(\mathbf{X}). \quad (8)$$

При відступі першого гравця від своєї оптимальної стратегії $p_{\text{opt}}(\mathbf{X}) \in \mathcal{X}_{\text{opt}} \subset \mathcal{X}$ другий гравець оцінює наслідки використання своєї оптимальної чистої стратегії (7) через інтегрування функціонала $\int_{\mathbf{X}} K(\mathbf{X}, \mathbf{Y}_{\text{opt}}) p(\mathbf{X}) d\mathbf{X}$ по тій підмножині множини \mathcal{X} , куди може потрапити вибір (випадковий чи навмисний) першого гравця. Якщо, на думку другого гравця, перший гравець відступить від своєї оптимальної стратегії $p_{\text{opt}}(\mathbf{X}) \in \mathcal{X}_{\text{opt}} \subset \mathcal{X}$ не більше, ніж на деяке число $\xi > 0$ у кожній точці $\mathbf{X} \in \mathbf{X} \subset \mathbb{R}^M$, то локальний наслідок використання другим гравцем його оптимальної чистої стратегії (7) дорівнюватиме функціональному інтегралу

$$\mathcal{E}_2(\mathcal{X}_\xi) = \int_{p(\mathbf{X}) \in \mathcal{X}_\xi} \left(\int_{\mathbf{X}} K(\mathbf{X}, \mathbf{Y}_{\text{opt}}) p(\mathbf{X}) d\mathbf{X} \right) dp(\mathbf{X}), \quad (9)$$

де множина

$$\mathcal{X}_\xi = \{p(\mathbf{X}) \in \mathcal{X} : p_{\text{opt}}(\mathbf{X}) - \xi \leq p(\mathbf{X}) \leq p_{\text{opt}}(\mathbf{X}) + \xi, \xi > 0\}. \quad (10)$$

Не виключено, що другий гравець припускатиме несиметричні межі відступу першого гравця від оптимальної стратегії $p_{\text{opt}}(\mathbf{X}) \in \mathcal{X}_{\text{opt}} \subset \mathcal{X}$. Мається на увазі те, що замість множини (10) для наслідку (9) буде

$$\begin{aligned} \mathcal{X}_{\xi(\mathbf{X})} = \{p(\mathbf{X}) \in \mathcal{X} : p_{\text{opt}}(\mathbf{X}) - \xi(\mathbf{X}) \leq p(\mathbf{X}) \leq p_{\text{opt}}(\mathbf{X}) + \xi(\mathbf{X}), \\ \xi(\mathbf{X}) \geq 0, \text{ але } \exists \mathbf{X} \in \mathbf{X} \subset \mathbb{R}^M, \text{ що } \xi(\mathbf{X}) > 0\}. \end{aligned} \quad (11)$$

І тоді локальний наслідок використання другим гравцем його оптимальної чистої стратегії (7) дорівнюватиме функціональному інтегралу

$$\mathcal{E}_2(\mathcal{X}_{\xi(\mathbf{X})}) = \int_{p(\mathbf{X}) \in \mathcal{X}_{\xi(\mathbf{X})}} \left(\int_{\mathbf{X}} K(\mathbf{X}, \mathbf{Y}_{\text{opt}}) p(\mathbf{X}) d\mathbf{X} \right) dp(\mathbf{X}). \quad (12)$$

Аналогічно співвідношенню (8) означимо глобальний наслідок використання першим гравцем його оптимальної чистої стратегії

$$\mathbf{X}_{\text{opt}} = [x_1^* \quad x_2^* \quad \dots \quad x_M^*] \in \mathbf{X} \subset \mathbb{R}^M \quad (13)$$

так:

$$\mathcal{E}_1(\mathcal{Y}) = \int_{q(\mathbf{Y}) \in \mathcal{Y}} \left(\int_{\mathbf{Y}} K(\mathbf{X}_{\text{opt}}, \mathbf{Y}) q(\mathbf{Y}) d\mathbf{Y} \right) dq(\mathbf{Y}). \quad (14)$$

Локальний наслідок використання першим гравцем його оптимальної чистої стратегії (13) по підмножині

$$\mathcal{Y}_\zeta = \{q(\mathbf{Y}) \in \mathcal{Y} : q_{\text{opt}}(\mathbf{Y}) - \zeta \leq q(\mathbf{Y}) \leq q_{\text{opt}}(\mathbf{Y}) + \zeta, \zeta > 0\} \quad (15)$$

стратегій другого гравця дорівнює функціональному інтегралу

$$\mathcal{E}_1(\mathcal{Y}_\zeta) = \int_{q(\mathbf{Y}) \in \mathcal{Y}_\zeta} \left(\int_{\mathbf{Y}} K(\mathbf{X}_{\text{opt}}, \mathbf{Y}) q(\mathbf{Y}) d\mathbf{Y} \right) dq(\mathbf{Y}), \quad (16)$$

а локальним наслідком використання першим гравцем його оптимальної чистої стратегії (13) по підмножині

$$\mathcal{G}_{\zeta(\mathbf{Y})} = \left\{ q(\mathbf{Y}) \in \mathcal{G} : q_{\text{opt}}(\mathbf{Y}) - \zeta(\mathbf{Y}) \leq q(\mathbf{Y}) \leq q_{\text{opt}}(\mathbf{Y}) + \zeta(\mathbf{Y}), \right. \\ \left. \zeta(\mathbf{Y}) \geq 0, \text{ але } \exists \mathbf{Y} \in \mathbf{Y} \subset \mathbb{R}^N, \text{ що } \zeta(\mathbf{Y}) > 0 \right\} \quad (17)$$

стратегій другого гравця є функціональний інтеграл

$$\mathcal{E}_1(\mathcal{G}_{\zeta(\mathbf{Y})}) = \int_{q(\mathbf{Y}) \in \mathcal{G}_{\zeta(\mathbf{Y})}} \left(\int_{\mathbf{Y}} K(\mathbf{X}_{\text{opt}}, \mathbf{Y}) q(\mathbf{Y}) d\mathbf{Y} \right) dq(\mathbf{Y}). \quad (18)$$

Тепер перейдемо до оцінювання наслідку застосування гравцем його оптимальної змішаної стратегії. Глобальний наслідок використання другим гравцем його оптимальної змішаної стратегії $q_{\text{opt}}(\mathbf{Y}) \in \mathcal{G}_{\text{opt}} \subset \mathcal{G}$ дорівнює функціональному інтегралу

$$\mathcal{E}_2(\mathcal{G}) = \int_{p(\mathbf{X}) \in \mathcal{X}} \left(\int_{\mathbf{X}} \int_{\mathbf{Y}} K(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) p(\mathbf{X}) q_{\text{opt}}(\mathbf{Y}) d\mathbf{Y} d\mathbf{X} \right) dp(\mathbf{X}). \quad (19)$$

Локальний наслідок використання другим гравцем його оптимальної змішаної стратегії $q_{\text{opt}}(\mathbf{Y}) \in \mathcal{G}_{\text{opt}} \subset \mathcal{G}$ по підмножині (10) стратегій першого гравця дорівнює функціональному інтегралу

$$\mathcal{E}_2(\mathcal{G}_{\xi}) = \int_{p(\mathbf{X}) \in \mathcal{X}_{\xi}} \left(\int_{\mathbf{X}} \int_{\mathbf{Y}} K(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) p(\mathbf{X}) q_{\text{opt}}(\mathbf{Y}) d\mathbf{Y} d\mathbf{X} \right) dp(\mathbf{X}), \quad (20)$$

а локальним наслідком використання другим гравцем його оптимальної стратегії $q_{\text{opt}}(\mathbf{Y}) \in \mathcal{G}_{\text{opt}} \subset \mathcal{G}$ по підмножині (11) стратегій першого гравця є функціональний інтеграл

$$\mathcal{E}_2(\mathcal{G}_{\xi(\mathbf{X})}) = \int_{p(\mathbf{X}) \in \mathcal{X}_{\xi(\mathbf{X})}} \left(\int_{\mathbf{X}} \int_{\mathbf{Y}} K(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) p(\mathbf{X}) q_{\text{opt}}(\mathbf{Y}) d\mathbf{Y} d\mathbf{X} \right) dp(\mathbf{X}). \quad (21)$$

Аналогічно глобальним наслідком використання першим гравцем його оптимальної стратегії $p_{\text{opt}}(\mathbf{X}) \in \mathcal{X}_{\text{opt}} \subset \mathcal{X}$ є функціональний інтеграл

$$\mathcal{E}_1(\mathcal{G}) = \int_{q(\mathbf{Y}) \in \mathcal{G}} \left(\int_{\mathbf{Y}} \int_{\mathbf{X}} K(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) p_{\text{opt}}(\mathbf{X}) q(\mathbf{Y}) d\mathbf{X} d\mathbf{Y} \right) dq(\mathbf{Y}), \quad (22)$$

локальним наслідком по підмножині (15) стратегій другого гравця є

$$\mathcal{E}_1(\mathcal{G}_{\xi}) = \int_{q(\mathbf{Y}) \in \mathcal{G}_{\xi}} \left(\int_{\mathbf{Y}} \int_{\mathbf{X}} K(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) p_{\text{opt}}(\mathbf{X}) q(\mathbf{Y}) d\mathbf{X} d\mathbf{Y} \right) dq(\mathbf{Y}), \quad (23)$$

і локальним наслідком по підмножині (17) стратегій другого гравця є

$$\mathcal{E}_1(\mathcal{G}_{\zeta(\mathbf{Y})}) = \int_{q(\mathbf{Y}) \in \mathcal{G}_{\zeta(\mathbf{Y})}} \left(\int_{\mathbf{Y}} \int_{\mathbf{X}} K(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) p_{\text{opt}}(\mathbf{X}) q(\mathbf{Y}) d\mathbf{X} d\mathbf{Y} \right) dq(\mathbf{Y}). \quad (24)$$

Наслідки (8), (9), (12), (14), (16), (18) — (24) без проблем знаходяться для випадків скінченних множин $\mathbf{X} \subset \mathbb{R}^M$ та $\mathbf{Y} \subset \mathbb{R}^N$, на яких множини усіх стратегій гравців \mathcal{X} та \mathcal{G} будуть відповідними — фундаментальними симплексами. І, взагалі, при обчисленні вказаних інтегралів інтегрування по зліченній множині (підмножині певної числової прямої) слід замінювати на відповідне підсумовування значень ядра у точках цієї множини.

Висновок та перспектива подальшого дослідження

Запропоноване оцінювання наслідків застосування гравцем його оптимальної стратегії при змішаній оптимальній стратегії (яка у частинному випадку, зрозуміло, буде чистою) в іншого гравця є ефективним інструментом для здійснення сингулярного (унікального) вибору із множини оптимальних рішень у моделі реалізації стохастичного параметра з невідомим імовірнісним розподілом, що може бути використано, зокрема, у задачах моделювання шорсткостей поверхонь, тертя і різання. Крім того, концепція оцінювання наслідків застосування гравцем його оптимальної стратегії може використовуватись й у загальних задачах прийняття рішень, котрі породжуються антагоністичними іграми за участю суб'єкта прийняття рішень, котрий працює в умовах часткових або повних невизначеностей. Перспектива подальшого дослідження вбачається у викладенні й обґрунтуванні положень чисельних методів [8 — 10] визначення наслідків (8), (9),

(12), (14), (16), (18) — (24), адже усі ці 12 інтегралів є функціональними, а аналітичне інтегрування таких інтегралів не завжди можливе [11 — 16].

Література

1. 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.
2. Романюк В. В. Оцінювання вірогідності розподілу статистичних частот випадкової величини з невідомим математичним сподіванням і дисперсією / В. В. Романюк // Вісник НТУ “ХПІ”. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. — Харків : НТУ “ХПІ”, 2010. — № 21. — С. 152 — 161.
3. Большаков А. А. Методы обработки многомерных данных и временных рядов : Учебное пособие для вузов / А. А. Большаков, Р. Н. Каримов. — М. : Горячая линия — Телеком, 2007. — 520 с. : ил.
4. Caprani O. Introduction to Interval Analysis / O. Caprani, K. Madsen, H. B. Nielsen. — IMM, DTU. — 2002. — 82 p.
5. Романюк В. В. Нерівнозначні оптимальні змішані стратегії другого гравця у вгнутий антагоністичній грі з експоненціальним ядром, що задається на декартовому добутку двох одиничних кубів / В. В. Романюк // Наука й економіка. — Випуск 3 (15), 2009. — Том 2. — С. 206 — 234.
6. Harsanyi J. C. A General Theory of Equilibrium Selection in Games / J. C. Harsanyi, R. Selten. — Cambridge : MIT Press, 1988. — 396 p.
7. Петросян Л. А. Теория игр : Учеб. пособие для ун-тов / Л. А. Петросян, Н. А. Зенкевич, Е. А. Семина. — М. : Высшая школа, Книжный дом “Университет”, 1998. — 304 с. : ил.
8. Иванов В. В. Методы вычислений на ЭВМ : справочное пособие / В. В. Иванов. — К. : Наук. думка, 1986. — 584 с.
9. Жидков Е. П. Об одном методе вычисления континуальных интегралов без решёточной дискретизации / Е. П. Жидков, Ю. Ю. Лобанов, Р. Р. Шахбагян // Математическое моделирование. — 1989. — Т. 1, № 8. — С. 139 — 157.
10. Жидков Е. П. Приближённое вычисление кратных континуальных интегралов в многомерных задачах квантовой физики / Е. П. Жидков, Ю. Ю. Лобанов, Р. Р. Шахбагян // Математическое моделирование. — 1990. — Т. 2, № 10. — С. 110 — 119.
11. Алимов А. Л. О гамильтоновой форме фейнмановского континуального интеграла / А. Л. Алимов // ТМФ. — 1974. — Т. 20, вып. 3. — С. 302 — 307.
12. Попов В. Н. Континуальные интегралы в квантовой теории поля и статистической физике / В. Н. Попов. — М. : Атомиздат, 1976. — 256 с.
13. Березин Ф. А. Континуальный интеграл по траекториям в фазовом пространстве / Ф. А. Березин // Успехи математических наук. — 1980. — Т. 132, вып. 3. — С. 497 — 548.
14. Прохоров Л. В. Гамильтоновы континуальные интегралы / Л. В. Прохоров // Физика элементарных частиц и атомного ядра. — 1982. — Том 13, вып. 5. — С. 1094 — 1156.
15. Wiener N. The average value of a functional / N. Wiener // Proc. Lond. Math. Soc. — 1924. — V. 22, N. 6. — P. 454 — 467.

16. Ладохин В. И. Вычисление континуальных интегралов от функционалов $\Phi \left[\int_0^T \alpha_1(\tau) dx(\tau); \dots; \int_0^T \alpha_m(\tau) dx(\tau) \right]$ / В. И. Ладохин // Успехи математических наук. — 1964. — Т. XIX, вып. 1 (115). — С. 155 — 159.

Надійшла 22.9.2010 р.

УДК 621.3

А.Я. КУЛИК

Вінницький національний технічний університет

АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОГО КОДУВАННЯ ДАНИХ У ПРОБЛЕМНО-ОРІЄНТОВАНИХ РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ

Проведено аналіз впливу параметрів завадозахищених (n, k) -кодів на параметри передавання інформації для різних умов. Сформульовано задачі побудови коду для різних умов передавання. Проведено розрахунки параметрів передавання для різних умов.

The analysis of influence of parameters of the (n, k) -codes, protected from noise, on parameters of transfer is carried out under different conditions. The tasks of construction of a code for different conditions of transfer are formulated. The accounts of parameters of transfer for different conditions are carried out.

Ключові слова: передавання інформації, швидкість передавання, код.

Вступ

Для адаптивного передавання інформації каналом з ненульовою пропускну здатністю використовується набір (n, k) -кодів з виправленням помилок, де n – загальна кількість розрядів кодової комбінації, k – кількість інформаційних розрядів, мінімальна кодова відстань яких:

$$d_{\min} \geq s + t + 1, t \geq s, \quad (1)$$

де s – кількість помилок, що виявляються;

t – кількість помилок, що виправляються, характеризує спроможність блокового коду (n, k) до виправлення помилок і залежить від властивостей конкретного коду. В свою чергу, кількість помилок, що виправляються, t пов'язана з мінімальною відстанню між n -вимірними кодовими словами у метриці Хеммінга:

$$t = \frac{d_{\min} - 1}{2}. \quad (2)$$

Повідомлення, що має передаватися до каналу зв'язку \bar{x}_k , складається з інформаційної \bar{x}_i та службової \bar{x}_u частин:

$$\bar{x}_k : \bar{x}_i \oplus \bar{x}_u. \quad (3)$$

Після виконання завадозахищеного кодування, до кодової комбінації \bar{x}_k додається ще й m контрольних розрядів:

$$\bar{x}_n : \bar{x}_k \oplus \bar{x}_m = \bar{x}_i \oplus \bar{x}_u \oplus \bar{x}_m. \quad (4)$$

Такий формат представлення даних дозволяє вносити необхідні корективи до вхідних параметрів розробленої моделі каналу.

Оскільки більша частина інформації передається з використанням засобів комп'ютерної техніки, то процес передавання має певні особливості [1, 2]. З одного боку, послідовні інтерфейси, що використовуються для передавання інформації до каналу зв'язку, здебільшого працюють з байтами. Навіть, якщо кількість розрядів, що передаються, можна задавати програмним шляхом, то порт все одно доповнює слово нулями, і до каналу зв'язку передається повний байт. З другого боку, каналні коди типу Манчестер II, AMI, MLT-3, BNZS, HDB3 тощо можна використовувати лише для перетворення сигналів, оскільки вони тільки фіксують помилки, не виправляючи їх, але вимагають суттєвих апаратних витрат і відрізняються складністю програмної реалізації.

Інформацію до каналу зв'язку можна передавати не лише окремими байтами, але й блоками довжиною N_b байт [1– 4]. Тоді, показник якості передавання інформації каналом зв'язку E_k залежить від складу вектора сигналу \bar{x}_n , що передається, імовірності спотворення елементарного сигналу p_0 , довжини блока N_b , що передається, та кількості помилок t , що виправляються. Таким чином, задачу побудови коду можна сформулювати у вигляді:

$$\begin{cases} E_k = \max_{\bar{x}_n, p_0, N_b, t} E_k(\bar{x}_n, p_0, N_b, t); \\ v_k \rightarrow v_{\text{нор}}; \\ p_k \rightarrow p_{\text{нор}}, \end{cases} \quad (5)$$

де $v_k = N_b / T = (8k_v \cdot N_b) / \tau$ – швидкість передавання інформації;

p_k – імовірність правильного приймання блока з N_b байт даних;

$p_{\text{нор}}$ – порогова імовірність правильного приймання блоку з N_b байт даних;

v_k – швидкість передавання даних каналом зв'язку;

v_{nop} – порогова швидкість передавання даних каналом зв'язку;
 T – час передавання блока з N_b байт даних,
 з урахуванням граничного значення об'єму сигналу

$$V_k \leq V_{nop}. \quad (6)$$

Для другого випадку показник якості передавання інформації каналом зв'язку E_k залежить від складу вектора сигналу \bar{x}_n , що передається, імовірності спотворення елементарного сигналу p_0 , розміру блока N_b , що передається, та кількості повторів r . Таким чином, задачу побудови коду можна сформулювати у вигляді

$$\begin{cases} E_k = \max_{\bar{x}_n, p_0, N_b, r} E_k(\bar{x}_n, p_0, N_b, r); \\ v_k \rightarrow v_{nop}; \\ p_k \rightarrow p_{nop}, \end{cases} \quad (7)$$

причому в обох випадках порогова швидкість передавання інформації визначається за методикою Шеннона. Потенційно можливу мінімальну кодову відстань d_{min} для блокових кодів (n, k) можна приблизно визначити, використовуючи різні оцінки:

- з використанням межі Плоткіна

$$d_{min} \leq n \frac{2^k - 1}{2^k - 1}, \quad (3.8)$$

- з використанням межі сферичної упаковки Хеммінга

$$2^{n-k} \geq \sum_{i=0}^k C_n^i. \quad (9)$$

Використання кодів такого типу вимагає оцінювання кількості інформаційних розрядів і кількості помилок, що виправляються. Графік, який ілюструє частку інформативних розрядів k у кодових комбінаціях для $d_{min} = 3$ та $d_{min} = 5$ (відповідно виправлення однієї та двох помилок) наведений на рис. 1. Так, для виправлення двох помилок, мінімальною кількістю розрядів $n2_{min}|_{d_{min}=5} = 7$, а для однієї – $n1_{min}|_{d_{min}=3} = 3$.

Велике значення має також час передавання інформації. Графік залежності часу передавання залежно від обсягу файла, що передається, наданий на рис. 2.

Оскільки для виправлення однієї помилки можна ефективно використати чотири інформаційні розряди з трьома контрольними, а послідовний інтерфейс передає інформацію байтами, то перепакування даних до повних восьми розрядів дає певний вигравш в часі, який ілюструється на рис. 3.

Таким чином, для забезпечення оптимального режиму роботи необхідно визначити параметри передавання, які описуються виразами (5), (7).

Для визначення максимальної довжини блока передавання необхідно врахувати, що коди з виправленням помилок призначені для корегування лише певної кількості помилок, яка визначається кодовою відстанню. Якщо всі помилки у блоці виправити неможливо, то блок необхідно передавати знову. Наявність зворотного каналу передбачає передавання спеціальних сигналів після надходження кожного блока щодо наявності невірних помилок, тобто щодо правильності або неправильності передавання блока.

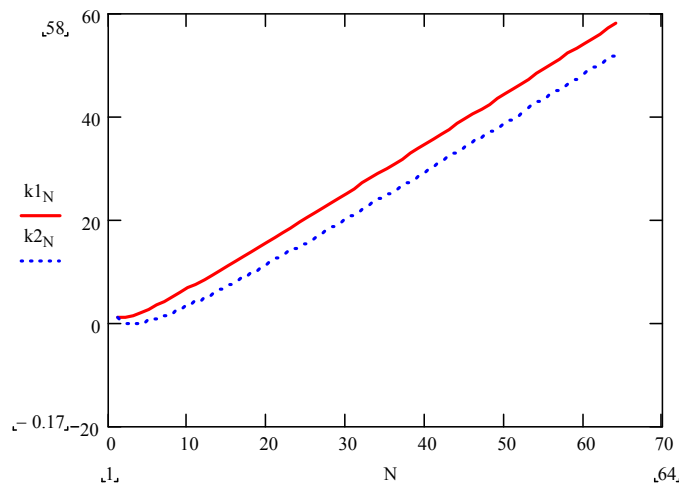


Рис. 1. Кількість інформаційних розрядів $k1|_{d_{min}=3}$ та $k2|_{d_{min}=5}$ у блоці повідомлення при різній його довжині N_b

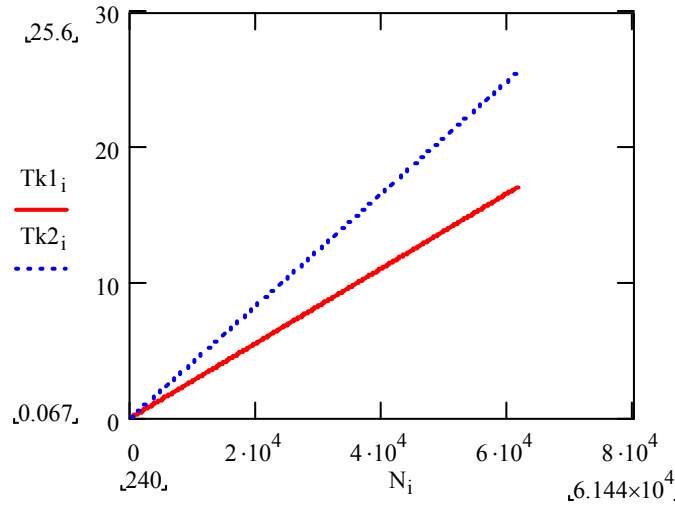


Рис. 2. Залежність часу передавання $Tk1_i|_{d_{\min}=3}$ та $Tk2_i|_{d_{\min}=5}$ від довжини блока повідомлення N_b

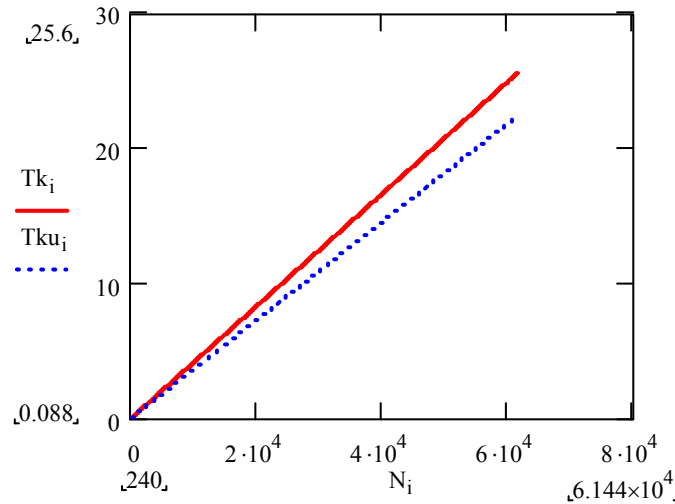


Рис. 3. Залежність часу передавання Tk (без перегрупування даних) та Tki (з перегрупуванням даних) від довжини блока повідомлення N_b

Властивості симетричного каналу без пам'яті передбачають, що помилки будуть незалежними, а імовірності $p_{np,i}$ приймання кожного i -го блока не будуть залежати від попередніх передач [2].

Імовірність того, що кодова комбінація з n символів буде прийнята без помилок (їх кількість не перевищить потенційної здатності коду t_n), підпорядковується біноміальному закону розподілу і може бути визначена через бета-функції [5]:

$$p_{np.бл.} = \sum_{j=0}^t C_n^j \cdot p_0^j \cdot (1-p_0)^{n-j}, \tag{10}$$

де p_0 – імовірність помилки на один символ.

$$p_{np.бл.} = \frac{B_{(1-p_0)}(n-t, t+1)}{B(n-t, t+1)}, \tag{11}$$

$$B_{(1-p_0)}(z, y) = \int_0^{1-p_0} x^{z-1} (1-x)^{y-1} dx;$$

$$B(z, y) = \int_0^1 x^{z-1} (1-x)^{y-1} dx.$$

Для кожного p_0 ефективна швидкість передавання може бути визначена з урахуванням кодової відстані d , яка характеризує кількість додаткових контрольних розрядів [6].

На рис. 4 наведений графік імовірності безпомилкового передавання залежно від довжини кодової комбінації при виправленні однієї та двох помилок.

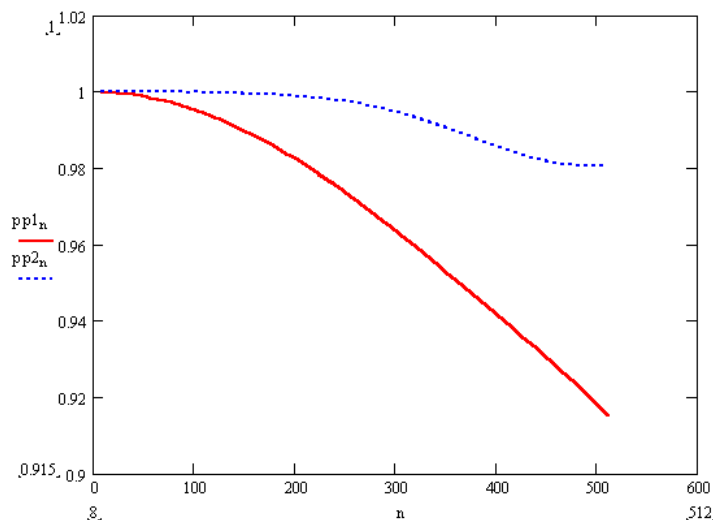


Рис. 4. Імовірності безпомилкового передавання залежно від довжини кодової комбінації N при виправленні однієї ($pp1_n$) та двох ($pp2_n$) помилок і $p_0 = 10^{-3}$

Залежно від імовірності p_0 спотворення елементарного сигналу, канали зв'язку мають певну градацію [7]. Для них визначені імовірності спотворення $p_{0.1} = 10^{-1}$, $p_{0.2} = 10^{-2}$, $p_{0.3} = 10^{-3}$, $p_{0.4} = 10^{-4}$, $p_{0.5} = 10^{-5}$ тощо. Для цих видів каналів побудовані графіки імовірностей безпомилкового передавання при виправленні однієї та двох помилок (відповідно рис. 5 та 6).

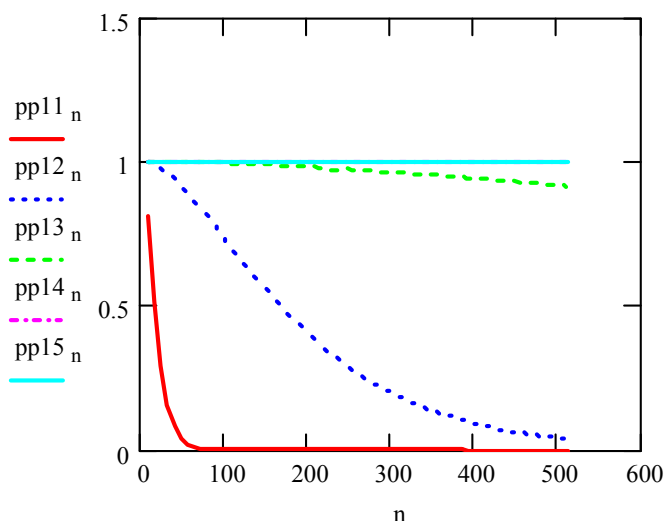


Рис. 5. Імовірності безпомилкового передавання залежно від довжини кодової комбінації n при виправленні однієї помилки і $p_{0.1} = 10^{-1}$, $p_{0.2} = 10^{-2}$, $p_{0.3} = 10^{-3}$, $p_{0.4} = 10^{-4}$, $p_{0.5} = 10^{-5}$

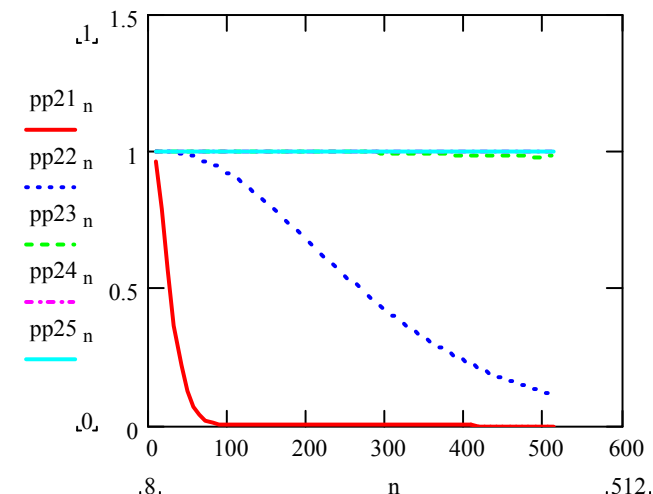


Рис. 6. Імовірності безпомилкового передавання залежно від довжини кодової комбінації n при виправленні двох помилок і $p_{0.1} = 10^{-1}$, $p_{0.2} = 10^{-2}$, $p_{0.3} = 10^{-3}$, $p_{0.4} = 10^{-4}$, $p_{0.5} = 10^{-5}$

За аналогією з цим, доцільно побудувати залежності імовірностей безпомилкового передавання інформації з виправленням однієї та двох помилок на байт, а також аналогічні залежності при різних градаціях імовірності помилки спотворення елементарного сигналу каналом зв'язку (рис. 7–9).

Отримані залежності показують не лише переваги передавання інформації в байтовому форматі, але й чітко вказують, що при погіршенні якості зв'язку необхідно зменшувати довжину блока даних, що передається [7].

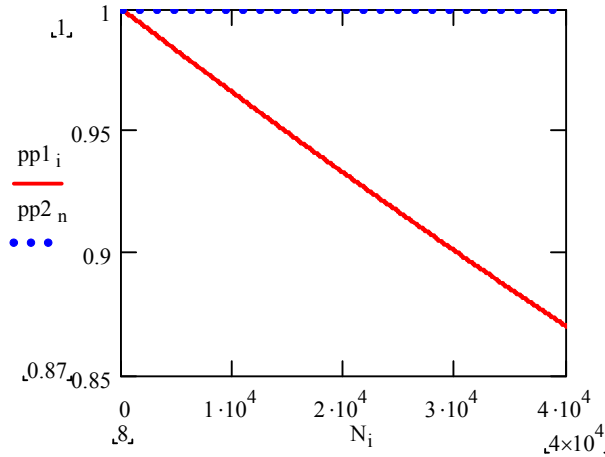


Рис. 7. Імовірності безпомилкового передавання залежно від довжини кодової комбінації N при виправленні однієї ($p1_n$) та двох ($p2_n$) помилок на байт, $p_0 = 10^{-3}$ і передаванні байтами ($n = 8$)

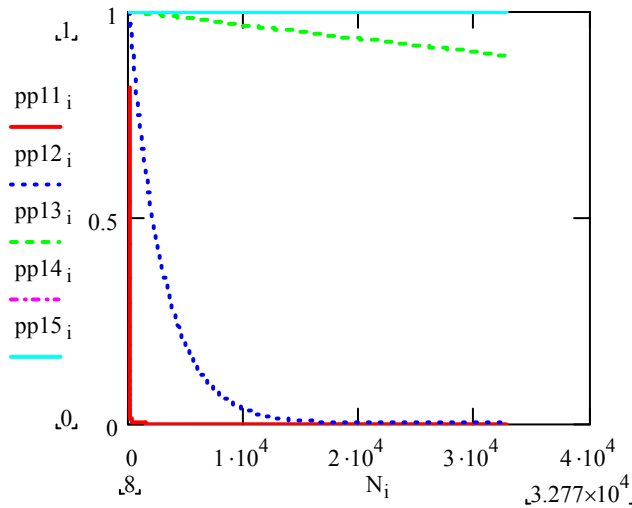


Рис. 8. Імовірності безпомилкового передавання залежно від довжини кодової комбінації N при виправленні однієї помилки на байт, $p_{0,1} = 10^{-1}$, $p_{0,2} = 10^{-2}$, $p_{0,3} = 10^{-3}$, $p_{0,4} = 10^{-4}$, $p_{0,5} = 10^{-5}$ і передаванні байтами ($n = 8$)

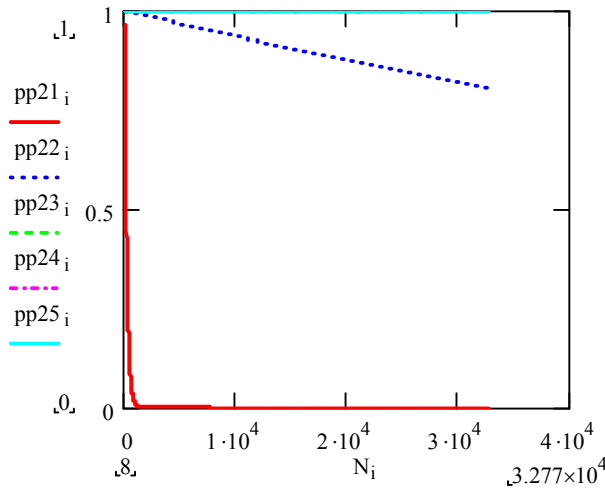


Рис. 9. Імовірності безпомилкового передавання залежно від довжини кодової комбінації N при виправленні двох помилок на байт, $p_{0,1} = 10^{-1}$, $p_{0,2} = 10^{-2}$, $p_{0,3} = 10^{-3}$, $p_{0,4} = 10^{-4}$, $p_{0,5} = 10^{-5}$ і передаванні байтами ($n = 8$)

Висновки

Таким чином, визначено показник якості передавання інформації для випадків використання завадозахищеного (n, k) -кодування, який залежить від складу вектора сигналу, що передається, імовірності спотворення елементарного сигналу, довжини блоку, що передається, а також кількості помилок, що виправляються. Це дозволяє визначити параметри, які впливають на вірогідність передавання та якість використання каналу, і визначити напрямки для формування підходу до побудови процедури адаптивного вибору методу кодування. Проведено чисельний аналіз залежності параметрів передавання та імовірності безпомилкового передавання від довжини блоку повідомлення для різних видів кодів і типів каналів, що дозволило визначити необхідні умови побудови системи зв'язку.

Література

1. Кривогубченко С. Г. Особливості використання завадозахищених кодів для закриття інформації при передаванні колективними лініями зв'язку / С. Г. Кривогубченко, М. М. Компанець, А. Я. Кулик // Збірник наукових праць Донецького державного технічного університету. Сер. "Електротехніка і енергетика". – 2000. – Вип. 17. – С. 65–69.
2. Кулик А. Я. Адаптивне передавання інформації каналами зв'язку / А. Я. Кулик, С. Г. Кривогубченко, М. М. Компанець // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2003. – № 1–2 (5–6). – С. 174–176.
3. Ручкин В. Закономерность изменения эффективности накопления сигнала двоичного кода [Електронний ресурс] / В. Ручкин. – Режим доступу: http://www.otwet.ru/study/raznoe/zakon_eff.html
4. Кривогубченко С. Г. Особливості використання завадозахищених кодів для закриття інформації при передаванні колективними лініями зв'язку / С. Г. Кривогубченко, М. М. Компанець, А. Я. Кулик // Збірник наукових праць Донецького державного технічного університету. Сер. "Електротехніка і енергетика". – 2000. – Вип. 17. – С. 65–69.
5. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Левин Б. Р. – М.: Советское радио, 1974. – 552 с.
6. Чикин А. В. Способ нахождения оптимальных по критерию "эффективная скорость передачи информации" параметров блочного кода в двоично-симметричном канале без памяти [Електронний ресурс] / А. В. Чикин // Труды МАИ: электронный журнал. – Режим доступу: http://www.mai.ru/projects/mai_works/articles/num9/article7
7. Лев А. Ю. Недвоичные блочные неразделимые коды, корректирующие ошибки / А. Ю. Лев, Ю. А. Лев, В. Н. Охрименко // Зв'язок. – 2002. – № 2. – С. 48–50.

Надійшла 21.9.2010 р.

УДК 004.032.26

М.В. ОЛЕКСІВ

Національний університет "Львівська політехніка"

ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ, ЩО ПРЕДСТАВЛЕНІ БІНАРНИМИ ЗОБРАЖЕННЯМИ ЇХ СИЛУЕТІВ, ЗА ДОПОМОГОЮ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Розглядається метод проектування штучних нейронних мереж прямого поширення для виявлення літаків за їх силуетами, що представлені бінарними зображеннями, на прикладі літаків АНТК ім. О. К. Антонова.

The method of artificial feedforward neural networks designing for airplanes detection after their silhouettes, which are represented by binary images, by the example of Antonov ASTC airplanes is considered in the paper.

Ключові слова: штучні нейронні мережі, цифрова обробка зображень, виявлення об'єктів.

Вступ

Сучасні системи безпеки все частіше використовують автоматизовані та автоматичні інтелектуальні системи відеонагляду. Ці системи, крім моніторингу, здатні автоматично виявляти та ідентифікувати об'єкти, що можуть нести певні загрози, вимагають акцентування уваги на них, або з будь-якою іншою метою мають відслідковуватися. Такими об'єктами зокрема є літаки.

При розробці цих систем виникає багато проблем. До них можна віднести проблеми розробки методів виявлення і ідентифікації об'єктів; відсутність однозначних вимог до пропорцій між сторонами масштабованих растрових зображень об'єктів різних розмірів; відсутність вимог до інформаційного наповнення зображень. Наявність вимог до зображень дозволяє зменшити спотворення зображених об'єктів при їх масштабуванні і збільшити інформативність зображень. Це, в свою чергу, збільшує точність і надійність інтелектуальних систем відеонагляду.

Залежно від технологій виявлення і ідентифікації об'єктів існують різні вимоги до якості, розмірів, моделі кольору та інформаційного наповнення растрових зображень об'єктів. При використанні штучних нейронних мереж (ШНМ) для розв'язання задач виявлення і ідентифікації об'єктів дозволяється

використовувати растрові бінарні, напівтонові, кольорові зображення дещо нижчої якості, ніж при використанні інших методів. При цьому задачі вибору характеристик вхідних зображень і ШНМ не є однозначно розв'язаними.

Властивості ШНМ тісно пов'язані з алгоритмом їх навчання. Задача вибору такого алгоритму для розробки ШНМ, що виявляє чи ідентифікує об'єкти за растровими зображеннями їх силуетів, також не розв'язана.

Аналіз відомих рішень

Відомо багато методів розв'язання задачі виявлення об'єктів за їх растровими зображеннями. Більшість з них є спеціалізованими або має відмінності в застосуванні для різних об'єктів. Для виявлення літаків на растрових зображеннях сцени зі складним фоном застосовуються методи, що базуються на ШНМ [1, 2, 8], зокрема в [1] розглядається система візуального виявлення літаків зі штучного супутника Землі, недоліком якої є те, що вона працює з однією з можливих проєкцій літаків, а саме – вид зверху, що зумовлено специфікою використання системи. ШНМ використовуються також в системах, що здійснюють ідентифікацію різних видів літаків, проте вони вимагають високоякісних зображень і високопродуктивних апаратних обчислювальних засобів [1]. Для виявлення літаків також застосовуються методи, що використовують кластеризацію по розташуванню, зокрема в [1] описано застосування цього методу для розв'язання задачі виявлення літаків; методи, що базуються на пошуку і порівнянні особливих ознак, фрактальному опрацюванні зображень [9], контурному аналізі [7], шаблонні методи тощо. Частина цих методів застосовується і при ідентифікації літаків.

Методи, що використовують кластеризацію по розташуванню чутливі до коректного вибору та обчислення композиції параметрів повороту, переносу і масштабування. При практичній реалізації потребують багато обчислювальних ресурсів. Фрактальні методи вимагають наявності опису класів цілей на мові ознак у вигляді фрактальних розмірностей або фрактальних сигнатур в рамках парадигми «топология цілі – її фрактальна розмірність» [6]. Методи хоч і показують хороші результати, але процес виявлення та ідентифікації має відмінності для різних видів зображень, що позбавляє їх універсальності. Шаблонні методи коректно працюють за умови наявності відповідного шаблону сцени, що спостерігається, або її фрагменту в базі даних шаблонів. Це потребує додаткового створення і підтримання бази даних, методів ефективної роботи з нею. Хороші результати при розв'язанні цієї задачі демонструють ШНМ [1– 5]. Завдяки своїй нелінійності вони надають можливість використання зашумлених бінарних, напівтонових, кольорових вхідних растрових зображень силуетів об'єктів, що можуть отримуватися з будь-якої точки спостереження і в будь-якому ракурсі. Забезпечують можливість практичного розв'язання задачі виявлення в режимі реального часу при використанні сучасної елементної бази.

Постановка задачі

При розробці інтелектуальних систем відеонагляду існує задача проєктування ШНМ прямого поширення для виявлення об'єктів, в тому числі і літаків, за бінарними зображеннями їх силуетів у видимому діапазоні. Дана задача поділяється на такі підзадачі:

- визначення характеристик вхідних бінарних зображень літаків;
- визначення структури ШНМ і її характеристик;
- визначення найефективнішого алгоритму навчання ШНМ.

Метою роботи є розробка методу проєктування ШНМ для розв'язання задачі виявлення літаків за бінарними зображеннями їх силуетів.

Визначення характеристик бінарних зображень літаків на вході ШНМ

При проєктуванні ШНМ для розв'язання задачі виявлення об'єктів, в тому числі і літаків, постає задача вибору розміру вхідного шару ШНМ. Відомо, що розмір вхідного шару ШНМ прямого поширення, що виявляє або ідентифікує не стиснені растрові зображення об'єктів, рівний площі вхідного зображення [8]. Таким чином, кожен піксел вхідного зображення надходить на вхід окремого нейрона. Отже, задача вибору розміру вхідного шару ШНМ зводиться до задачі вибору розміру вхідних бінарних зображень об'єктів. Якщо цими зображеннями є зображення літаків, то проблема ускладнюється тим, що різні моделі літаків різняться не лише своїми геометричними розмірами, пропорціями між ними, а й точками, з яких ці зображення отримані. При цьому такі зображення мають містити максимальну кількість інформації, мати мінімальну необхідну площу для коректного виявлення або ідентифікації, і володіти стійкістю до спотворень при масштабуванні. Зображення містить максимальну кількість інформації тоді, коли відношення площі зображеного об'єкта до загальної площі зображення є максимальним. Тобто тоді, коли об'єкт займає максимально можливу площу на прямокутному тлі зображення.

При розв'язанні задачі визначення розмірів вхідних бінарних зображень літаків досліджувалися співвідношення між лінійними розмірами ширини, довжини і висоти літаків АНТК ім. О. К. Антонова (табл. 1), *Boeing* (табл. 2) та *Airbus* (табл. 3). Вважається, що в кадрі можуть бути одночасно відображені проєкції ширини, висоти і довжини літака під різними кутами. Частковим випадком є відображення літака у фас, профіль, знизу і зверху. При відображенні у фас враховуються лише ширина і висота, при відображенні в профіль – довжина і висота. Зауважимо, що максимальний розмір довжини, ширини чи висоти отримується за умови розташування камери по нормалі до відповідної проєкції об'єкта, що спостерігається. З метою мінімізації спотворень бінарного зображення літака для ширини зображення вибрано максимальне значення серед максимальних значень відношень ширини і довжини до висоти кожної з моделей літаків помножене

на висоту зображення. Мінімумально допустима висота зображення вибрана експериментально для мінімізації обчислювальних ресурсів при збереженні точності роботи нейронної мережі і рівна 8-и пікселам. Аналітично дані твердження представлені формулою:

$$W = \left\lceil \max(\max(\frac{Wp_i}{Hp_i}), \max(\frac{Lp_i}{Hp_i}) + 0,5) \right\rceil * H \text{ (пікселів)}, \quad (1)$$

де $i = \overline{1, N}$, N – загальна кількість моделей літаків, що виявляються; W – ширина зображення літака в пікселях; H – висота зображення літака в пікселях, $H > 7$ пікселів; Wp_i, Lp_i, Hp_i – відповідно лінійні розміри ширини, довжини, висоти i -ї моделі літака виражені в метрах.

Таблиця 1

Співвідношення між лінійними розмірами літаків АНТК ім. О. К. Антонова

Модель	Ширина (Wp), м	Довжина (Lp), м	Висота (Hp), м	Відношення
АН-12	38	33	10	3.8: 3.3: 1
АН-14	22	11	4,3	5.1: 3: 1
АН-22	64	57	12	5.3: 4.7: 1
АН-24,26,34	29	23	8	3.6: 2.8: 1
АН-28	22	13	4,6	4.7: 2.8: 1
АН-30, 32	29	24	8,3	3.5: 2.9: 1
АН-38	22	15,5	4,3	5: 3.6: 1
АН-70	44	40	16	2.8: 2.5: 1
АН-72, 74	32	28	8,6	3.7: 3.2: 1
АН-124	72	69	21	3.4: 3.2: 1
АН-140	24,5	22,6	8,2	3: 2.7: 1
АН-148	29	29	8,2	3.5: 3.5: 1
АН-225	88,4	84	18	5: 5: 1

Таблиця 2

Співвідношення між лінійними розмірами літаків Boeing

Модель	Ширина (Wp), м	Довжина (Lp), м	Висота (Hp), м	Відношення
B-707	40	44	13	3: 3,3: 1
B-717	28	37	9	3.1: 4.1: 1
B-727	33	47	10	3.3: 4.7: 1
B-737	34	42	12	2.8: 3.5: 1
B-747	68	76	19	3.5: 4: 1
B-757	38	54	14	2.7: 3.9: 1
B-767	52	61	16	3.3: 3.8: 1
B-777	65	74	19	3.4: 3.9: 1
B-787	60	63	16	3.8: 4: 1

Таблиця 3

Співвідношення між лінійними розмірами літаків Airbus

Модель	Ширина (Wp), м	Довжина (Lp), м	Висота (Hp), м	Відношення
A-300	45	54	17	2.6: 3.1: 1
A-310	44	47	16	2.8: 3: 1
A-320	34	38	12	2.8: 3.2: 1
A-330	60	64	17	3.5: 3.8: 1
A-340	63	75	17	3.7: 4.4: 1
A-350	64	74	17	3.7: 4.4: 1
A-380	80	73	24	3.3: 3: 1

Як показали експериментальні дослідження, літаки, що представлені бінарними зображеннями з такими пропорціями, коректно виявляються будучи зазнятими у фас, профіль, знизу, зверху, під різними кутами і напрямками руху за умови повного потрапляння в кадр. Ці зображення володіють стійкістю до спотворень при масштабуванні.

Визначимо розмір вхідних зображень при виявленні літаків АНТК ім. О. К. Антонова засобами ШНМ. Підставляючи в (1) значення ширини, довжини і висоти з табл. 1 отримуємо: $W = \lceil \max(5, 3; 5) + 0,5 \rceil * 8 = 40$ (пікселів). Таким чином нейронна мережа має мати $40 * 8 = 320$ вхідних нейронів.

Як видно з табл. 1– 3, пропорції зображень літаків Boeing та Airbus задовольняють пропорції вхідних зображень встановлені для літаків АНТК ім. О. К. Антонова. Таким чином дані літаки можуть

виявлятися ШНМ розробленою для літаків АНТК ім. О. К. Антонова за умови включення їх силуетів в навчальну вибірку при проектуванні ШНМ.



Рис. 1. Приклади зображень літака АН-225 в різних ракурсах: а) фас; б) знизу під кутом, літак повністю в кадрі; в) знизу під кутом, літак частково в кадрі; г) ззаду під кутом

Приклади відділених від фону зображень літака АН-225, що відповідають (1), а також використовуються при навчанні ШНМ відображено на рис. 1.

Проектування ШНМ для виявлення літаків АНТК ім. О. К. Антонова

Для розв’язання поставленої задачі розроблена повнозв’язна ШНМ прямого поширення, що володіє такими характеристиками:

- 1) вхідне зображення масштабоване до розміру 40x8 пікселів (320 точок);
- 2) адаптована для виявлення літаків АНТК ім. О. К. Антонова;
- 3) топологія ШНМ 320 – 20 – 2 вибрана експериментально (рис. 3);
- 4) для навчання використовувалася навчальна множина з 11743 бінарних зображень літаків АНТК ім. О. К. Антонова (рис. 1).

Вибір розміру прихованого шару обґрунтовується на рис. 2.

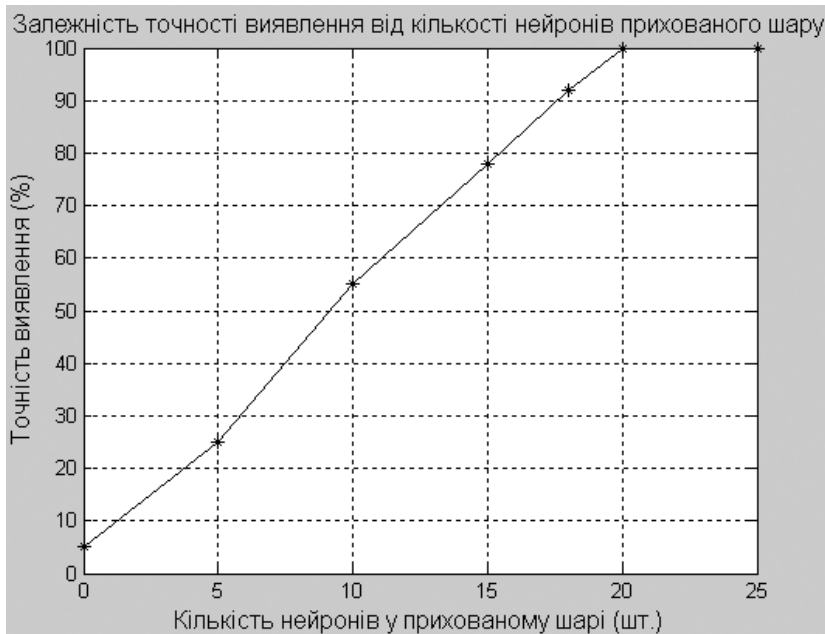


Рис. 2. Залежність точності виявлення літаків АНТК ім. О. К. Антонова від кількості нейронів прихованого шару для навчальної вибірки

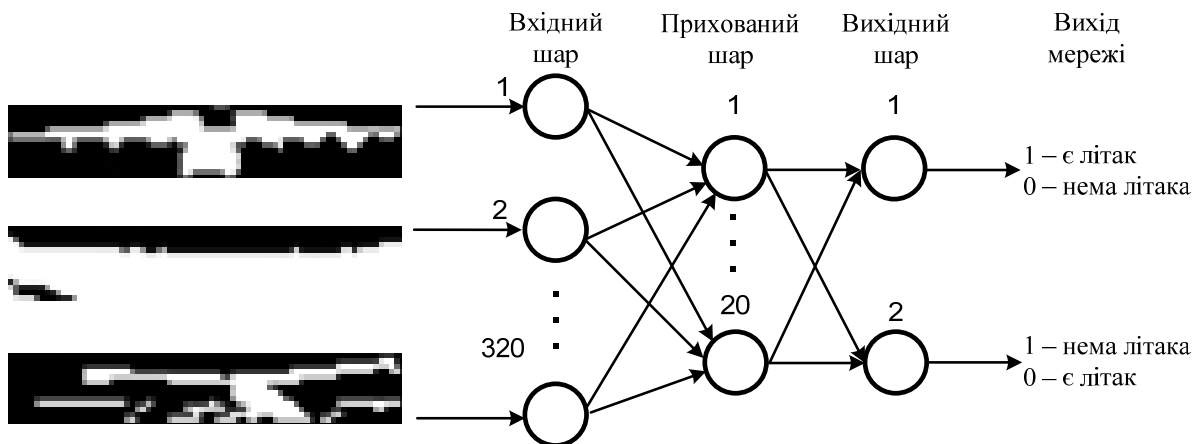


Рис. 3. Топологія досліджуваної штучної нейронної мережі

На першому виході нейронної мережі встановлюється 1, якщо на вхідному зображенні присутне зображення літака і 0 у протилежному випадку. На другому виході навпаки, 1 встановлюється, якщо на вхідному зображенні літак відсутній і 0 у протилежному випадку (рис. 3).

Ця ШНМ є достатньо простою і може функціонувати в режимі реального часу на сучасній елементній базі. Конкретні часові характеристики функціонування залежать від використаної елементної бази, а особливо від наявності чи відсутності математичного співпроцесора та можливості здійснювати паралельні обчислення вибраним обчислювачем.

Вибір алгоритму навчання та навчання ШНМ

Проведені дослідження алгоритмів навчання ШНМ для бінарних зображень літаків показали схожі результати на ті, що описані в [3] для напівтонових зображень. Зокрема алгоритми зі змінним коефіцієнтом (параметром) навчання, зі змінним коефіцієнтом (параметром) навчання і моментом та еластичного зворотного зв'язку виявилися непридатними для розв'язання цієї задачі. Для бінарних зображень силуетів літаків, так само як і для напівтонових [8], найкращі результати навчання показав алгоритм градуйованого спряженого градієнту (рис. 4). Зокрема на навчальній множині точність виявлення досліджуваною нейронною мережею, що навчена за його допомогою, складає 100 %, а на контрольній – 99 %.

Критерієм припинення навчання для вибраного алгоритму є досягнення однієї з 3-ох умов:

- 1) досягнення максимальної кількості навчальних епох;
- 2) досягнення мінімального значення градієнта;
- 3) досягнення очікуваного значення середньоквадратичної похибки.

Даним критеріям встановлені наступні значення:

- 1) максимальна кількість навчальних епох – 150 000;
- 2) мінімальне значення градієнта – 10^{-6} ;
- 3) очікуване значення середньоквадратичної похибки – 10^{-10} .

Вибір значення критерію 1 здійснюється з метою обмеження часу навчання нейронної мережі.

Вибір значень критеріїв 2 і 3 здійснюється так, що при їх досягненні нейронна мережа, що навчалася за допомогою використаного алгоритму, має мінімальне відхилення між очікуваним і отриманим результатом, і відсутній ефект перенавчання.

Базовий алгоритм зворотного поширення похибки потребує значно більше часу для свого виконання, але потенційно може показати дещо кращі результати в порівнянні з алгоритмом градуйованого спряженого градієнту [8]. Проте під час досліджень йому не вдалося це зробити. Найближчим конкурентом обраному алгоритму є алгоритм спряженого градієнту в модифікації Флетчера-Рівза. Проте він показав гірший показник кінцевої середньоквадратичної похибки при навчанні, ніж обраний алгоритм, хоча на точність виявлення при дослідженнях це не вплинуло.

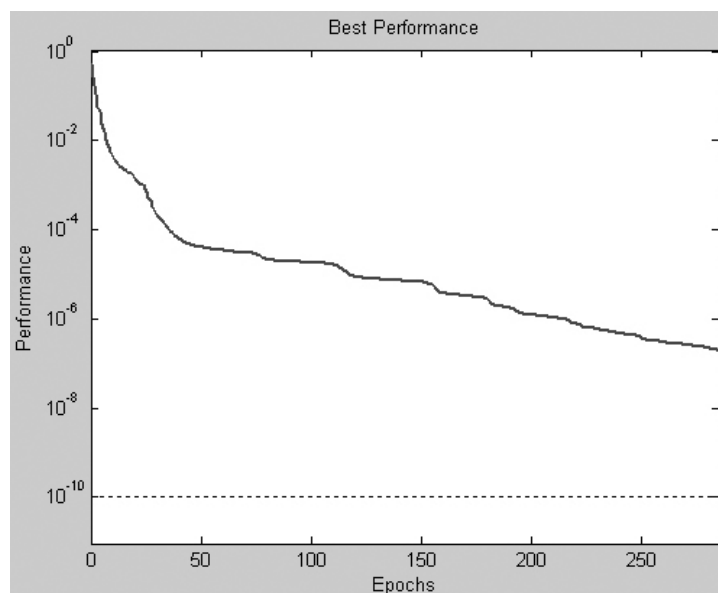


Рис. 4. Результати навчання ШНМ алгоритмом градуйованого спряженого градієнту

Під час експериментальних досліджень було встановлено, що ймовірність хибного виявлення літака на складному фоні тестових сцен не перевищує 2 %, а ймовірність хибного відкидання (не виявлення) літака не перевищує 2,5 % при розмірі літака 40*8 пікселів. Ці показники більше залежать від якості розбиття сцени на об'єкти, ніж від інших впливів. Обидва показники поступово зменшуються до 0 % при поступовому збільшенні площі літака до розмірів сцени, що відповідає поступовому зближенню літака з камерою при заході на посадку. Якщо об'єкт занадто великий, щоб бути відображеним на сцені повністю, то хибне відкидання становить 100 %, а хибне виявлення становить 0 %, оскільки літак не виявлятиметься мережею доти, доки сцена не міститиме понад 65 % корпусу літака при зображенні в фас і понад 70 % при зображенні в профіль і знизу за умови, що на бінарному зображенні чітко відслідковуються крила літака.

Алгоритм виявлення літаків засобами ШНМ

Виявлення літаків засобами ШНМ прямого поширення здійснюється шляхом масштабування вхідного бінарного зображення невідомого об'єкту до розміру 40 x 8 пікселів. При цьому отримана площа зображення рівна розміру входу нейронної мережі. Масштабоване зображення надходить на вхід ШНМ, яка здійснює виявлення. Результатом роботи ШНМ є ймовірність того, що зображення невідомого об'єкту є бінарним силуетом літака. Об'єкт вважається літаком, якщо ймовірність цього складає більше 0,5. Граф-схема алгоритму виявлення літака зображена на рис. 5. Вхідним зображенням для даного алгоритму є сцена розбита на об'єкти. При цьому літак має бути виділений як один об'єкт.

Даний алгоритм повторюється для кожного з виділених об'єктів на бінарному зображенні сцени.

Висновки

Розроблено вимоги до вхідних бінарних зображень літаків і метод визначення розмірів цих зображень. Ці зображення визначають розмір вхідного шару ШНМ, що розв'язує задачу виявлення літаків.

Розроблено і досліджено повнозв'язну ШНМ прямого поширення з топологією 320-20-2, яка на 100 % коректно здійснює виявлення літаків на навчальній множині і на 99 % – на контрольній множині.

Найефективнішим алгоритмом навчання ШНМ прямого поширення для розв'язання задачі виявлення літаків є алгоритм градуїзованого спряженого градієнту.



Рис. 5. Граф-схема алгоритму виявлення літака на бінарному зображенні

Література

1. Галушкин А. И. Нейрокомпьютеры в разработках военной техники США / А. И. Галушкин // Зарубеж. радиоэлектроника. – 1995. – № 5.
2. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс – М: Техносфера, 2005. – С. 1028– 1033.
3. Олексів М. Дослідження алгоритмів навчання нейронної мережі прямого поширення для ідентифікації літаків / М. Олексів, В. Пуйда // Вісник НУ “Львівська політехніка”: Комп’ютерні системи та мережі. – 2008. – № 630. – С. 87– 91.
4. Олексів М. Підсистема ідентифікації силуетів літаків та номерів їх бортів / М. Олексів, В. Пуйда // Вісник НУ “Львівська політехніка”: Комп’ютерні науки та інформаційні технології”. – 2007. – № 604. – С. 228– 231.
5. Олексів М. Система технічного зору для ідентифікації літаків на основі нейронної мережі / М. Олексів, В. Пуйда // Вісник НУ “Львівська політехніка” “Комп’ютерні науки та інформаційні технології”. – 2009. – № 638. – С. 61– 64.
6. Новейшие методы обработки изображений. / [Потапов А. А., Гуляев Ю. В., Никитов С. А., и др.]; под ред. Потапова А. А. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.
7. Введение в контурный анализ; приложения к обработке изображений и сигналов / [Фурман Я. А., Кревецкий А. В., Передреев А. К., и др.]; под ред. Фурмана Я.А. – [2-е изд., испр.] – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 592 с.
8. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс / Хайкин С. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1104 с.
9. Stockman G., Kopstein S., Benett S. Matching images to models for recognition and object detection via clustering. IEEE Trans. PAMI, v. PAMI-4 (3), 1982. – P. 229– 241.

Надійшла 6.9.2010 р.

ЕНТРОПІЙНІ МЕТОДИ ФОРМУВАННЯ ТА ОПРАЦЮВАННЯ СИГНАЛІВ В РОЗПОДІЛЕНИХ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ

В статті представлено метод формування та цифрового опрацювання сигналів з використанням ентропійної моделі у спеціалізованих комп'ютерних системах. Використання даної моделі забезпечує високий рівень захисту від впливу інтенсивних промислових завод і несанкціонованого доступу.

A method of forming and digital signal processing using the entropy model in specialized computer systems is presented in the article. Using this model provides a high level of protection from exposure to intense industrial noise and unauthorized access.

Ключові слова: спеціалізовані комп'ютерні системи, опрацювання сигналів, ентропійна модель.

Постановка задачі

Спеціалізовані комп'ютерні системи (СКС) належать до класу проблемно-орієнтованих комп'ютерних систем, вбудованих та розподілених комп'ютерних систем (РКС) реального часу, а також суперфункціональних КС спеціального призначення та відповідного програмно-апаратного виконання.

СКС повинні володіти відповідними, унікальними характеристиками алгоритмічної, структурної, ємнісної, апаратної складності, надійності та живучості – особливими умовами, критичними чи жорсткими обмеженнями на системні параметри часу, швидкодії, об'єму пам'яті та операційного інтелекту.

СКС – це КС для розв'язання багатьох відносно вузьких класів задач, оптимізовані в певній критеріальній сукупності.

Аналіз досліджень та публікацій

Для СКС актуальною задачею є вдосконалення методів формування та цифрового опрацювання сигналів. Важливою умовою залишається забезпечення високого рівня захисту від інтенсивних промислових завод. Такий рівень захисту надають методи формування сигналів зі змінною ентропією, які активно досліджуються [1–3].

При створенні СКС адаптованих та проблемно-орієнтованих до задач реальних об'єктів широко використовуються методи інформаційного опису об'єктів як джерел інформації (ДІ). При цьому, як показано в [4], у загальному випадку стан ДІ достатньо повно описується функціоналом:

$$X_{\text{ДІ}} = F(M_x, D_x, \delta_x, R_{xx}, R_{xy}, S_{\omega}, I_x), \quad (1)$$

де $M_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$ – математичне сподівання;

$D_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - M_x)^2$ – дисперсія;

δ_x – середньо-квадратичне відхилення;

$R_{xx}(j) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i^{\circ} \cdot x_{i+j}^{\circ}$ – функція автокореляції;

$x_i^{\circ} = x_i - M_x$ – центровані значення масиву даних;

R_{xy} – функція або матриця взаємкореляції;

S_{ω} – спектр; I_x – інформаційна міра ентропії.

Традиційно в якості інформаційної міри ентропії використовують формулу Хартлі [5]:

$$H = \log_2 S^n = n \cdot \log_2 S, \quad (2)$$

де H – кількість інформації;

S – число незалежних рівномірних станів ДІ;

n – число вибірок та формулу Шеннона [6]:

$$H = -k \sum_{i=1}^n p_i \log p_i, \quad (3)$$

де k – додатний коефіцієнт, який враховує основу логарифма;

p_i – ймовірність S_i -го стану дискретного ДІ.

Формування цілей

Метою дослідження є розробка нових алгоритмів обчислення ентропії на основі функції автокореляції. Я.М. Николайчуком [1] запропонована формула на основі автокореляційних характеристик ДІ:

$$I_x = \hat{E} \left[\frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m (D_x^2 - R_{xx}^2(j)) \right], \quad (4)$$

де m – число точок функції $R_{xx}(j)$ на інтервалі кореляції.

Оскільки автокореляційна функція несе всю інформацію про спектр сигналу, то згідно з формулою (4) ентропію і спектр можна представити у вигляді функціоналів

$$I_x = F(M_x, D_x, R_{xx}), \quad (5)$$

$$S_\omega = F(R_{xx}(j), \omega_j) \quad (6)$$

Як видно з формул (1, 5, 6) використання формули (4) для обчислення міри ентропії дозволяє в достатній мірі описати стан ДІ, оскільки формула ентропії включає інтегральні характеристики, які входять до функціоналу (1).

Фундаментальне обмеження Шеннона в ентропійних моделях. В основі принципу опрацювання інформації в ентропійній моделі СКС стоїть використання автокореляційної ентропії процесів (2) при формуванні широкосмугових сигналів, що при малому співвідношенні сигнал/перешкода, дозволяє забезпечити покращення завадостійкості та енергетичної ефективності.

При дослідженні принципів передавання та опрацювання інформації слід враховувати фундаментальне обмеження Шеннона [6], яке для різних видів модуляції буде мати наступний вигляд:

- для амплітудної модуляції (АМ) $\frac{P_c}{P_s} \geq 2$;
- для частотної модуляції (ЧМ) $\frac{P_c(\Delta f)}{P_s(\Delta f)} \geq 2$;
- для фазової модуляції (ФМ) $\frac{P_c(f_i)}{P_s(f_i)} \geq 2$;
- для шумоподібних сигналів (амплітуднофазочастотна модуляція) ШПС (АФЧМ) $\frac{R_{xx}(j)_c}{R_{xx}(j)_s} \geq 2$;
- для ентропійної модуляції (ЕМ) $\frac{I_c}{I_s} \geq 2$.

На основі цих обмежень можна побудувати графік залежності потужності сигналу від передавальної відстані (рис. 1).

Як видно з рис. 1, запропонований ентропійний метод має кращі характеристики в порівнянні навіть з ШПС, оскільки може використовуватися для передачі на більші відстані і в умовах високих промислових завод, що дуже важливо для розподілених СКС.

Принцип опрацювання інформації в ентропійній моделі спеціалізованих комп'ютерних систем. Для передавання та приймання інформації в ентропійній моделі вводять псевдовипадкові або псевдошумові двійкові послідовності в сигнал, що передається модулятором, і видаляють їх із сигналу, який приймається демодулятором. Крім цього при передаванні чи прийманні інформації використовують широкосмугові сигнали, ентропія розподілу ймовірностей станів яких поставлена у відповідність до елементів інформаційного повідомлення, згідно з винаходом додається ентропія ймовірностей переходу з одного стану в інший [2].

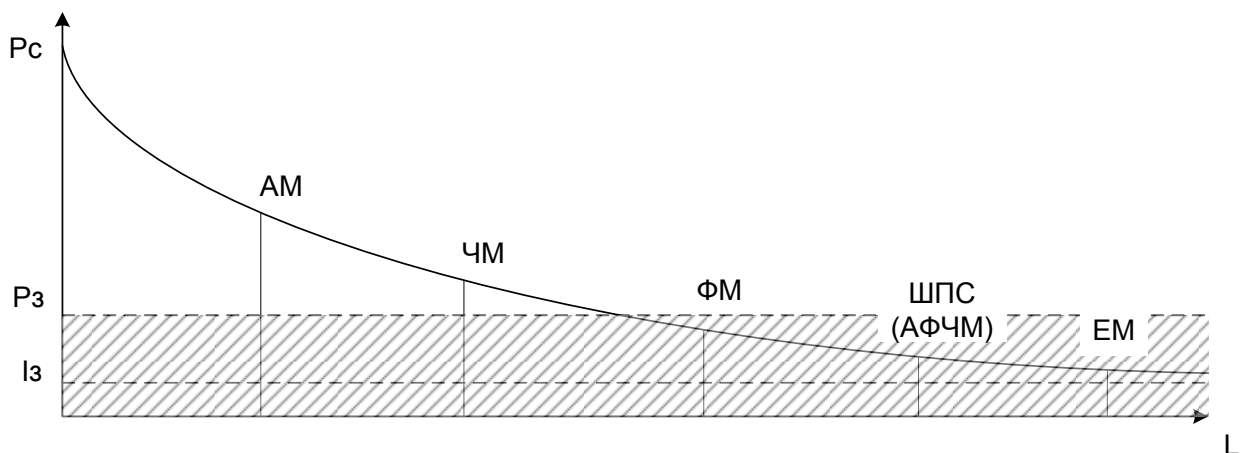


Рис. 1. Графік залежності потужності сигналу (P_c) від передавальної відстані (L):

P_z – потужність завади; I_z – ентропія завади; АМ – амплітудна модуляція; ЧМ – частотна модуляція; ФМ – фазова модуляція; ШПС (АФЧМ) – шумоподібні сигнали (амплітуднофазочастотна модуляція); ЕМ – ентропійна модуляція

Автокореляційна ентропія включає ентропію розподілу ймовірностей станів і ентропію ймовірностей переходу з одного стану в інший.

Основною перевагою використання формули (2) для визначення ентропії є те, що на відміну від формули Шеннона, яка має вигляд (3), вона враховує характер самого процесу, а не тільки розподіл ймовірностей станів. Тобто при одному і тому ж самому значенні ентропії визначеної за Шенноном, значення характеру процесу може бути різним. Цю різницю враховує автокореляційна оцінка ентропії.

В ентропійній моделі (рис. 2) для передавання інформації від джерела 1 використовується каналний кодер 2, який здійснює завадостійке кодування, після чого сигнал подається на модулятор ентропії 3, крім того на цей же пристрій поступає широкопasmовий формуючий сигнал від джерела широкопasmового процесу 4. Форма широкопasmового формуючого процесу може бути детермінована, псевдовипадкова або випадкова. Розширення спектру відбувається шляхом накладання сигналу з каналного кодера 2 на широкопasmовий процес з пристрою 4, так що автокореляційна ентропія широкопasmового процесу протягом заданих проміжків часу ставиться у відповідність до елементів сигналу. Подальша модуляція сигналу відбувається в модуляторі 5 на основі будь-якого з відомих методів модуляції як синусоїдних модульованих сигналів та імпульсних типів модуляції. Сформований сигнал після проходження через пристрій узгодження 6 подається у канал обміну даними 7.

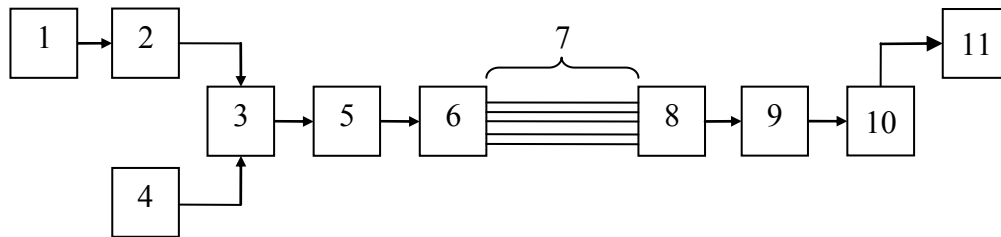


Рис. 2. Ентропійна модель формування та опрацювання інформації СКС:
1 – джерело інформації; 2 – каналний кодер; 3 – модулятор ентропії; 4 – джерело широкопasmового процесу; 5 – модулятор сигналу; 6,8 – пристрій узгодження; 7 – канал обміну даними; 9 – пристрій демодуляції; 10 – детектор кореляційної ентропії; 11 – демодулятор

Отриманий з каналу обміну даними сигнал після проходження через пристрій узгодження 8 поступає на 9 – пристрій демодуляції, який працює згідно з обраним методом. Після цього широкопasmовий сигнал, що містить інформаційне повідомлення, подається на детектор кореляційної ентропії 10, в якому відбувається виділення корисного вузькоспasmового сигналу шляхом визначення крім апостеріорної статистичної оцінки ентропії розподілу відносних частот станів сигналу, додатково динаміку переходу широкопasmового сигналу з одного стану в інший. Це дозволяє покращити завадостійкість і енергетичну ефективність широкопasmового сигналу на стороні приймання. Після каналного декодування в демодуляторі 11 отримується сигнал інформаційного повідомлення.

Висновки

Розроблений принцип опрацювання інформації в ентропійній моделі СКС з використанням автокореляційної оцінки ентропії може фактично застосовуватись в інженерній практиці в реальних СКС для опрацювання інформаційних повідомлень, діагностування станів об'єктів СКС, зменшення надлишковості інформації та ін.

При цьому замість побудови багатьох кореляційних моделей по кожному з характеристичних параметрів M_x , D_x , δ_x , R_{xx} , S_ω виконується оцінка кореляційної міри ентропії.

Література

1. Николайчук Я. М. Теория джерел інформації: [монографія] / Николайчук Я. М. – Тернопіль: ТНЕУ, Економічна думка, 2008. – 396 с.
2. Козленко М. І. Дослідження завадостійкості способу передавання та приймання інформації на основі широкопasmових сигналів із змінною ентропією для дискретних повідомлень / М. І. Козленко, С. І. Мельничук // Електроніка та зв'язок. – 2007. – 2 (37).
3. Воронич А. Р. Методи формування сигналів зі змінною ентропією для провідних і безпроводних комп'ютерних систем / А. Р. Воронич // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 4. – С. 149–153.
4. Погонєць І. О. Методи визначення ентропії джерел інформації / І. О. Погонєць, Я. М. Николайчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – № 2. Т. 1 (90). – С. 93–99.
5. Хартлі Р. Л. Передача информации / Р. Л. Хартлі // Теория информации и ее приложения. – М., 1959. – 350 с.
6. Шеннон К. Э. Работы по теории информации и кибернетика / Шеннон К. Э. – М.: Изд-во иностр. лит., 1963. – 829 с.

Надійшла 21.9.2010 р.

СИНЕКТИКА НАТУРНИХ МЕТОДІВ МАРШРУТИЗАЦІЇ ПОТОКІВ ДАНИХ У АВТОНОМНИХ СИСТЕМАХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

Проаналізовано розв'язок задачі комівояжера за допомогою синектичного методу (мурашиного алгоритму). Перевагою даного методу є можливість використання в комунікаційних системах, які змінюються в часі.

Solving the traveling salesman problem is analyzed by Synectic method (formic algorithm). The advantage of this method is the use of communication systems that change over time.

Ключові слова: маршрутизація потоків даних, телекомунікації, синектика.

Вступ

Для розвитку задач оптимальної маршрутизації в автономних системах використовують дистанційно-векторні методи та протоколи, які враховують стан каналу як за пропускну здатністю, так і за часовою затримкою пакетів. На сьогодні особлива увага дослідників приділена натурним методам опису поведінки самоорганізованих соціальних комах, проблемам рієвого інтелекту.

Постановка завдання

В роботі запропоноване запозичення мурашиних алгоритмів для розв'язку актуальних задач доставки пакетів найкоротшим шляхом в автономних системах телекомунікації. На цьому шляху важливі як врахування реальної динаміки телекомунікаційних систем, так і адаптація до різних чинників невизначеності.

Вихідна умова застосування наводиться на прикладі розв'язку тривіальної задачі комівояжера, в англійській інтерпретації TSP (Traveling Salesman Problem), яка присвячена знаходженню найкоротшого гамільтонового циклу в графі. Саме ця задача, без будь-яких змін в постановці, використовується для розробки архітектури обчислювальних мереж, а також для налагодження нових методів оптимізації. В неформальному вигляді трактується наступним чином: комівояжеру потрібно відвідати W міст, не заходячи в одне і теж місто двічі, і повернутися в вихідний пункт по маршруту з мінімальною вартістю. Отже, даний граф:

$$G = (X, U), \quad (1)$$

де $|X| = n$ – множина вершин (міста), $|U| = m$ – множина ребер (можливі шляхи між містами). Дана матриця значень $D(i, j)$, де $i, j \in 1, 2, \dots, n$ представляють собою вартість проїзду з вершини x_i в x_j . Потрібно знайти перестановку φ з елементів множини X таку, щоб значення цільової функції Fitness (φ) дорівнювало:

$$\text{Fitness}(\varphi) = D(\varphi(1), \varphi(n)) + \sum \{D(\varphi(i), \varphi(i+1))\} \rightarrow \min \quad (2)$$

Застосування мурашиного алгоритму в задачах маршрутизації

Історія виникнення мурашиних алгоритмів оптимізації почалась з вивченням поведінки реальних мурашок. Експерименти з аргентинськими мураками, які проводились Госсом в 1989 і Денеборгом в 1990 році, стали початковою точкою подальшого вивчення рієвого інтелекту. На початку 90-х років ХХ століття ці знання почали застосовувати в дискретній математиці. Автор ідеї доктор М. Доріго (Університет Брюсселя, Бельгія) зміг формалізувати поведінку мурах і застосувати стратегію їх поведінки для розв'язку задачі знаходження найкоротших шляхів. Пізніше було розроблено й інші підходи до розв'язання складних оптимізаційних задач за допомогою мурашиних алгоритмів.

Мурахи, що належать до так званих «соціальних комах», живуть групами і мають розподіл праці в своїй колонії. І хоча мурахи не бачать, вони вміють рухатись по складній місцевості, знаходити їжу далеко від мурашника і повертатись додому; при цьому їхня поведінка часто наближається до теоретично оптимальної. Це відбувається за рахунок низькорівневої взаємодії мурах в колонії, яка здійснюється через специфічну хімічну речовину – феромон, яка залишається як слід під час руху мурахи. При виборі маршруту мураха керується не тільки бажанням пройти найкоротший шлях, але і досвідом інших мурах, інформацію про який отримує безпосередньо через рівень феромона на кожному шляху.

Перевага такої системи поведінки в тому, що використовується тільки локальна інформація, без централізованого керування та звернення до глобального образу.

Мурашиний підхід до розв'язання задачі комівояжера

Розглянемо, яким чином можна пристосувати поведінку колонії мурах до розв'язання задачі комівояжера.

Пошук оптимального маршруту найкоротшого шляху виконується одночасно декількома мураками. Під час руху мураха залишає феромон на шляху – ребрі графа, приваблюючи інших мурах, які залишають нові сліди. Довжина маршруту комівояжера зворотньо-пропорційна кількості феромону, який відкладає мураха на шляху, і чим коротший маршрут знайшла мураха, тим більше на ньому буде відкладено феромону. Таким чином, концентрація феромону визначає шлях, який мураха обере. Але за такого підходу неминуче влучання в локальний оптимум, тобто до випадку, коли всі мурахи будуть рухатись одним і тим же оптимальним маршрутом. Ця проблема вирішується завдяки випаровуванню феромона. Час випаровування не повинен бути дуже великим, тому що виникає загроза збігання мурах до одного

оптимального маршруту. В той же час він не повинен бути і занадто малим, аби не втрачалась інформація про вже знайдені найкращі розв'язки.

З врахуванням особливостей задачі комівояжера, ми можемо описати властивості і правила поведінки мурах при виборі шляху.

1. Кожна мураха володіє власною «пам'яттю», де буде зберігатись список міст $J_{i, k}$, які потрібно пройти мурас k , що знаходиться в місті i . Об'єднання списків дає множину всіх міст з маршруту комівояжера.

2. Мурахам властива «видимість» η – величина обернена до відстані:

$$\eta_{ij} = 1/D_{ij}, \quad (3)$$

де D_{ij} – відстань між містами i та j .

3. Кожна мураха здатна сприймати слід феромону, який буде визначати наміри мурахи пройти по даному маршруту. Рівень феромону в момент часу t на маршруті D_{ij} позначим через $\tau_{ij}(t)$.

4. Ймовірність переходу k -ї мурахи з міста i у місто j розраховується за правилом:

$$P_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in J_i^k} [\tau_{il}(t)]^\alpha [\eta_{il}]^\beta}, & \text{якщо } j \in J_i^k \\ P_{ij}^k(t) = 0, & \text{якщо } j \notin J_i^k, \end{cases} \quad (4)$$

де α і β – регульовані параметри, які є показником інтенсивності сліду феромону та видимості. Якщо $\alpha = 0$, то найвірогіднішим буде перехід у найближчі міста. Якщо $\beta = 0$, тоді працює лише феромонне підсилення, що призводить до швидкого завершення роботи алгоритму через збігання маршрутів усіх мурах до одного субоптимального розв'язку.

5. Після проходження ребра (i, j) кожна мураха k відкладає на ньому деяку кількість феромону:

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = \begin{cases} \frac{Q}{L^k(t)}, & \text{якщо } (i, j) \in T^k(t) \\ 0, & \text{якщо } (i, j) \notin T^k(t), \end{cases} \quad (5)$$

де $T^k(t)$ – маршрут, зроблений мурахою на t -й ітерації;

$L^k(t)$ – довжина цього маршруту;

Q – регульований параметр, який має значення відповідно довжині оптимального шляху.

Інтенсивність випаровування феромона визначається наступним правилом:

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-p)\tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t), \quad (6)$$

де m – кількість мурах;

p – коефіцієнт випаровування ($0 \leq p \leq 1$), що визначає долю феромонів, які залишаються після кожної ітерації.

В простому мурашиному алгоритмі початкове розташування колонії розраховується наступним чином. Кількість мурах дорівнює числу вершин в графі і залишається незмінною під час розв'язання задачі. Кожній мурасі відповідає окреме місце, з якого вона починає свій маршрут. Кількість феромону на ребрах на початку оптимізації приймає значення малої додатної константи τ_0 .

Також використовують модифікації алгоритму з введенням «елітних» мурах, які підсилюють ребра найкращого маршруту T^* , знайденого на початку. Таким чином отримуємо додаткову кількість феромону на ребрах маршруту:

$$\Delta\tau_e = eQ/L^*, \quad (7)$$

де e – кількість «елітних» мурах,

L^* – довжина найкращого маршруту T^* .

Блок-схема мурашиного алгоритму оптимізації маршруту комівояжера

На основі наведених вище міркувань можна побудувати спрощену блок-схему мурашиного алгоритму, наведену на рис. 1.

У порівнянні зі складними методами комбінаторної оптимізації (динамічне програмування, метод гілок та меж тощо) мурашині алгоритми витрачають на пошук оптимального маршруту менше часу.

Переваги та недоліки мурашиного алгоритму

Можна виділити основні переваги даного алгоритму, а саме:

- ефективний за середньої кількості міст, тоді як за невеликої кількості вузлів задача може бути розв'язана повним перебором, а за великої кількості задача є повною NP;
- дає кращий результат, ніж інші методи глобальної оптимізації задачі комівояжера, такі як використання нейронних мереж або генетичних алгоритмів;
- може використовуватись в умовах динамічної зміни маршруту.

Серед недоліків варто зазначити наступні:

- важкий теоретичний аналіз;
- збіжність гарантується, але час збіжності складно розрахувати наперед;
- чуттєвий до якості підготовки початкових даних, які підбираються експериментально.

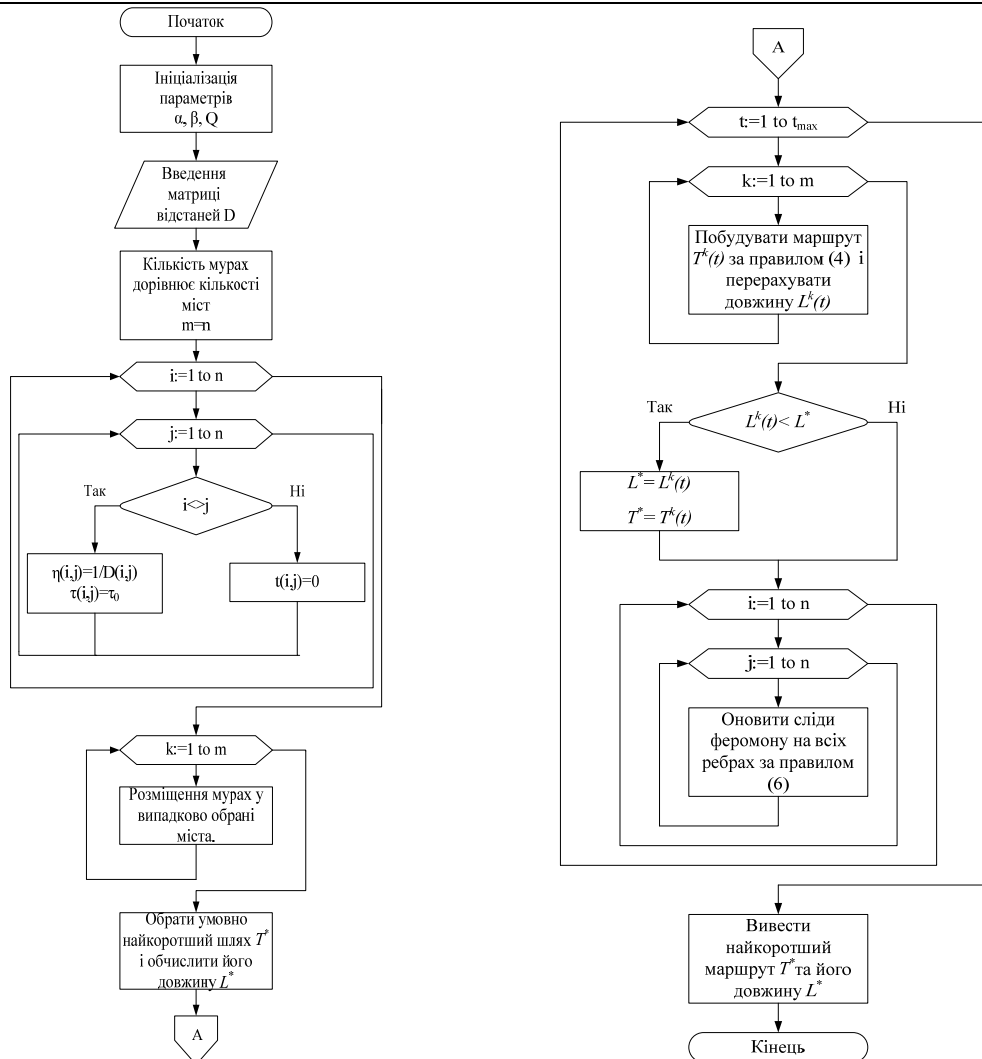


Рис. 1. Спрощена блок-схема мурашиного алгоритму оптимізації маршруту комівояжера

Висновки

Існує багато проблем і нерозв'язаних задач в системах телекомунікації, і можливий розв'язок їх знаходиться, зокрема, в житті природи. В даній роботі наведено приклад розв'язання задачі комівояжера за допомогою синектичного методу (мурашиного алгоритму, який є прототипом поведінки комах в природі).

Оскільки поведінка комах є наближеною до оптимальної завдяки їх взаємодії і використанню лише локальної інформації без звернення до централізованого образу, цей спосіб може бути використаний для маршрутизації потоків даних в системах телекомунікації.

Перевагою даного методу є можливість використання в системах, які змінюються в часі.

Не дивлячись на свою ефективність, цей метод має перспективні шляхи розвитку, наприклад, гібридизація з іншими методами природних обчислень, таких як генетичні алгоритми.

Література

1. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – [3-е изд.]. – СПб: Питер, 2008. – 958 с.
2. Столлинс В. Современные компьютерные сети / Столлинс В. – СПб: Питер, 2003. – 783 с.
3. Уолренд Дж. Телекоммуникационные и компьютерные сети. Вводный курс / Уолренд Дж. – М.: Постмаркс, 2001. – 480 с.
4. Колесніков К. В. Проблеми нейромережевої та адаптивної маршрутизації даних в розподілених системах комунікації / К. В. Колесніков, А. Р. Карапетян, Ю. М. Гришко // Вісник ХНУ. – 2009. – № 2. – С. 178–181.
5. Штовба С.Д., Рудий О.М. Мурашині алгоритми оптимізації / С. Д. Штовба, О. М. Рудий // Вісник ВПШ. – 2004. – № 4. – С. 62–69.

Надійшла 17.9.2010 р.

УСТРОЙСТВО ФОРМИРОВАНИЯ ОСТАТКОВ В МНОГОКАНАЛЬНЫХ ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ КОДЕКАХ

У статті розглянуто відомі методи побудови пристроїв формування залишків у багатоканальних завадостійких кодеках, визначено їх недоліки. Розроблено та запропоновано новий метод, загальна ідея якого полягає в тому, що в структурі пристрою виділяється комбінаційна частина та пам'ять, що дозволяє значно спростити структуру пристрою обчислення залишків у багатоканальних завадостійких кодеках та підвищити його ефективність.

In the article the known methods of constructing residues generator in multichannel noise combating codecs are examined. Their shortcomings were determined. A new method was designed and researched. The common idea of this method is that combination part and storage are separated in device structure. That gives an opportunity to simplify the structure of residues generator in multichannel noise combating codecs and to increase its efficiency.

Ключові слова: багатоканальна система, завадостійкий кодек, пристрій формування залишків, комбінаційна частина.

Постановка проблеми

Проблема підвищення ефективності використання комп'ютерних компонент комунікаційного обладнання являється однією з найбільш актуальних проблем створення сучасних систем обміну інформацією. Ця проблема включає в себе скорочення об'єму обладнання при збереженні функціональних можливостей для засобів передачі інформації, в тому числі для засобів, що використовуються в багатоканальних комунікаційних системах.

Совершенно очевидно, что ни одна современная коммуникационная система не обходится без средств повышения достоверности передачи данных. Особо остро эта проблема проявляется в многоканальных системах, где используются каналы связи различной помехозащищенности и с различными требованиями по достоверности.

Таким образом, актуальной является проблема повышения эффективности устройств защиты от ошибок в многоканальных системах передачи данных. В настоящей работе будут рассматриваться многоканальные средства повышения достоверности, использующие помехоустойчивое кодирование и основанные на вычислении остатков в конечном поле (например, контрольной суммы или синдрома ошибок, соответственно, для кодера и декодера).

Анализ источников и публикаций, посвященных реализации устройств формирования остатков в многоканальных помехоустойчивых кодеках

Реализация устройства формирования остатков в многоканальных помехоустойчивых кодеках может осуществляться за счет использования набора одноканальных устройств формирования остатков, применяемых, например, в системах передачи данных, соответствующих международному стандарту [1], для реализации которого используют регистр сдвига с обратными связями, или устройств, реализованных в соответствии со способом, предложенным в [2].

Однако такой подход не является оптимальным с точки зрения эффективного использования аппаратных ресурсов устройства многоканальной передачи информации.

Известен способ многоканальной передачи дискретной информации [3], в соответствии с которым информационные последовательности, передаваемые по N каналам, подвергаются помехоустойчивому кодированию, используя помехоустойчивый код, в результате получая N кодовых последовательностей. Однако данный способ не описывает процедуры формирования контрольной суммы, что является его недостатком.

Наиболее близким по технической сущности и достигаемому результату является предлагаемое в [4] устройство, которое используется для многоканальной обработки информации с ошибками в системах с избыточным кодированием. Сущность изобретения состоит в способности N -канальной обработки информации в системах с избыточным помехоустойчивым кодированием путем введения N регистров сдвига, мультиплексора, устройства анализа и соответствующих связей.

Недостатком данного устройства является его большая структурная избыточность в силу использования отдельных блоков контроля ошибок в информационных последовательностях для каждого из каналов.

Постановка задачи

Задачей работы является разработка и исследование метода повышения эффективности устройства формирования остатков в многоканальных помехоустойчивых кодеках при одновременном сокращении объема оборудования.

Решение задачи

Устройство формирования остатков в многоканальных помехоустойчивых кодеках предназначается для формирования контрольной суммы (в передающем устройстве) или синдрома ошибки (в приемном устройстве) для каждого из каналов (подканалов) многоканальной системы.

В большинстве случаев процедуры формирования проверочной части и синдрома ошибок идентичны для всех каналов (подканалов) системы и основаны на вычислении остатка (вычета по модулю

некоторого полинома) из поступающих бит за битом блоков данных от N различных каналов вида:

$$R_i(x) = A_i(x) \Big|_{G_{n_i}(x)} = \left. \sum_{j=0}^{T_i-1} a_{ij}x^j \right|_{G_{n_i}(x)}, \quad (1)$$

где $A_i(x)$ – делимое i -го канала (последовательность символов блока данных, представленная в полиномиальной форме);

$G_{n_i}(x)$ – делитель i -го канала (кодировый полином i -го канала);

n_i – порядок кодирового полинома i -го канала;

T_i – число бит в информационной части блока данных i -го канала.

В силу идентичности выполняемых процедур для каждого из каналов, представляется целесообразным выделить в структуре устройства комбинационную часть и память, как это реализовано в [5].

Выделение в структуре устройства комбинационной части и памяти обеспечивает возможность сокращения аппаратных затрат в многоканальных кодеках за счет того, что в многоканальном устройстве можно использовать только одну комбинационную структуру, определяющую алгоритм работы устройства, для всех каналов многоканальной системы.

Память хранит индивидуальные для каждого канала данные и объединена в единый блок ОЗУ. Уменьшение аппаратных затрат и достигается использованием одной комбинационной структуры вместо N структур и одного ОЗУ вместо N блоков памяти одноканального кодека.

На рис. 1 представлена структурная схема устройства формирования остатков в многоканальных кодеках.

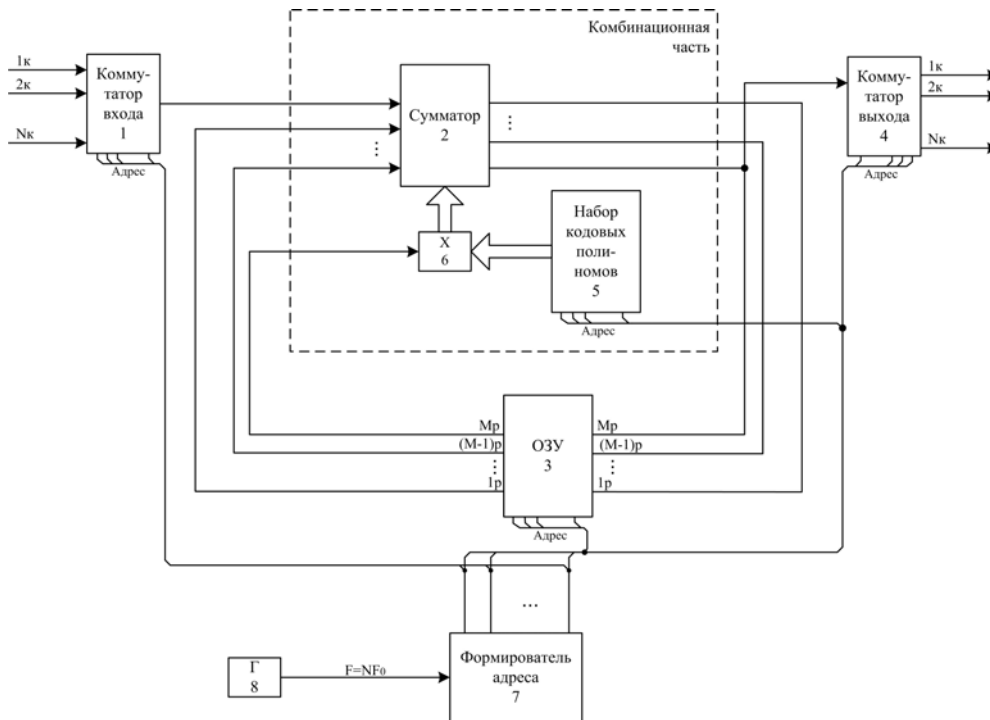


Рис. 1. Структурная схема устройства формирования остатков в многоканальных кодеках

Устройство содержит (рис. 1) коммутатор входа 1, выход которого соединен со входом младшего разряда первого M -разрядного входа сумматора 2. Выход сумматора 2 соединен со входом блока ОЗУ 3. Кроме того, выход старшего разряда M -разрядного выхода сумматора 2 соединен с коммутатором выхода 4. Выходы блока ОЗУ 3, кроме выхода старшего разряда, соединены со входами первого M -разрядного входа сумматора 2 таким образом, что выход первого разряда блока ОЗУ 3 соединен со входом второго разряда первого M -разрядного входа сумматора 2, второго – с третьим, третьего – с четвертым и т.д. На второй вход сумматора 2 поступают данные из блока ПЗУ 5, хранящего набор модифицированных кодировых полиномов вида $G_{n_i-1}(x) = G_{n_i}(x) \oplus x^{n_i-1}$ (это тот же кодировый полином, в котором старший разряд принудительно установлен в ноль, в силу чего его степень не превышает (n_i-2)), взвешенные со значением выхода старшего разряда блока ОЗУ 3 с помощью умножителя 6. На адресные входы коммутаторов входа 1 и выхода 4, блока ОЗУ 3 и блока ПЗУ 5, хранящего набор кодировых полиномов, поступает адресная информация с выхода формирователя адреса 7. Увеличение скорости обработки данных в N раз по сравнению со скоростью передачи данных обеспечивается генератором 8, который работает с частотой, в N раз частоту следования превышающей импульсов в канале связи.

Работа устройства происходит следующим образом.

В исходном состоянии элементы памяти блока ОЗУ 3 обнулены. В формирователе адреса 7 установлен адрес первого канала. В блоке ПЗУ 5 записан набор кодовых полиномов, причем в первой ячейке записан полином для первого канала, во второй – для второго и т.д. Если имеется большое количество каналов и достаточно малое количество различных полиномов, блок ПЗУ 5 можно выполнить в виде двухуровневой схемы, что уменьшает объем ПЗУ. Так, например, двухуровневая схема состоит из двух отдельных блоков ПЗУ, в первом из которых по адресу, получаемому от формирователя адреса 7, выбирается адрес ячейки, хранящей адрес ячейки второго ПЗУ, непосредственно хранящего кодовые полиномы.

В начальный момент формирователь адреса 7 устанавливает адрес первого канала, а коммутатор 1 выдает на свой выход бит данных первого канала, при этом с выхода блока ПЗУ 5, хранящего набор кодовых полиномов, считывается параллельный код полинома-делителя. Т. к. блок ОЗУ 3 обнулен, то на входы старших разрядов первого и вход второго M -разрядных входов сумматора 2 поступают нули. В первую ячейку блока ОЗУ 3 записывается результат вычисления суммы из сумматора 2. Коммутатор выхода 4 обеспечивает считывание результатов вычисления для канала, указанного на его адресной шине. Далее под действием генератора 8 формирователь адреса 7 изменяет адрес на единицу и выполняются действия, описанные выше, но для данных второго канала. Таким образом, поочередно в течение одного тактового интервала передачи информации выполняются необходимые действия для данных каждого из каналов.

Эти операции продолжают выполняться в течение $2^{n_i} - n_i - 1$ тактов передачи данных. После этого n_i тактов затрачиваются на выдачу остатков от деления в каналы, после чего блок ОЗУ обнуляется.

Выше описан принцип действия устройства при условии, что порядки кодовых полиномов для всех каналов одинаковы и равны $M = n_i$. Представляется актуальным также построение устройства для нахождения остатка по модулю многочлена, максимальная степень которого в общем случае отличается от M в сторону уменьшения.

Для этого в схему необходимо ввести два блока 9 и 10 (рис. 2), обеспечивающих выделение из параллельного M -разрядного кода старшего разряда для каждого канала. Эти блоки включаются перед умножителем 6 и коммутатором выхода 4. Кроме того, управляющие сигналы должны обеспечить своевременное обнуление ячеек блока ОЗУ 3 для каждого канала. В общем случае для различных каналов моменты обнуления также различны.

Схема содержит умножитель 11, состоящий из M элементов И, блока ПЗУ 12 задания позиции старших разрядов и M -разрядного элемента ИЛИ 13.

Данные с выхода блока ОЗУ 3 (для блока 9) или с выхода сумматора 2 (для блока 10) поступают на первые входы умножителя 11, на вторые входы которого поступает информация о старшем разряде полинома для данного канала с блока ПЗУ 12, для чего на адресные входы последнего подается номер канала с формирователя адреса 7. Выход умножителя соединен со входом M -разрядного элемента ИЛИ 13, на выходе которого получаем информацию о состоянии последнего разряда для данного канала.

Блок ПЗУ 12 для блоков 9 и 10 может быть выполнен как отдельно для каждого блока (рис. 2, рис. 3), так и в виде единственного блока, объединенного функциональными связями с блоками 9 и 10, а также с формирователем адреса 7. В этом случае в структурной схеме блоков 9 и 10 будут находиться только два блока – умножитель 11, состоящий из M элементов и M -разрядный элемент ИЛИ 13. Структурная схема устройства с одним блоком ПЗУ показана на рис. 4.

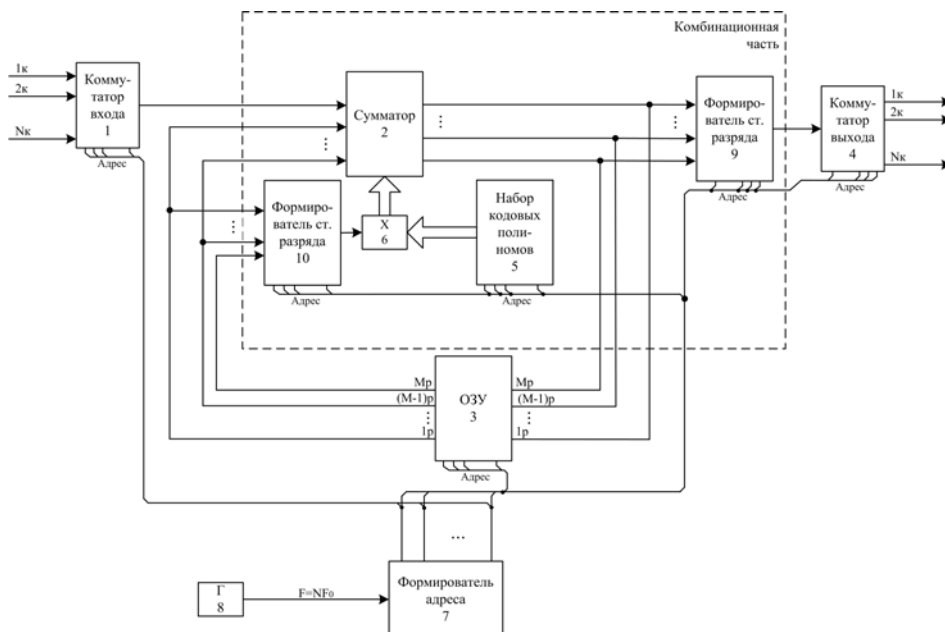


Рис. 2. Структурная схема устройства формирования остатков в многоканальных кодах

Указанные блоки 9 и 10 могут быть выполнены в виде схемы, представленной на рис. 3.

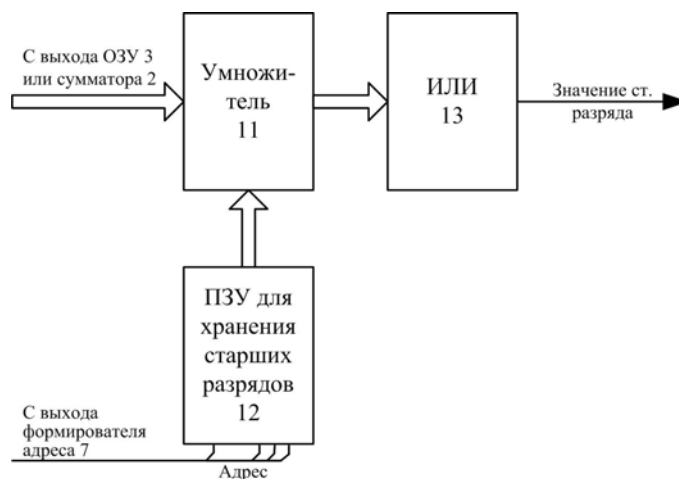


Рис. 3. Структурная схема формирователя старшего разряда

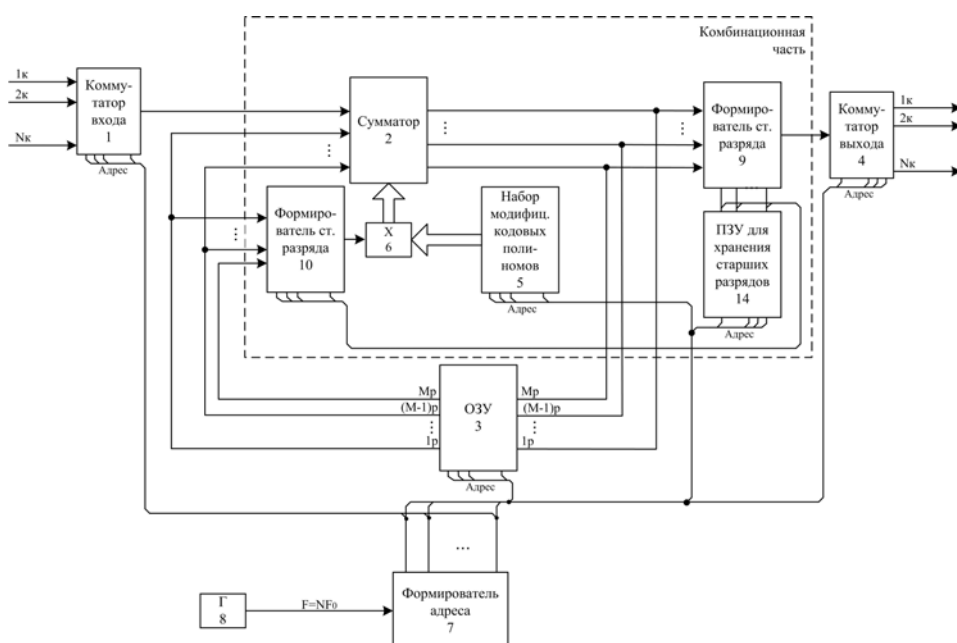


Рис. 4. Структурная схема устройства формирования остатков в многоканальных кодах

Выводы

Разработанные метод и устройство формирования остатков расширяют техническую базу проектирования многоканальных систем связи с использованием помехоустойчивого кодирования, направлены на повышение эффективности использования коммуникационных средств и пригодны для практического применения.

Литература

1. Рекомендация V-41 МККТТ. – Женева, 1976. – 349 с.
2. Пат. 30628 Україна, МПК Н 03 М 7/14, G 06 F 7/00. Спосіб отримання залишку по модулю незвідного багаточлена / Фауре Д. В., Фауре Е. В., Швидкий В. В.; заявник та патентовласник ЧДТУ. – № u200708546; заявл. 25.07.2007; опубл. 11.03.2008, Бюл. № 5.
3. Пат. 82053 Україна, МПК Н 04 J 11/00. Спосіб багатоканальної передачі дискретної інформації / Голубничий О. Г., Любімов О. Д., заявник та патентовласник Голубничий О. Г., Любімов О. Д. – № 20040402844; заявл. 19.04.2004; опубл. 11.03.2008, Бюл. № 5.
4. Пат. 2060602 Російська федерація, МПК Н 05 К 10/00. Устройство для многоканальной обработки информации / Ткаченко А.В., Красиков С.А.; заявник та патентовласник Краснодарське вище військове командно-інженерне училище ракетних військ. – № 5022441/09; заявл. 13.01.1992; опубл. 20.05.1996.
5. Швидкий В. В. Групповая обработка сигналов многоканальными конечными автоматами / В. В. Швидкий // Техника средств связи. Серия ТПС. – 1978. – Вып. 4 (25). – С. 58– 64.

Надійшла 18.9.2010 р.

МЕТОД КОМПЕНСАЦИИ ПОМЕХ В АДАПТИВНЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТКАХ

В результате проведенного анализа метода компенсации помех, для случая симметричного расположения элементов эквидистантной антенной решетки с использованием в качестве критерия коэффициент предельного подавления, получены аналитические выражения для значений весовых коэффициентов. Данные выражения дают возможность использования свойств симметрии при построении цепей управления в адаптивных антенных устройствах амплитудно-фазовой компенсации помех.

As the result of analysis of method of interference compensating for the case of symmetrical arrangement of the equidistant antenna array elements using ultimate suppression factor as a criterion, the analytical expressions for the values of weight coefficients were obtained. These expressions allow the use of symmetry properties when constructing control circuits in the amplitude-phase interference compensation adaptive antenna devices.

Ключевые слова: адаптивная антенная решетка, компенсация помех, сигнал

Введение

Вопросы построения адаптивных антенных решеток (ААР) для пространственно-временной обработки сигналов являются актуальными при функционировании радиосредств различного назначения. Это связано с постоянно возрастающей плотностью размещения радиосредств и повышением интенсивности их использования. Имеющая место тенденция постоянного усложнения электромагнитной обстановки предполагает изыскание дополнительных методов помехозащиты систем и линий связи [1– 3]. Одним из перспективных методов помехозащиты является пространственно-временная обработка сигналов. Алгоритмы пространственно-временной обработки являются дополнениями к обычным алгоритмам приема сигналов и могут решать целый ряд практически важных задач [1– 6]:

- подавлять нежелательные излучения на величину до 30 дБ и более;
- оценивать параметры пространственного спектра сигналов и ориентировать или перераспределять минимумы (нули) или максимумы излучений в нужных направлениях;
- в многолучевых каналах отслеживать максимум направления прихода полезного сигнала;
- при достаточном количестве направленных излучений обеспечивать пространственно-временной доступ (каждому терминалу – отдельный луч диаграммы направленности).

Целью данной статьи является исследование метода компенсации помех на основе нахождения минимума среднеквадратичной ошибки с использованием коэффициента предельного подавления для функциональных схем адаптивных антенных решеток и подтверждение предположения о симметричности и равенстве соответствующих весовых коэффициентов.

Исследование метода компенсации помех

Рассмотрим две функциональные схемы, которые могут быть применены при построении ААР. Устройство, структурная схема которого изображена на рис. 1, работает по принципу нахождения минимума среднеквадратичной ошибки при некоторых априорно известных спектральных характеристиках полезного сигнала. В пункте приема формируется опорный сигнал $R(t)$, являющийся приближенной копией полезного сигнала. В цепи обратной связи происходит формирование опорного сигнала и сигнала, принятого элементами антенной решетки. Управляющее напряжение, выработанное в результате перемножения, поступает на схему установки весовых коэффициентов в каждый из элементов решетки. В результате происходит формирования луча в направлении прихода полезного сигнала. В данном случае используется принцип корреляционной обратной связи.

При поступлении на вход сигнала с направления, отличного от установленного направления приеме и некоррелированного с полезным сигналом в АР автоматически формируется нуль диаграммы направленности в направлении прихода мешающего сигнала.

Принцип работы устройства, структурная схема которого изображена на рис. 2, также основан на использовании корреляционной обратной связи. Но для ее работ используются, в качестве априорных данных, направления прихода полезного сигнала. Согласно этих данных, в схему (т. 1, 2, 3, 4) заранее подаются управляющие напряжения, устанавливающие при помощи устройств установки весовых коэффициентов в элементах ААР. Схема предполагает наличие одного или нескольких нерегулируемых каналов. Установка весовых коэффициентов осуществляет фазировку системы в направлении приема, т. е. выравнивание фазовых сдвигов (для широкополосных сигналов временных сдвигов) на входе вычитателя между сигналами неуправляемого и управляемых каналов. Приход сигнала, с направления отличного от заданного, воспринимается системой как помеха, при этом происходит формирование нуля диаграммы направленности в этом направлении.

Для данных функциональных схем проведены исследования метода компенсации помех на основе предложенного критерия с использованием коэффициента предельного подавления, который определяется как отношение мощности сигнала помехи на выходе к значению мощности в нерегулируемом канале

$$k_{\text{пред.}} = \frac{\sigma_{\varepsilon}^2}{\sigma_0^2}, \quad (1)$$

где σ_{ε}^2 – мощность сигнала ошибки;
 σ_0^2 – мощность сигнала на нерегулируемом входе.

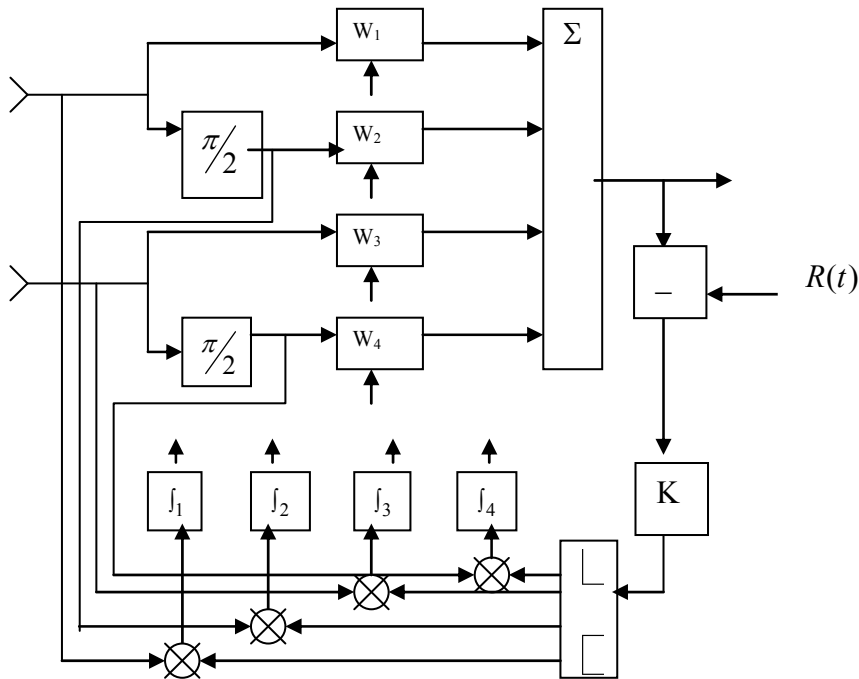


Рис. 1. Функциональная схема, которая может быть применена при построении ААР

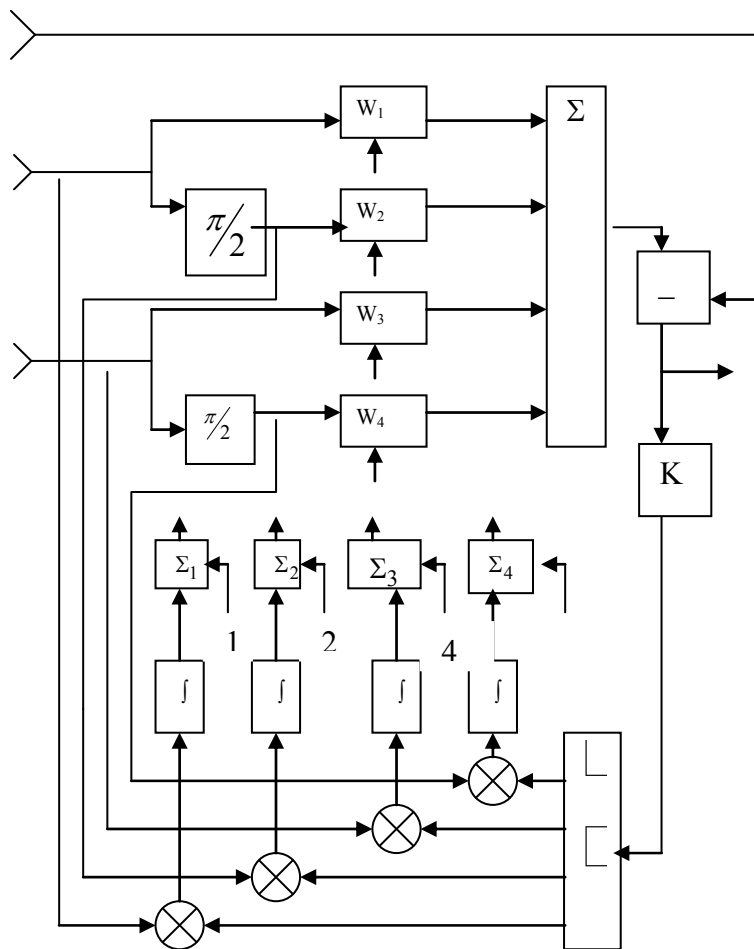


Рис. 2. Структурная схема устройства

При этом предположим, что полезный сигнал отсутствует и на вход поступает только сигнал помехи. Набор весовых коэффициентов, обеспечивающих максимально возможное подавление, называется оптимальным $W_{\text{опт}}$, а коэффициент подавления при этом предельным. Сигнал ошибки на выходе равен:

$$\varepsilon(t) = x_0(t) - W^T x(t), \quad (2)$$

где

$$W = \begin{pmatrix} W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ W_4 \end{pmatrix} \quad \text{та} \quad x(t) = \begin{pmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \\ x_3(t) \\ x_4(t) \end{pmatrix} \quad (3)$$

матрицы-столбцы весовых коэффициентов и входного сигнала.

Тогда квадрат сигнала ошибки равен:

$$\varepsilon^2(t) = x_0(t) + W^T \cdot x(t) \cdot W - 2x_0(t) \cdot W^T \cdot x(t) \quad (4)$$

Искомая величина ошибки определяется как математическое ожидания от обеих частей уравнения:

$$\sigma_\varepsilon^2(t) = \sigma_0^2 + W^T \cdot \Phi(xx) \cdot W - 2W \cdot \Phi(xx) \quad (5)$$

Матрица $\Phi(xx)$ представляет собой матрицу автокорреляционных коэффициентов сигналов на входах. Матрица-столбец $\Phi(xx_0)$, это коэффициенты взаимокорреляции между сигналами на регулируемых и нерегулируемых входах.

Для рассматриваемого случая:

$$\Phi(xx) = \left\langle x(t) \cdot x^T(t) \right\rangle = \begin{pmatrix} x_1x_1 & x_1x_2 & x_1x_3 & x_1x_4 \\ x_2x_1 & x_2x_2 & x_2x_3 & x_2x_4 \\ x_3x_1 & x_3x_2 & x_3x_3 & x_3x_4 \\ x_4x_1 & x_4x_2 & x_4x_3 & x_4x_4 \end{pmatrix} \quad \Phi(xx_0) = \begin{pmatrix} x_1 & x_0 \\ x_2 & x_0 \\ x_3 & x_0 \\ x_4 & x_0 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Для нахождения оптимальных весовых коэффициентов необходимо вычислить производную уравнения (4) и приравнять ее к нулю:

$$W_{\text{опт}} = \Phi^{-1}(xx)\Phi(xx_0) \quad (7)$$

Полученное выражение является известным уравнением Винера-Хопфа. Подставляя (7) в (5) и (1), получим выражение для коэффициента предельного подавления:

$$k_{\text{пред}} = 1 - \frac{1}{\sigma_0^2} \Phi^T(xx_0)[\Phi^{-1}(xx)]^T \Phi(xx_0). \quad (8)$$

Как было показано выше, в данной работе рассматриваются процессы, происходящие в адаптивных системах в случае воздействия на них узкополосных сигналов. Для проведения необходимых вычислений зададим корреляционную функцию вида:

$$\rho(\tau) = \sigma_0 k(\tau) \cos \omega_0 \tau \quad (9)$$

где $k(\tau)$ представляет собой огибающую корреляционной функции;

ω_0 – центральная частота энергетического спектра.

Рассмотрим случай линейного симметричного и эквидистантного распределения элементов антенной решетки, где элемент x_0 находится в центре ААР, а элементы x_1 и x_2 расположены симметрично относительно x_0 , а сигнал может приходить с направления $-\frac{\pi}{2} \leq \lambda \leq \frac{\pi}{2}$. При приходе сигнала с направлений

$\lambda = 0 \div \frac{\pi}{2}$ временная задержка сигнала в нулевом и втором элементах, относительно первого элемента

принимает значения τ и 2τ , где τ определяется углом прихода сигнала и расстоянием между элементами решетки a .

Определим для выше рассмотренного случая, собственные значения матрицы $\Phi(xx)$:

$$\Phi(xx) = \sigma_0^2 \begin{pmatrix} 1 & 0 & \rho(2\tau) & -\hat{\rho}(2\tau) \\ 0 & 1 & -\hat{\rho}(2\tau) & \rho(2\tau) \\ \rho(2\tau) & -\hat{\rho}(2\tau) & 1 & 0 \\ -\hat{\rho}(2\tau) & \rho(2\tau) & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (10)$$

Значок \wedge означает преобразованную по Гильберту функцию, знаки в матрице учитывают нечетность функции $\rho(\tau)$ Матрица-столбец $\Phi(xx_0)$, соответственно будет иметь вид:

$$\Phi(xx_0) = \sigma_0^2 \begin{vmatrix} \rho(\tau) \\ -\hat{\rho}(\tau) \\ \rho(\tau) \\ \hat{\rho}(\tau) \end{vmatrix} \quad (11)$$

Для нахождения аналитических выражений коэффициента предельного подавления и значений оптимальных весовых коэффициентов покажем, что обратная транспонированная матрица $\Phi^T(xx)$ будет иметь вид:

$$\Phi^{-1}(xx)^T = \frac{1}{\sigma_0^2 [1 - \hat{\rho}(2\tau) - \rho(2\tau)]} \begin{vmatrix} 1 & 0 & (2\tau) & (2\tau) \\ 0 & 1 & \hat{\rho}(2\tau) & (2\tau) \\ -\rho(2\tau) & \hat{\rho}(2\tau) & 1 & 0 \\ -\hat{\rho}(2\tau) & \rho(2\tau) & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (12)$$

Опуская из-за громоздкости выражений промежуточные результаты, получим выражения для значений оптимальных весовых коэффициентов:

$$\begin{aligned} W_{1opt} &= \frac{\rho(\tau) - \rho(\tau)\rho(\tau) - \hat{\rho}(\tau)\hat{\rho}(2\tau)}{1 - \rho^2(2\tau)\hat{\rho}^2(2\tau)} = \frac{k(\tau)}{1 + k(2\tau)} \cos \omega_0 \tau \\ W_{2opt} &= \frac{-\hat{\rho}(\tau) + \rho(\tau)\hat{\rho}(\tau) - \hat{\rho}(\tau)\hat{\rho}(2\tau)}{1 - \rho^2(2\tau) - \hat{\rho}^2(2\tau)} = \frac{k(\tau)}{1 - k(2\tau)} \sin \omega_0 \tau \\ W_{3opt} &= \frac{\rho(\tau) - \rho(\tau)\rho(\tau) - \hat{\rho}(\tau)\hat{\rho}(2\tau)}{1 - \rho^2(2\tau)\hat{\rho}^2(2\tau)} = \frac{k(\tau)}{1 + k(2\tau)} \cos \omega_0 \tau \\ W_{4opt} &= \frac{\hat{\rho}(\tau) - \rho(\tau)\hat{\rho}(\tau) - \hat{\rho}(\tau)\hat{\rho}(2\tau)}{1 - \rho^2(2\tau) - \hat{\rho}^2(2\tau)} = \frac{k(\tau)}{1 - k(2\tau)} \sin \omega_0 \tau \end{aligned} \quad (13)$$

Выражение для коэффициента предельного подавления будет иметь вид:

$$K_{пред} = \frac{2\rho^2(\tau) - 2\rho^2(\tau)\rho(\tau) - 4\rho(\tau)\hat{\rho}(\tau)\hat{\rho}(2\tau) + \hat{\rho}^2(\tau)2\hat{\rho}^2(2\tau)\rho(2\tau)}{1 - \rho^2(2\tau) - \hat{\rho}^2(2\tau)} = 1 - \frac{2k^2(\tau)}{1 + k(2\tau)} \quad (14)$$

Анализируя выражение (13) приходим к выводу, что весовые коэффициенты в элементах, равноудаленных от геометрического центра ААР, выполняющей пространственно-временную фильтрацию, принимают равные по модулю и по знаку значения для синфазных составляющих и равные по модулю, но противоположные по знаку значения для квадратурных составляющих в случае выбора за "точку отсчета" сумму сигналов всех составляющих в каналах.

С помощью выражения (14), можно оценить характер изменения предельного подавления от величины τ . Используя огибающую вида:

$$k(\tau) = e^{-a\tau^2}$$

видно, что с ростом τ увеличивается коэффициент предельного подавления.

Выводы

В результате проведенного анализа метода компенсации помех, для случая симметричного расположения элементов эквидистантной антенной решетки с использованием в качестве критерия коэффициент предельного подавления, получены аналитические выражения для значений весовых коэффициентов. Данные выражения дают возможность использования свойств симметрии при построении цепей управления в адаптивных антенных устройствах амплитудно-фазовой компенсации помех. По полученному аналитическому выражению для коэффициента предельного подавления определена зависимость коэффициента предельного подавления от величины задержки в элементах антенной решетки. Установлена возможность построения фазовой адаптивной системы с использованием свойств симметрии весовых коэффициентов.

Литература

1. Уидроу Б. Адаптивная обработка сигналов / Б. Уидроу, С. Стирнз – М.: Радио и связь, 1989. – 440 с.
2. Пистолькорс А. А. Введение в теорию адаптивных антенн / А. А. Пистолькорс, О. С. Литвинов – М.: Наука, 1991. – 200 с.
3. Монзинго Р. А. Адаптивные антенные решетки: Введение в теорию / Р. А. Монзинго, Т. У. Миллер; [пер. с англ.] – М.: Радио и связь, 1986. – 486 с.
4. Kolyadenko Yu.Yu. Adaptive antenna arrays in the auxiliary receiving channel of the interference compensator for user radioaccess systems / IVth International Conference on Antenna Theory And Techniques / 9– 12 September 2003 / Sevastopil, Ukraine, pp. 421– 423;

5. Коляденко Ю. Ю. Оценка пространственного спектра сигналов с адаптивной пространственно-временной обработкой / Ю. Ю. Коляденко // Вісник Українського будинку економічних та науко-технічних знань. – 2003. – Вип. 2. – С. 128–132.

6. Кичак В.М. Анализ методов адаптивной обработки сигналов в антенных решетках / В. М. Кичак, И. Ю. Кравцов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 1.

Надійшла 5.9.2010 р.

УДК 681.321

Л.Б. ЛІЩИНСЬКА

Вінницький національний технічний університет

НЕВИЗНАЧЕНА МАТРИЦЯ ПРОВІДНОСТІ N-ПОЛЮСНИКА З ПОСЛІДОВНИМИ ОПОРАМИ У ЛАНЦЮЗІ КОЖНОГО ПОЛЮСА

Отримано аналітичні вирази, що зв'язують параметри первинної невизначеної матриці провідності N-полюсника з параметрами вторинної невизначеної матриці іншого N-полюсника, утвореного первинним багатополюсником з включеними у ланцюг кожного полюса послідовними опорами.

Analytical expressions, which bind the parameters of primary indefinite matrix of conductivity of N-poler to the parameters of the second indefinite matrix of other N-poler, formed primary manypoler with plugged in the chain of every pole successive supports, are got.

Ключові слова: матриця провідності, багатополюсник.

Вступ

У електроніці широке застосування отримали активні і пасивні N-полюсники. Найбільш характерні з них це транзисторні трьохполюсники і чотириполюсники, а також різні елементи хвилеводного тракту (спрямовані відгалужувачі, дільники і суматори потужності на базі шестиполюсників і восьмиполюсників тощо [1, 2]).

Проектування інформаційних пристроїв на їх основі, як правило базується на принципі суперпозиції, що дозволяє у більшості випадків використовувати лише теорію чотириполюсника, уявляючи будь-який пристрій у вигляді набору певним чином з'єднаних чотириполюсників [3]. Причому на такі чотириполюсники накладається обмеження, з яким два полюси виконують роль вхідних клем, а два інших полюса – вихідних клем, тобто вони є залежними. Такий чотириполюсник описується канонічними імітансними W-матрицями або матрицями розсіяння другого порядку. При цьому, ряд функціональних можливостей таких багатополюсників не використовується. Особливо це відноситься до активних N-полюсників, які все ширше використовуються при побудові інтегральних суматорів і дільників потужності, N-полюсних узагальнених перетворювачів імітансу, імітансних схем багатопараметричних радіочастотних датчиків тощо [4–6].

У основі проектування таких пристроїв лежить використання невизначених (особливих) матриць N-полюсників, справедливих за умови, що даний N-полюсник є лінійним або квазілінійним, не має внутрішніх автономних джерел енергії і всі полюси знаходяться в рівноцінному положенні відносно базисного вузла (загальної шини), що знаходиться поза схемою.

Володіючи широко вживаною на практиці властивістю згортованості (пониження розміру), при закороченні частини електродів N-полюсника із загальною шиною, така операція призводить до суттєвого ускладнення розрахунків, коли у ланцюзі якого-небудь полюса з'являється опір.

Постановка завдання

Метою роботи є отримання аналітичних виразів, що зв'язують параметри первинної невизначеної матриці провідності N-полюсника з параметрами вторинної невизначеної матриці іншого N-полюсника, утвореного первинним багатополюсником (рис. 1, а) з включеними у ланцюг кожного полюса послідовними опорами (рис. 1, б).

Аналітичне обґрунтування

З метою спрощення розрахунків, на першому етапі розглянемо незалежний 3-х полюсник (рис. 2.), напруги U_i і струми I_i полюсів якого зв'язані системою рівнянь

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= Y_{11}U_1 + Y_{12}U_2 + Y_{13}U_3 \\ I_2 &= Y_{21}U_1 + Y_{22}U_2 + Y_{23}U_3 \\ I_3 &= Y_{31}U_1 + Y_{32}U_2 + Y_{33}U_3 \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

яка в матричній формі має вигляд:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & Y_{13} \\ Y_{21} & Y_{22} & Y_{23} \\ Y_{31} & Y_{32} & Y_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де Y_{ij} – елементи невизначеної матриці провідності трьохполюсника.

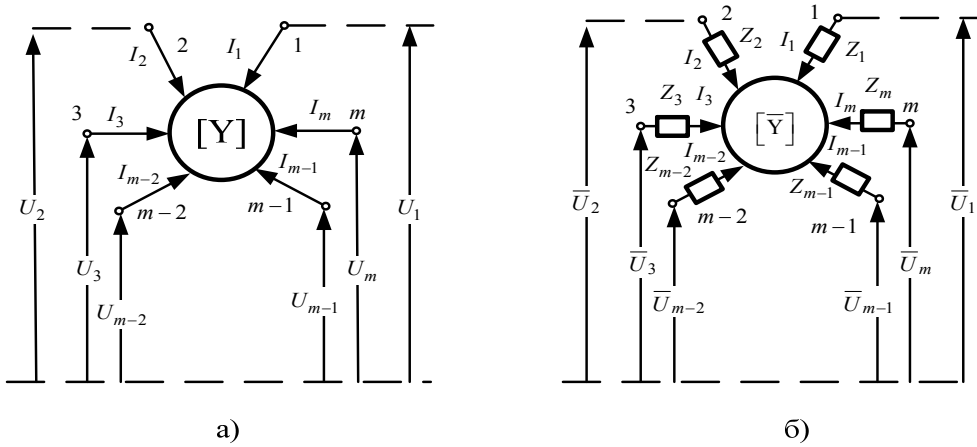


Рис. 1. Початковий (а) і навантажений (б) N -полюсники

Нехай у ланцюг другого полюса буде включено послідовний опір Z_2 . В цьому випадку напруга U_2 між другим полюсом і загальною шиною стане рівною:

$$U_2 = \bar{U}_2 - I_2 Z_2, \quad (3)$$

де \bar{U}_2 – напруга між полюсом 2 знову утвореного трьохполюсника і загальною шиною.

В цьому випадку підставляючи (3) в (1), систему рівнянь (1) запишемо у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= Y_{11}U_1 + Y_{12}(\bar{U}_2 - I_2 Z_2) + Y_{13}U_3 \\ I_2 &= Y_{21}U_1 + Y_{22}(\bar{U}_2 - I_2 Z_2) + Y_{23}U_3 \\ I_3 &= Y_{31}U_1 + Y_{32}(\bar{U}_2 - I_2 Z_2) + Y_{33}U_3 \end{aligned} \right\}, \quad (4)$$

Перетворивши (4) до вигляду:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \bar{Y}_{11}U_1 + \bar{Y}_{12}\bar{U}_2 + \bar{Y}_{13}U_3 \\ I_2 &= \bar{Y}_{21}U_1 + \bar{Y}_{22}\bar{U}_2 + \bar{Y}_{23}U_3 \\ I_3 &= \bar{Y}_{31}U_1 + \bar{Y}_{32}\bar{U}_2 + \bar{Y}_{33}U_3 \end{aligned} \right\},$$

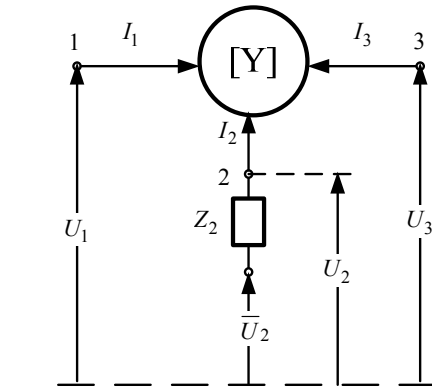


Рис. 2. Незалежний трьохполюсник з резистором Z_2 у ланцюзі другого полюса

де \bar{Y} – параметри невизначеної матриці провідності знову утвореного трьохполюсника знаходимо:

$$\begin{aligned} \bar{Y}_{11} &= Y_{11} - \frac{Y_{12}Y_{21}Z_2}{1+Y_{22}Z_2}; & \bar{Y}_{12} &= Y_{12} - \frac{Y_{12}Y_{22}Z_2}{1+Y_{22}Z_2}; & \bar{Y}_{13} &= Y_{13} - \frac{Y_{23}Y_{12}Z_2}{1+Y_{22}Z_2}; \\ \bar{Y}_{21} &= \frac{Y_{21}}{1+Y_{22}Z_2}; & \bar{Y}_{22} &= \frac{Y_{22}}{1+Y_{22}Z_2}; & \bar{Y}_{23} &= \frac{Y_{23}}{1+Y_{22}Z_2}; \\ \bar{Y}_{31} &= Y_{31} - \frac{Y_{23}Y_{21}Z_2}{1+Y_{22}Z_2}; & \bar{Y}_{32} &= Y_{32} - \frac{Y_{32}Y_{22}Z_2}{1+Y_{22}Z_2}; & \bar{Y}_{33} &= Y_{33} - \frac{Y_{23}Y_{32}Z_2}{1+Y_{22}Z_2}. \end{aligned} \quad (5)$$

Для N -полюсника (рис. 1, а), що описується системою рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= Y_{11}U_1 + Y_{12}U_2 + \dots + Y_{1m}U_m \\ I_2 &= Y_{21}U_1 + Y_{22}U_2 + \dots + Y_{2m}U_m \\ &\dots \\ I_m &= Y_{m1}U_1 + Y_{m2}U_2 + \dots + Y_{mm}U_m \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

при включенні між кожним полюсом і загальною шиною опору Z_i , де $i=1,2\dots m$, відбувається зміна напруги полюсів:

$$\left. \begin{aligned} U_1 &= \bar{U}_1 - I_1 Z_1 \\ U_2 &= \bar{U}_2 - I_2 Z_2 \\ &\dots\dots\dots \\ U_m &= \bar{U}_m - I_m Z_m \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Підставляючи (7) в (6) отримаємо систему рівнянь, що зв'язує вузлові струми $I_1, I_2 \dots I_m$ і вузлові напруги $\bar{U}_1, \bar{U}_2 \dots \bar{U}_m$ багатополюсника з урахуванням опорів $Z_1, Z_2 \dots Z_m$ у ланцюзі кожного полюса:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= \bar{Y}_{11}(\bar{U}_1 - I_1 Z_1) + \bar{Y}_{12}(\bar{U}_2 - I_2 Z_2) + \dots + \bar{Y}_{1m}(\bar{U}_m - I_m Z_m) \\ I_2 &= \bar{Y}_{21}(\bar{U}_1 - I_1 Z_1) + \bar{Y}_{22}(\bar{U}_2 - I_2 Z_2) + \dots + \bar{Y}_{2m}(\bar{U}_m - I_m Z_m) \\ &\dots\dots\dots \\ I_m &= \bar{Y}_{m1}(\bar{U}_1 - I_1 Z_1) + \bar{Y}_{m2}(\bar{U}_2 - I_2 Z_2) + \dots + \bar{Y}_{mm}(\bar{U}_m - I_m Z_m) \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Як було показано, у першому варіанті (5), така система, з урахуванням системи рівнянь (6), має однозначне рішення, що дозволяє встановити аналітичну залежність між параметрами N -полюсника залежно від його початкових Y -параметрів і опорів $Z_1, Z_2 \dots Z_m$. Але, як показали дослідження, при $m > 3$, отримувані аналітичні вирази для \bar{Y}_{ij} настільки громіздкі, що використання їх для аналітичних досліджень недоцільно. У зв'язку з цим, рекомендується використовувати їх лише у чисельних розрахунках із застосуванням програмного пакету *MathCad*.

Для найширше використовуваного трьохполюсника, при включенні опорів у ланцюг кожного полюса, для знаходження Y -параметрів можливо використовувати вищеописану методику. У ряді випадків, доцільно здійснювати пошук необхідних аналітичних співвідношень для \bar{Y}_{ij} шляхом представлення знову утвореного трьохполюсника у вигляді каскадного з'єднання 3-х чотириполюсників (рис. 3.).

Перший і третій чотириполюсники утворені послідовно включеними опорами Z_1 і Z_3 з матрицями передачі:

$$[a] = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_1 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}; \quad (9)$$

$$[c] = \begin{bmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_3 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Другий чотириполюсник утворений трьохполюсником, між другим полюсом якого і загальною шиною включений опір Z_2 . Виходячи з отриманих раніше Y -параметрів (5) невизначеної матриці такої структури, матриця провідності другого чотириполюсника буде дорівнювати:

$$[\bar{Y}_\epsilon] = \begin{bmatrix} Y_{11\epsilon} & Y_{12\epsilon} \\ Y_{21\epsilon} & Y_{22\epsilon} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

де

$$\left. \begin{aligned} Y_{11\hat{a}} &= \bar{Y}_{11} = Y_{11} - \frac{Y_{12}Y_{21}Z_2}{1 + Y_{22}Z_2}; \\ Y_{12\hat{a}} &= \bar{Y}_{13} = Y_{13} - \frac{Y_{23}Y_{12}Z_2}{1 + Y_{22}Z_2}; \\ Y_{21\hat{a}} &= \bar{Y}_{31} = Y_{31} - \frac{Y_{32}Y_{21}Z_2}{1 + Y_{22}Z_2}; \\ Y_{22\hat{a}} &= \bar{Y}_{33} = Y_{33} - \frac{Y_{23}Y_{32}Z_2}{1 + Y_{22}Z_2}. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

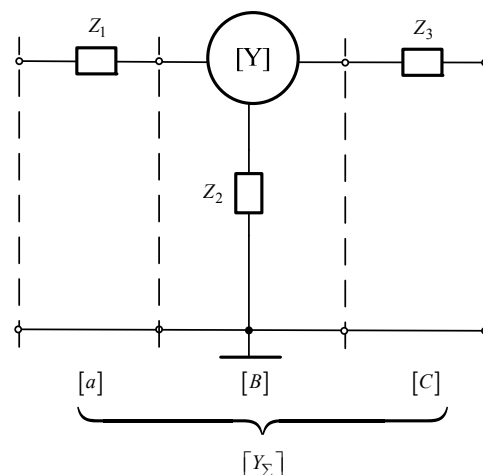


Рис. 3. Каскадне включення 3-х чотириполюсників

Матриця передачі такого чотириполосника [2]:

$$[B] = \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} \\ B_{21} & B_{22} \end{bmatrix} = Y_{21\epsilon}^{-1} \begin{bmatrix} -Y_{22\epsilon} & 1 \\ -|Y_\epsilon| & Y_{11\epsilon} \end{bmatrix}, \quad (13)$$

де $|Y_\epsilon| = Y_{11\epsilon}Y_{22\epsilon} - Y_{12\epsilon}Y_{21\epsilon}$.

Результуюча матриця передачі такого каскадного з'єднання з урахуванням (9, 10, 12 і 13) буде дорівнювати:

$$[A] = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix} = [a] * [B] * [c] = \\ = -Y_{21\epsilon}^{-1} \begin{bmatrix} (Y_{22\epsilon} + Z_1|Y_\epsilon|) & (Y_{22\epsilon} + Z_1|Y_\epsilon|)Z_3 + 1 + Z_1Y_{11\epsilon} \\ |Y_\epsilon| & |Y_\epsilon|Z_3 - Y_{11\epsilon} \end{bmatrix}. \quad (14)$$

Використовуючи перетворення [2], переходимо від матриці передачі [A] (14) до матриці провідності каскадного з'єднання 3-х чотириполосників:

$$[Y_\Sigma] = \begin{bmatrix} Y_{11\Sigma} & Y_{12\Sigma} \\ Y_{21\Sigma} & Y_{22\Sigma} \end{bmatrix} = A_{12}^{-1} \begin{bmatrix} A_{22} & -|A| \\ 1 & -A_{11} \end{bmatrix} = \\ = \frac{1}{1 + Z_1Y_{11\epsilon} - (Y_{22\epsilon} + Z_1|Y_\epsilon|)Z_3} - Y_{21\epsilon}^{-1} \begin{bmatrix} Y_{11\epsilon} - |Y_\epsilon|Z_3 & Y_{12\epsilon} \\ Y_{21\epsilon} & Y_{22\epsilon} + Z_1|Y_\epsilon| \end{bmatrix}. \quad (15)$$

Враховуючи, що:

$$Y_{11\Sigma} = \bar{Y}_{11}, \quad Y_{12\Sigma} = \bar{Y}_{13}, \quad Y_{21\Sigma} = \bar{Y}_{31}, \quad Y_{22\Sigma} = \bar{Y}_{33}, \quad (16)$$

а також виходячи з властивості невизначеної матриці (2), відповідно до якої [1]:

$$\bar{Y}_{12} = \bar{Y}_{11} + \bar{Y}_{13}; \quad \bar{Y}_{32} = \bar{Y}_{31} + \bar{Y}_{33}; \quad \bar{Y}_{21} = \bar{Y}_{11} + \bar{Y}_{31};$$

$$\bar{Y}_{22} = \bar{Y}_{12} + \bar{Y}_{32}; \quad \bar{Y}_{23} = \bar{Y}_{13} + \bar{Y}_{33},$$

знаходимо раніше невідомі члени невизначеної матриці (2):

$$\bar{Y}_{12} = (Y_{12\epsilon} + Y_{11\epsilon} - |Y_\epsilon|Z_3)/K;$$

$$\bar{Y}_{32} = (Y_{21\epsilon} + Y_{22\epsilon} + Z_1|Y_\epsilon|)/K;$$

$$\bar{Y}_{21} = (Y_{21\epsilon} + Y_{11\epsilon} - |Y_\epsilon|Z_3)/K; \quad (17)$$

$$\bar{Y}_{22} = [Y_{11\epsilon} + Y_{12} + Y_{21\epsilon} + Y_{22\epsilon} + |Y_\epsilon|(Z_1 - Z_2)]/K;$$

$$\bar{Y}_{23} = (Y_{21} + Y_{22} + Z_1|Y_\epsilon|)/K,$$

де $K = 1 + Z_1Y_{11\epsilon} - (Y_{22\epsilon} + Z_1|Y_\epsilon|)Z_3$.

Параметри, що описуються виразами (16) і (17), з урахуванням (12), визначають зміст невизначеної матриці рівняння:

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ I_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{11} & \bar{Y}_{12} & \bar{Y}_{13} \\ \bar{Y}_{21} & \bar{Y}_{22} & \bar{Y}_{23} \\ \bar{Y}_{31} & \bar{Y}_{32} & \bar{Y}_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \end{bmatrix}, \quad (18)$$

що забезпечує проведення розрахунку параметрів залежних чотириполосників, які реалізуються на основі трьохполосників з послідовними опорами у ланцюзі кожного полюса. На відміну від узагальненого методу розрахунку такої матриці, обґрунтованого на початку статті, отримані аналітичні залежності, володіючи наочністю, ефективні при розрахунку різних видів інформаційних пристроїв, утворених каскадним з'єднанням активних і пасивних чотириполосників.

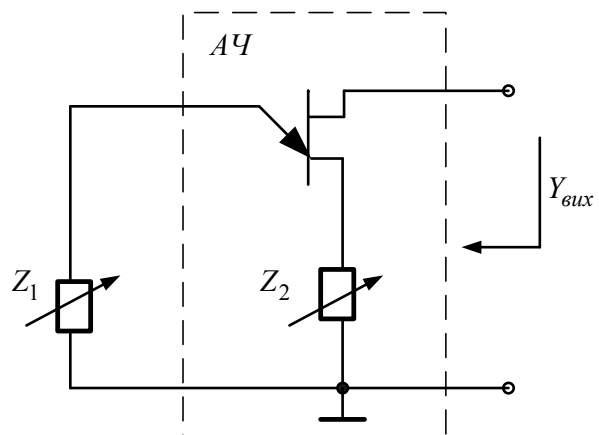


Рис. 4. Двохпараметричний резистивний активний датчик на базі одноперехідного транзистора

Приклад практичної реалізації

Для перевірки коректності отриманих аналітичних виразів проведемо дослідження вихідної провідності $Y_{вих}$ двухпараметричного датчика, що реалізований на базі одноперехідного транзистора

КТ117Б, у ланцюгу емітера і першої бази якого включені резистивні датчики з опорами відповідно Z_1 і Z_2 (рис. 4).

На основі невизначеної матриці (5) матриця провідності активного чотириполосника (АЧ) рис. 4 має вигляд:

$$[Y] = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{11} & \bar{Y}_{13} \\ \bar{Y}_{31} & \bar{Y}_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{11} - \frac{Y_{12}Y_{21}Z_2}{1+Y_{22}Z_2} & Y_{13} - \frac{Y_{23}Y_{12}Z_2}{1+Y_{22}Z_2} \\ Y_{31} - \frac{Y_{32}Y_{21}Z_2}{1+Y_{22}Z_2} & Y_{33} - \frac{Y_{23}Y_{32}Z_2}{1+Y_{22}Z_2} \end{bmatrix}. \quad (19)$$

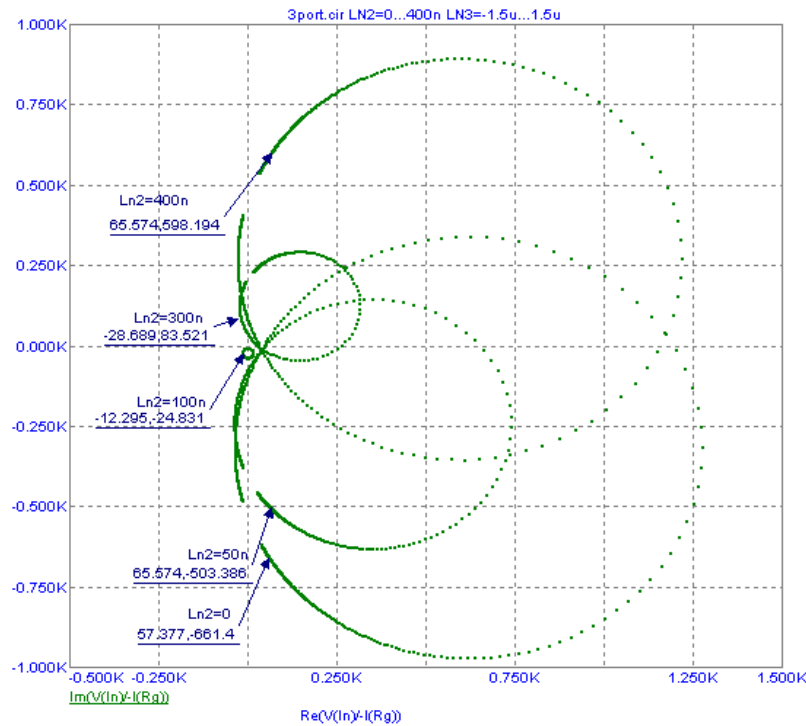
З урахуванням її елементів вихідна провідність схеми дорівнює:

$$\bar{Y}_{\text{вих}} = \bar{Y}_{33} - \frac{\bar{Y}_{13}\bar{Y}_{31}}{\bar{Y}_{11} + 1/Z_1} = \text{Re} Y_{\text{вих}} + j \text{Im} Y_{\text{вих}}. \quad (20)$$

Використовуючи T -подібну високочастотну фізичну еквівалентну схему одноперехідного транзистора (ОТ) [7], знаходимо його невизначену $[Y]$ -матрицю:

$$[Y] = \begin{bmatrix} \bar{Y}_{11} & \bar{Y}_{13} \\ \bar{Y}_{31} & \bar{Y}_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{Z_{B1} + R_{B2}}{Z_{B1}R_{B2}(1-\beta)} & -\frac{1}{R_{B2}(1-\beta)} \\ -\frac{1}{R_{B2}} & \frac{1}{R_{B2}} \end{bmatrix}. \quad (21)$$

З урахуванням значень параметрів фізичної еквівалентної схеми ОТ: $R_{B1} = 10$ Ом, $R_{B2} = 1000$ Ом, $r_e = 5$ Ом, $c_e = 5$ пФ, $C_{B1} = 50$ пФ $\beta_0 = 0,9-3$ однополосній апроксимації його коефіцієнта передачі по струму $\beta = \beta_0/(1 + \Omega_\beta)$, де $\Omega_\beta = f/f_\beta$, $f_\beta = 200$ МГц – гранична частота ОТ, і елементів матриці (19), на підставі (20) розраховані вихідні імітансні кола досліджуваної схеми при різних значеннях перетворюваних опорів Z_1 і Z_2 (рис. 5). Отримані результати повністю збігаються з теорією комфортних відображень [8], коли лінійна зміна перетворюваного імітансу для квазілінійного чотириполосника на комплексній площині відображується колом, що підтверджує правильність отриманих аналітичних виразів.



Частота 100 МГц, $X_{L3} = -3,768$ кОм...3,768 кОм с шагом 10 Ом.

$R_{n2} = 0$, $X_{L2} = 0$, 20 нГн, 200 нГн, 400 нГн, 1500 нГн

Рис. 5. Вихідні сумарні кола схеми рис. 4 (розмірність всіх величин – Ом)

Для кількісної оцінки точності отриманих результатів, для даного випадку, проведена порівняльна оцінка розрахункових значень інваріантного коефіцієнта стійкості АЧ $K_{у.вн.}$ і виміряного значення цього коефіцієнта (рис. 6).

Вибір коефіцієнта $K_{у.вн.}$ визначається тим, що це інтегральний параметр, що характеризує положення і розмір імітансного кола, оскільки [9]:

$$K_{у.вн.} = ReY_{0_{вих}} / \rho_{вих},$$

де $ReY_{0_{вих}}, \rho_{вих}$ – радіус і координата центру імітансного кола.

Експериментальні дослідження $K_{у.вн.}$ здійснювалися за методикою, яка описана в [10], шляхом виміру вихідної провідності АЧ за допомогою фазового вольтметра ФК2-12. Відносна погрішність таких вимірів на частоті $\Omega_{\beta} = 0,2$ не перевищує 10%. Результати теоретичних і експериментальних досліджень $K_{у.вн.}$, які представлені на рис. 6, показують, що наявність $Z_{\Gamma 2}$ веде до зниження $K_{у.вн.}$ і отже може забезпечити підвищення чутливості цього двохпараметричного датчика. Крім того, відмінність розрахункових і експериментальних значень $K_{у.вн.}$ у всьому діапазоні змін $Z_{\Gamma 1}$ і $Z_{\Gamma 2}$ не перевищує 15%, що з урахуванням погрішностей вимірювальної установки і точності визначення фізичних параметрів ОТ, відповідає практичній реалізованості розроблених аналітичних виразів для невизначеної матриці провідності досліджуваного N-полюсника.

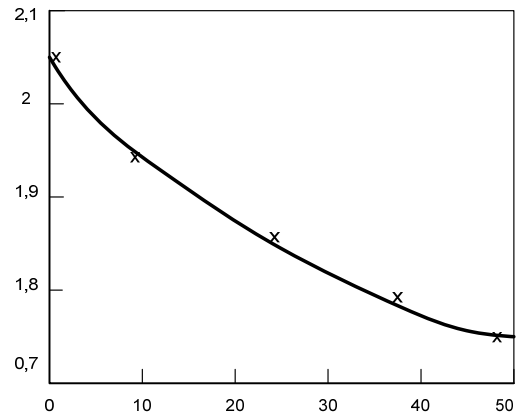


Рис. 6. Розрахункові «—» і експериментальні «x» залежності інваріантного коефіцієнта стійкості $K_{у.вн.}$ схеми рис. 4 від величини перетворюваного опору $R_{\Gamma 2} = R_2$

Висновки

Розроблена методика отримання параметрів невизначеної матриці провідності N-полюсника при послідовному включенні у ланцюзі кожного його полюса резисторів $Z_{\Gamma i}$, за значеннями Y-параметрів його невизначеної матриці, коли $Z_{\Gamma i} = 0$.

Отримані аналітичні вирази для невизначеної матриці трьохполюсника, при включенні у ланцюг кожного його полюса резисторів $Z_{\Gamma i}$, що дозволяє проводити аналітичні дослідження різних видів багатопараметричних інформаційних пристроїв.

Коректність отриманих аналітичних виразів підтверджена експериментально, шляхом дослідження параметрів імітансних кіл та інваріантного коефіцієнта стійкості двохпараметричного резистивного датчика на базі ОТ. Відхилення експериментальних і розрахункових результатів на частоті $\Omega = 0,2$ не перевищували 15%, що підтверджує коректність одержаних аналітичних виразів.

Література

1. Сигорский В. П. Основы теории электронных схем / В. П. Сигорский, А. И. Петренко. – К.: Техника, 1967. – 609 с.
2. Фельдштейн А. Л. Синтез четырехполосников и восьмиполосников на СВЧ / А. Л. Фельдштейн, Л. Р. Явич. – М.: Связь, 1971. – 388 с.
3. Сигорский В. П. Алгоритмы анализа электронных схем / В. П. Сигорский, А. И. Петренко. – М.: Советское радио, 1976. – 608 с.
4. Філінюк М. А. Аналіз і синтез інформаційних пристроїв на базі потенційно-нестійких узагальнених перетворювачів імітансу: [монографія]. / Філінюк М. А. – Вінниця: ВДТУ, 1998. – 85 с.
5. Babak L.I. Decomposition synthesis approach to design of RF and microwave active circuits. / L.I. Babak // IEEE MTT-S Int. Microwave Sym. Dig. – 2001. – vol. 2. – pp. 1167-1170.
6. Sussman-Fort S.E. MMIC-Simulated inductors using compensated gyrators. / S.E. Sussman-Fort, L. Billonet. – Int. Microwave and Microwave Wave CAE. – 1997. – vol. 7. – N3. – pp. 241-249.
7. Обобщённые преобразователи иммитанса на основе инжекционно-пролётной транзисторной структуры с общим истоком / Л. Б. Лищинская, И. В. Булыга, А. Г. Шведюк, Н. А. Филинюк // Наукові праці ВНТУ. – 2008. – № 2. – 18 с.
8. Маркушевич А. И. Комплексные числа и конформные отображения. / Маркушевич А. И. – М.: наука, 1980. – 56 с.
9. Філінюк М. А. Інформаційні пристрої на основі потенційно-нестійких багатоелектродних напівпровідникових структур Шотткі: монографія. / Філінюк М. А., Куземко О. М., Ліщинська Л. Б. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 274 с. – ISBN 978-966-641-332-4.
10. Філінюк М. А. Метрологічні основи негатроніки: [монографія]. / М. А. Філінюк, Д. В. Гаврилов. – Вінниця: УНІВЕРСУМ, 2006. – 188 с. – ISBN 966-641-168-7

Надійшла 16.9.2010 р.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЧАСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА ВОЛОГОСТІ НАФТОПРОДУКТІВ

Розроблено математичну модель частотного перетворювача вологості нафтопродуктів, яка дозволяє визначити значення напруги або струму в будь-якій точці схеми в заданий момент часу. Отримано залежності функції перетворення та чутливості перетворювача вологості. Розбіжність теоретичних та експериментальних результатів складає 1,5 %.

The mathematical model of the frequency humidity transformer of petroleum products which allows to define value of the voltage or current in any point of the scheme during the definite moment of time is designed. The dependences of function of transformation and sensitivity of the humidity transformer are obtained. The divergence of theoretical and experimental results is 1,5 %.

Ключові слова: вологість, перетворювач вологості, від'ємний опір, нафтопродукт.

Вступ

Вимірювання вологості в Україні є одним із поширених напрямків вимірювань. Суттєве значення має вимірювання вологості нафти, масел та нафтопродуктів. Контроль вологості нафти необхідний у процесах її видобування, зберігання, транспортування та переробки. Саме наявність вмісту води в нафтопродуктах викликає зміну їх фізико-хімічних параметрів і тим самим зменшує строк їхньої служби [1].

Теоретичні дослідження показали, що використання транзисторних структур з від'ємним опором і реактивних властивостей напівпровідникових приладів, суттєво підвищує чутливість і точність виміру досліджуваного сигналу, в нашому випадку вологості нафтопродуктів [2, 3]. З метою вивчення властивостей частотного перетворювача вологості нафтопродуктів (ЧПВН), вологочутливим елементом якого є конденсаторна циліндрична структура (КЦС) [4, 5], необхідно розробити математичну модель, яка б дозволила отримати залежності функції перетворення та чутливості ЧПВН.

Математична модель

На рис. 1 зображено електричну схему ЧПВН, в якому при дії води на вологочутливу конденсаторну циліндричну структуру C_w змінюється ємнісна складова повного опору на електродах колектор-стік транзисторів $VT1$ та $VT2$, що викликає ефективну зміну частоти коливального контуру.

Для визначення функції перетворення та чутливості на рис. 2 наведено еквівалентну схему ЧПВН, яка реалізує залежність частоти генерації від зміни вологості нафтопродуктів.

Для зручності розрахунків об'єднавши паралельні ємності C_w і C_{bal} у $C_i = C_w + C_{bal}$, та струми I_f і I_r у $I_{bt} = (I_f - I_r)/QB$, а також скориставшись методом змінних станів наведемо на рис. 3 перетворену еквівалентну схему ЧПВН.

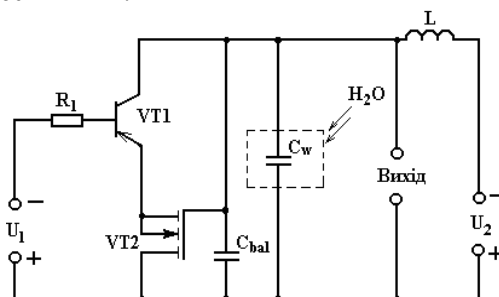


Рис. 1. Електрична схема ЧПВН

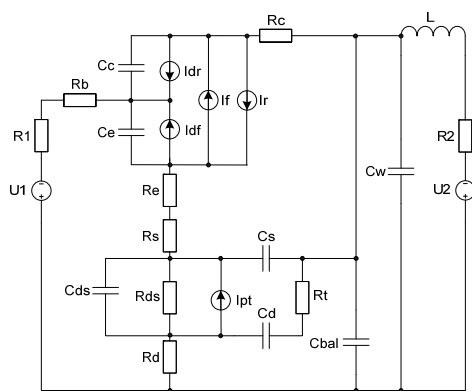


Рис. 2. Еквівалентна схема ЧПВН

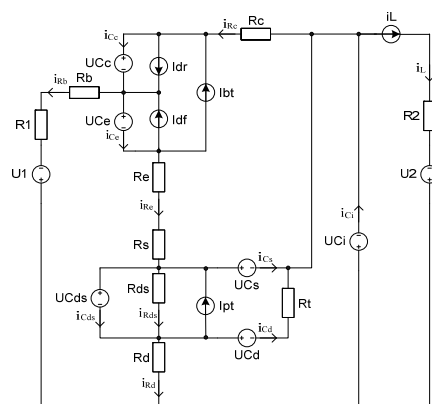


Рис. 3. Перетворена еквівалентна схема ЧПВН

На основі вибраних напрямків струмів було складено систему рівнянь Кірхгофа:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_L = U_2 - (U_{C_i} + i_L R_2), \\ i_{R_{ds}} = \frac{U_{C_{ds}}}{R_{ds}}, \\ i_{C_d} = \frac{U_{C_s} - U_{C_{ds}} - U_{C_d}}{R_t}, \\ i_{R_b} = \frac{U_1 - U_{C_c} - U_{C_i} - i_{R_c} R_c}{R_b + R_1}, \\ i_{C_{ds}} = i_{R_d} + I_{pt} + i_{C_d} - i_{R_{ds}}, \\ i_{R_c} = \frac{-(U_{C_e} + U_{C_c} + U_{C_s} + i_{R_e} (R_e + R_s))}{R_c}, \\ i_{R_d} = \frac{U_{C_d} - U_{C_i} + i_{C_d} R_t}{R_d}, \\ i_{R_e} = i_{R_c} - i_{R_b}, \\ i_{C_s} = i_{R_e} + I_{pt} - i_{C_{ds}} - i_{R_{ds}}, \\ i_{C_i} = i_L + i_{R_c} - i_{C_s} - i_{C_d}, \\ i_{C_c} = i_{R_c} + I_{bt} - I_{dr}, \\ i_{C_e} = i_{R_e} + I_{bt} + I_{df}, \end{array} \right. \quad (1)$$

де R_1 – навантажувальний опір;
 R_b, R_e, R_c, R_d, R_s – об'ємні опори бази, емітера, колектора, стоку та виток;
 R_{ds} – опір стік-витік;
 C_e, C_c – ємності емітерного та колекторного переходів;
 C_d, C_s, \tilde{N}_{ds} – ємності затвор-стік, затвор-витік та стік-витік;
 C_{bal} – баластна ємність;
 C_w – ємність вологочутливої КЦС;
 L – індуктивність;
 U_1, U_2 – джерела живлення постійної напруги;
 I_{pt} – струм польового транзистора;
 I_{dr}, I_{df} – струми внутрішніх переходів база-колектор та база-емітер;
 I_f, I_r – прямий та зворотній струми біполярного транзистора.

Вважаючи заданими значення відповідних напруг на ємностях та струм через індуктивність розв'яжемо систему (1) відносно $U_L, i_{C_{ds}}, i_{C_d}, i_{C_s}, i_{C_i}, i_{C_e}, i_{C_c}$.

$$\left\{ \begin{array}{l} U_L = U_2 - (U_{C_i} + i_L R_2), \\ i_{C_d} = \frac{U_{C_s} - U_{C_{ds}} - U_{C_d}}{R_t}, \\ i_{C_{ds}} = \frac{U_{C_s} - U_{C_{ds}} - U_{C_i}}{R_d} + \frac{U_{C_s} - U_{C_{ds}} - U_{C_d}}{R_t} - \frac{U_{C_{ds}}}{R_{ds}} + I_{pt}, \\ i_{C_s} = -A_5 - \frac{U_{C_s} - U_{C_{ds}} - U_{C_i}}{R_d} - \frac{U_{C_s} - U_{C_{ds}} - U_{C_d}}{R_t} - \frac{U_1 - U_{C_c} - U_{C_i} + A_5 R_c}{A_1}, \\ i_{C_i} = i_L + 2A_5 + \frac{U_1 - U_{C_c} - U_{C_i} + \frac{A_4 R_c}{3}}{A_1} + \frac{U_{C_s} - U_{C_{ds}} - U_{C_i}}{R_d}, \\ i_{C_c} = A_5 + I_{bt} - I_{dr}, \\ i_{C_e} = A_5 - \frac{U_1 - U_{C_c} - U_{C_i} + A_5 R_c}{A_1} + I_{bt} + I_{df}, \end{array} \right. \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{де} \quad A_1 &= R_b + R_1, \\ A_2 &= R_e + R_t, \\ A_3 &= A_2 A_1 + R_c (A_2 + A_1), \\ A_4 &= A_1 (U_{C_c} + U_{C_e} + U_{C_s}) + A_2 (U_{C_c} - U_2 + U_{C_i}), \\ A_5 &= \frac{A_4}{A_3}. \end{aligned}$$

Проведемо заміну у лівій частині рівнянь системи рівнянь (2) у відповідності з виразами, які описують струми в ємностях $i_C(t) = C \frac{dU_C(t)}{dt}$ і напруги у індуктивностях $U_L(t) = L \frac{di_L(t)}{dt}$, а також врахуємо, що всі напруги та струми в системі змінюються в часі.

$$\left\{ \begin{aligned} L \frac{di_L(t)}{dt} &= U_2 - (U_{C_i}(t) + i_L(t) \cdot R_2), \\ C_d \frac{dU_{C_d}(t)}{dt} &= \frac{U_{C_s}(t) - U_{C_{ds}}(t) - U_{C_d}(t)}{R_t}, \\ C_{ds} \frac{dU_{C_{ds}}(t)}{dt} &= \frac{U_{C_s}(t) - U_{C_{ds}}(t) - U_{C_i}(t)}{R_d} + \frac{U_{C_s}(t) - U_{C_{ds}}(t) - U_{C_d}(t)}{R_t} - \frac{U_{C_{ds}}(t)}{R_{ds}} + I_{pt}, \\ C_s \frac{dU_{C_s}(t)}{dt} &= -A_5 - \frac{U_{C_s}(t) - U_{C_{ds}}(t) - U_{C_i}(t)}{R_d} - \frac{U_{C_s}(t) - U_{C_{ds}}(t) - U_{C_d}(t)}{R_t} - \\ &\quad - \frac{U_1 - U_{C_c}(t) - U_{C_i}(t) + A_5 R_c}{A_1}, \\ C_i \frac{dU_{C_i}(t)}{dt} &= i_L(t) + 2A_5 + \frac{U_1 - U_{C_c}(t) - U_{C_i}(t) + \frac{A_4 R_c}{3}}{A_1} + \frac{U_{C_s}(t) - U_{C_{ds}}(t) - U_{C_i}(t)}{R_d}, \\ C_c \frac{dU_{C_c}(t)}{dt} &= A_5 + I_{bt} - I_{dr}, \\ C_e \frac{dU_{C_e}(t)}{dt} &= A_5 - \frac{U_1 - U_{C_c}(t) - U_{C_i}(t) + A_5 R_c}{A_1} + I_{bt} + I_{df}. \end{aligned} \right. \quad (3)$$

Система рівнянь (3) є нелінійною оскільки містить в собі нелінійні елементи, а саме джерела струмів I_{pt} , I_{dr} , I_{df} , $I_{bt} = (I_f - I_r) / QB$ та ємності C_c , C_e .

$$I_f = I_S \left(e^{\frac{V_{BE}}{VT \cdot NF}} - 1 \right), \quad (4)$$

$$I_r = I_S \left(e^{\frac{V_{BC}}{VT \cdot NR}} - 1 \right), \quad (5)$$

$$I_{df} = \frac{I_f}{BF}, \quad (6)$$

$$I_{dr} = \frac{I_r}{BR}, \quad (7)$$

$$I_{pt} = \begin{cases} 0, & V_{GS} - V_{TO} \leq 0 \\ \beta \cdot (V_{GS} - V_{TO})^2, & V_{GS} - V_{TO} \leq V_{DS} \\ \beta \cdot V_{DS} \cdot [2 \cdot (V_{GS} - V_{TO}) - V_{DS}], & V_{GS} - V_{TO} > V_{DS} \end{cases}, \quad (8)$$

де I_S – струм насичення біполярного транзистора;
 V_{BE}, V_{BC} – напруги на внутрішніх точках база-емітер, база-колектор;
 VT – температурний потенціал;
 NF, NR – коефіцієнти неідеальності в нормальному та інверсному режимах;
 BF, BR – максимальні коефіцієнти передачі струму по схемі з загальним емітером в нормальному та інверсному режимах;
 QB – коефіцієнт неідеальності переходів біполярного транзистора;

V_{TO} – порогова напруга;

β – крутизна прохідної характеристики;

V_{GD}, V_{GS}, V_{DS} – напруги на внутрішніх точках затвор-стік, затвор-витік та стік-витік.

Ємності біполярного транзистора мають дифузійну та бар'єрну складову. Розглянемо окремо ємність колекторного переходу C_c :

$$C_c = C_{c,dif} + C_{c,bar}, \quad (9)$$

$$C_{c,dif} = \frac{(I_r + I_s) \cdot TR}{VT \cdot NR}, \quad (10)$$

$$C_{c,bar} = \begin{cases} \frac{CJC}{\left(1 - \frac{V_{BC}}{V_{JC}}\right)^{MJC}}, & V_{BC} < 0 \\ CJC, & V_{BC} \geq 0. \end{cases} \quad (11)$$

Ємність емітерного переходу запишеться C_e :

$$C_e = C_{e,dif} + C_{e,bar}, \quad (12)$$

$$C_{e,dif} = \frac{(I_f + I_s) \cdot TF}{VT \cdot NF}, \quad (13)$$

$$C_{e,bar} = \begin{cases} \frac{CJE}{\left(1 - \frac{V_{BE}}{V_{JE}}\right)^{MJE}}, & V_{BE} < 0 \\ CJE, & V_{BE} \geq 0, \end{cases} \quad (14)$$

де $C_{c,dif}, C_{c,bar}, C_{e,dif}, C_{e,bar}$ – дифузійні і бар'єрні ємності колекторного та емітерного переходів;

TF, TR – час переносу заряду через базу в нормальному та інверсному режимах;

CJE, CJC – ємність емітерного і колекторного переходів при нульовому зміщенні;

V_{JE}, V_{JC} – контактна різниця потенціалів переходів;

MJE, MJC – коефіцієнти плавності переходів.

Система рівнянь (3) є динамічною математичною моделлю ЧПВН, яка дозволяє визначити значення напруги або струму в будь-якій точці схеми в заданий момент часу.

Для перевірки адекватності розробленої моделі написано програму для розрахунку параметрів схеми в середовищі Maple. Розрахунок показує, що на виході ЧПВН дійсно будуть існувати періодичні коливання, частота яких буде змінюватись із зміною ємності конденсаторної циліндричної структури. Так при $C_w = 20$ пФ частота $F = 1650$ кГц, а при $C_w = 200$ пФ частота $F = 1110$ кГц.

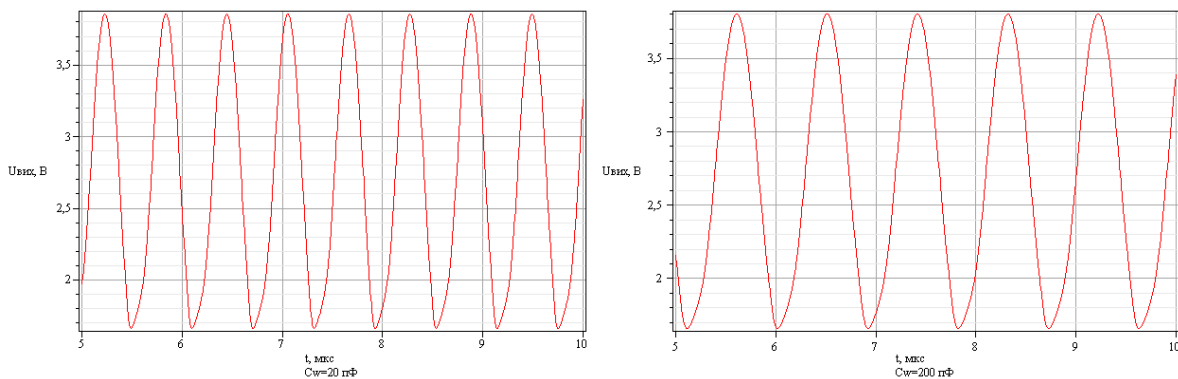


Рис. 4. Зміна величини напруги вихідного сигналу від часу

Експериментальні дослідження

Для проведення експериментальних досліджень у схемі, що зображена на рис. 1 було використано транзистори КТ3107 та КП313, в якості чутливого елементу було використано почергово КЦС: з сіткоподібними електродами [4] та з циліндричними електродами [5]. Так при зміні вологості мінерального масла М8В від 0 % до 30 % ємність КЦС з сіткоподібними електродами змінюється від 20 пФ до 45 пФ, а для КЦС з циліндричними електродами від 145 пФ до 1105 пФ.

На рис. 5 зображено експериментальну ВАХ досліджуваного перетворювача вологості. З характеристики видно присутність ділянки від'ємного опору.

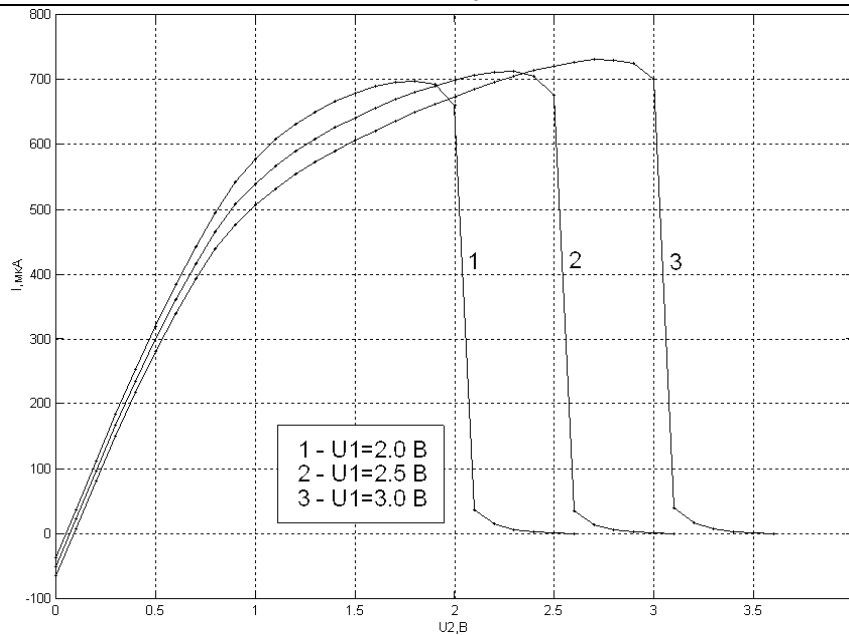


Рис. 5. Експериментальна ВАХ ЧПВН

Знаючи значення частоти вихідного сигналу F при різних значеннях ємності C_w можна отримати функцію перетворення для ЧПВН, що зображена на рис. 6 при $U_2=2,7$ В.

З рис. 6 можна бачити, що відносна похибка для ЧПВН є різною при різних діапазонах C_w , але не перевищує 1,5 %.

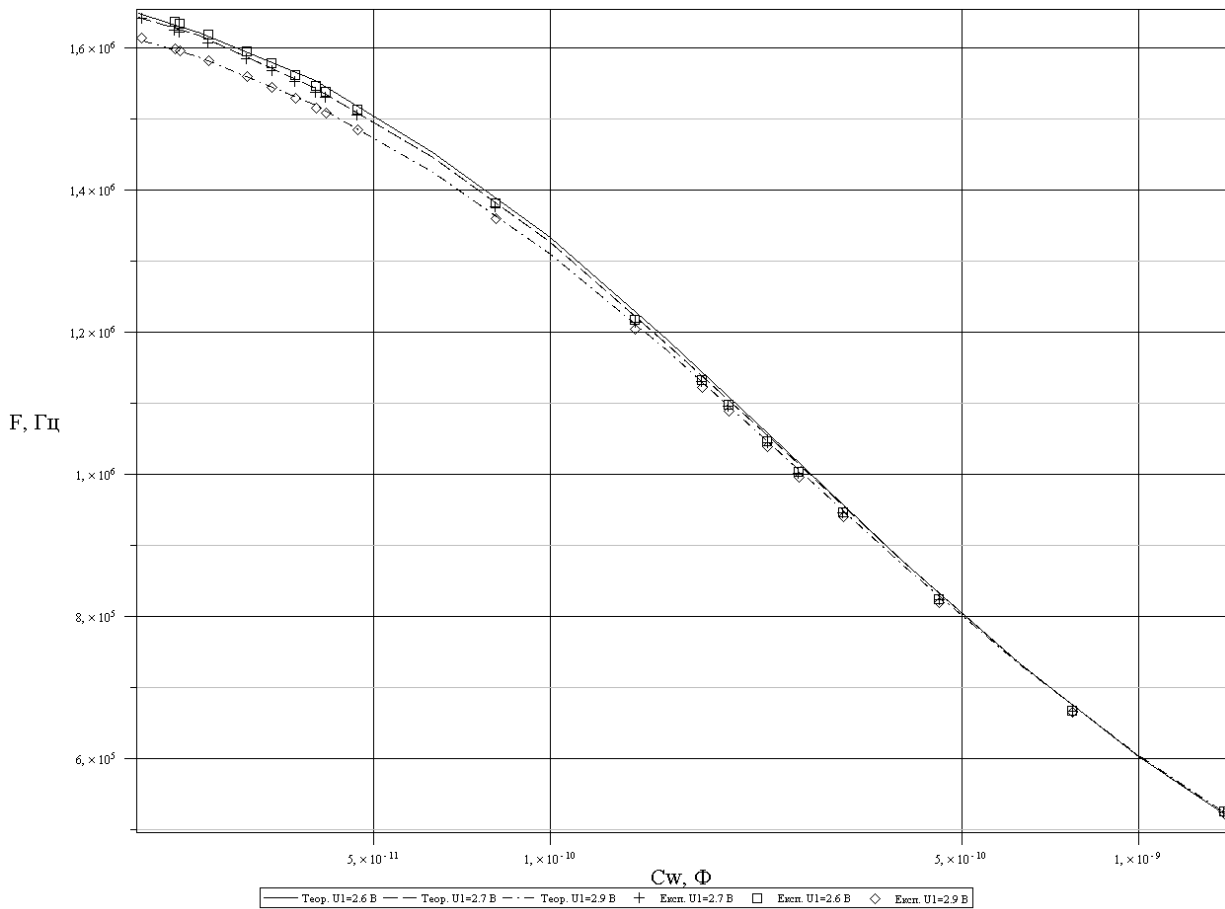


Рис. 6. Експериментальна та теоретична залежність частоти вихідного сигналу від вологості мінерального масла М8В

На рис. 7 наведено результати моделювання зміни відносної чутливості S_B [6] від ємності вологочутливого елемента.

$$S_B = \frac{\Delta F / F_H}{\Delta C_w / C_w}, \quad (15)$$

де F_i – нормувальна частота;
 ΔC_w – мінімальна зміна C_w ;
 ΔF – зміна частоти при мінімальній зміні C_w .

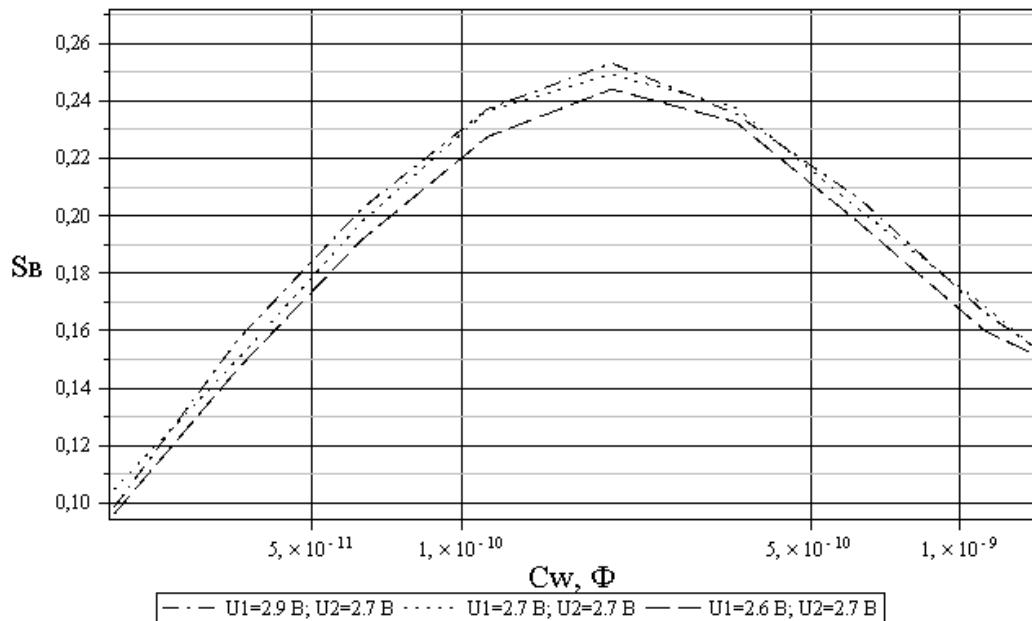


Рис. 7. залежність чутливості ЧПВН від ємності чутливого елемента

Нормувальна частота $F_n=1$ МГц. З рис. 7 видно, що найбільше значення відносної чутливості спостерігається в діапазоні від 100 пФ до 500 пФ, що є енергетично оптимальним режимом роботи ЧПВН.

Висновки

Показано можливість створення частотного перетворювача вологості нафтопродуктів на основі транзисторної структури з від'ємним опором у поєднанні з вологочутливими КЦС. Розроблено математичну модель частотного перетворювача вологості нафтопродуктів, яка дозволяє визначити значення напруги або струму в будь-якій точці схеми в заданий момент часу. Отримано залежності функції перетворення та чутливості перетворювача вологості. Розбіжність теоретичних та експериментальних результатів складає 1,5 %.

Література

- Осадчук В. С. Проблеми вимірювання вологості нафтопродуктів та метод підвищення його точності / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, О. С. Звягін // Нові технології. Науковий вісник КУЕІТУ. – 2010. – № 1. – С. 135– 139.
- Осадчук О. В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором / Осадчук О. В. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2000. – 303 с.
- Осадчук В. С., Осадчук О. В. Реактивні властивості транзисторів і транзисторних схем / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 1999. – 275 с.
- Пат. 40284 Україна, МКІ G 01 N 27/22. Сенсор для вимірювання вологості / В. С. Осадчук, О. В. Осадчук, О.С. Звягін (Україна). – № 200814052; заявл. 05.12.2008; опубл. 25.03.2009, Бюл. № 6. – 2 с.
- Пат. 39894 Україна, МКІ G 01 N 27/22. Ємнісний сенсор для вимірювання вологості / В.С. Осадчук, О. В. Осадчук, О. С. Звягін (Україна). – № 200814033; заявл. 05.12.2008; опубл. 10.03.2009, Бюл. № 5. – 2 с.
- Шрамков Е. Г. Электрические измерения. Средства и методы измерений / Шрамков Е. Г. – М.: Высшая школа, 1972. – 520 с.

Надійшла 16.9.2010 р.

ВПЛИВ АСИМЕТРІЇ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АНІЗОТРОПНОГО ФОТОПРУЖНОГО ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА НА ПОЛЯРИЗАЦІЙНІ ВТРАТИ ОПТИЧНОГО СИГНАЛУ

Виконано оцінку величини перехідних затухань в процесі обміну потужностями між основними хвилями в оптичному волокні, підданому впливу механічних напруг, викликаних вигинанням світловода в охолодженому стані (при кімнатній температурі) в спіральну лінію постійного кроку та радіусу. Отримано конкретні числові значення поляризаційних втрат при різних ступенях впливу фотопружності.

The estimation of size zatuhan transition in the exchange capacity between major waves in optical fibers influenced by mechanical stress caused by bending light in a chilled state (at room temperature) at constant pitch helix and radius. Try specific numerical values of polarization losses at different stages of the influence of photoelasticity.

Ключові слова: волоконно-оптичні системи передавання, волоконно-оптичний кабель, оптичне волокно, спірально вигнуте одномодове оптичне волокно

Постановка задачі

На сьогодні спостерігається високий за швидкістю та результатами прогрес в створенні нових методів та засобів телекомунікацій. Розвиток технології виробництва систем та засобів зв'язку з високою пропускну здатністю, дальністю передавання та масове їх використання призвели до інформаційно-технологічної революції та формуванню глобального інформаційного суспільства. На сьогодні телекомунікації – це одна із найбільш швидких за розвитком високотехнологічних і наукомістких галузей світової економіки. Експоненційний розвиток зв'язку вимагає підвищення вимог до волоконно-оптичних систем передавання (ВОСП): необхідно розширювати пропускну здатність волоконно-оптичних кабелів (ВОК), швидкість передавання інформації, якість, надійність та економічні показники. З цією метою існує необхідність у нівелюванні таких негативних явищ, як дисперсія сигналу, затухання, нелінійні ефекти.

Використання анізотропних властивостей середовища розповсюдження оптичного сигналу, таких як тензорний характер діелектричної проникливості, подвійне променезаломлювання, поляризаційна дисперсія, взаємні впливи між основними звичайною та незвичайною хвилями, дозволить суттєво підвищити як оптичні характеристики оптичного волокна (ОВ), так і параметри передавання. Оптичною анізотропією називається залежність діелектричних властивостей середовища від напрямку розповсюдження електромагнітної хвилі та її поляризації [1]. Вона може бути викликана впливом на ОВ електромагнітного поля або механічної напруги. При цьому мікроструктура скла ОВ (молекули, мікрочастинки) отримує орієнтацію вздовж силових ліній прикладеного поля. Одним із способів надання ОВ анізотропних властивостей є фотопружність, викликана вигинанням ОВ при кімнатній температурі в спіральну лінію постійного кроку p та радіусу R . Даний спосіб досягнення фотопружності є цілком прийнятним при виготовленні ВОК, оскільки в більшості конструкцій оптичні модулі вкладаються на центральний силовий елемент шляхом намотування. Задача зводиться до визначення оптимальних параметрів скрутки (p та R). Для оцінки ступеню впливу фотопружності вибрано параметр $A = \frac{p}{4\pi R}$.

Аналіз публікацій стосовно даної проблеми

ОВ, що наразі використовуються в ВОСП в більшості є ізотропними, тобто їх мікроструктура скла має хаотичну орієнтацію і діелектричні властивості є однаковими, незалежними від поляризації хвилі, що розповсюджується. Однак останнім часом підвищився науковий та практичний інтерес до вивчення анізотропних середовищ розповсюдження електромагнітних хвиль, оскільки при цьому, як показали дослідження, проведені в [2, 3], представляється можливість досягти компенсації хроматичної дисперсії за рахунок поляризаційної та отримати ОВ з нульовою дисперсією сигналу в четвертому вікні прозорості (1,565– 1,625 мкм), в роботах [4, 5] розглянуто можливість просторового розведення звичайної та незвичайної основних хвиль, що може бути закладено в основу проектування направлених відгалужувачів ВОСП та частотновибіркового фільтрів. Взаємні впливи між основними звичайною та незвичайною хвилями проявляються в якості перехідних затухань, методика розрахунку яких представлена в роботах [6, 7]. Правильне використання властивостей анізотропного спіральновигнутого одномодового ОВ (СОМОВ) дозволить мінімізувати негативний вплив дисперсії сигналу, що дозволить зменшити кількість регенераторів ВОСП та обмежитись лише використанням оптичних підсилювачів. Особливості анізотропних ОВ, обумовлених фотопружністю на сьогодні всебічно не досліджені та для аналізу можливості виконання в ВОСП пристроїв, принцип дії яких ґрунтується на використанні властивостей анізотропного середовища, необхідно провести роботу з дослідження залежності елементів тензора діелектричної проникливості, перехідних затухань між звичайною та незвичайною хвилями, поляризаційної дисперсії від впливу фотопружності.

Мета роботи

Встановити пряму залежність величини перехідних затухань при розповсюдженні сигналу по

СОМОВ від діелектричних властивостей.

Перехідне затухання – це поляризаційні втрати, обумовлені перекачуванням потужності зв'язку між основними звичайною та незвичайною хвилями по мірі розповсюдження оптичного сигналу в анізотропному фотопружному ОБ. Причиною виникнення даного явища є асиметрії метричного та діелектричного тензорів, що призводять до невзаємного електромагнітного зв'язку між вказаними хвилями.

По мірі проходження оптичного сигналу в СОМОВ між основними хвилями (звичайною HE_{11}^o та незвичайною HE_{11}^e) відбувається обмін потужностями: після проходження сигналом довжини ОБ, рівній $m\xi_1$ (m – ціле число, ξ_1 – напівдовжина ділянки биття) частина потужності із незвичайної хвилі перекачується в звичайну, а частина потужності із звичайної перекачується в незвичайну, причому при $m = 1, 3, 5, \dots$ домінуючою є величина потужності, що перекачується із незвичайної хвилі у звичайну (характеризується перехідним затуханням $\alpha_{n1}^{eo}(\xi_1)$), при $m = 2, 4, 6, \dots$, навпаки переважає потужність, що перекачується із звичайної хвилі в незвичайну (характеризується перехідним затуханням $\alpha_{n1}^{oe}(\xi_1)$) [6, 7]. Після проходження сигналом довжини ОБ, рівної ξ_1 , основний напрямок перекачування потужності змінюється на протилежний. В фотопружному СОМОВ величину напівділянки биття ξ_1 можна розрахувати через параметр A , використавши вираз [6]:

$$\xi_1 = \frac{\sqrt{2}\lambda n_1 R \cdot (1+4A^2)\sqrt{1+A^2}}{w |A^2 + A - 1|} \quad (1)$$

де λ_1 – довжина робочої хвилі оптичного сигналу, n_1 – показник заломлення серцевини ОБ, R – радіус спіралі, в яку укладено ОБ, w – радіус модового поля, $A = \frac{P}{4\pi R}$ – параметр скручування ОБ.

При $A \gg 1$ напівдовжина ділянки биття ξ_1 прямо пропорційна A . Згідно виразу (1), при $A \rightarrow 0,617999$, $\xi_1 \rightarrow \infty$. Поясненням цього є рівність фазових коефіцієнтів розповсюдження незвичайної β_1^e та звичайної хвиль β_1^o і ділення на різницю даних коефіцієнтів призводить до суттєвого зростання величини ξ_1 . Однак матеріал СОМОВ при цьому залишається анізотропним, недиагональні елементи тензора діелектричної проникності $\epsilon_{\varphi z}$, $\epsilon_{z\varphi}$ є відмінними від нуля, а значення елементу ϵ_{zz} відрізняється від $\epsilon(r)$.

Розрахунок величини перехідного затухання при перекачуванні потужності зв'язку із незвичайної хвилі HE_{11}^e в звичайну хвилю HE_{11}^o $\alpha_{n1}^{eo}(\xi_1)$ на ділянці СОМОВ рівній половині ділянки биття здійснюється за допомогою виразу [6]:

$$\begin{aligned} \alpha_{n1}^{eo}(\xi_1) = 10 \lg & \frac{\sqrt{2} \cdot \lambda \cdot n_1}{w} \cdot \frac{A\sqrt{1+A^2}}{|A^2 + A - 1|} \cdot \{5,044[\cos 2\varphi^e (\cos^3 \varphi^e - \sin^3 \varphi^e) + 0,167 \sin 2\varphi^e (\sin \varphi^e + \cos \varphi^e - \\ & - \frac{2}{3} \sin^3 \varphi^e - \frac{2}{3} \cos^3 \varphi^e)] - \frac{\chi w}{\sqrt{2}} 0,044[\cos^2 \varphi^e (\sin^3 \varphi^e + \cos^3 \varphi^e) + \sin^2 2\varphi^e (\cos^3 \varphi^e - \sin^3 \varphi^e) + \sin^2 \varphi^e \cdot \\ & \cdot (\sin \varphi^e + \cos \varphi^e) - \frac{1}{3} \sin^3 \varphi^e - \frac{1}{3} \cos^3 \varphi^e] - \frac{\chi w}{\sqrt{2}} 5[\cos^2 \varphi^e (\frac{1}{3} \sin \varphi^e + \frac{1}{3} \cos \varphi^e - \cos^3 \varphi^e - \sin^3 \varphi^e) - \sin 2\varphi^e \cdot \\ & \cdot (\cos^3 \varphi^e - \sin^3 \varphi^e) + \sin^2 \varphi^e (\sin^3 \varphi^e + \cos^3 \varphi^e)]\}. \end{aligned} \quad (2)$$

де $\varphi^{e,o}$ – координата обертаємої циліндричної системи, вибирається рівною куту поляризації хвилі, що розглядається (звичайної φ^o або незвичайної φ^e),

Розрахунок величини перехідного затухання при зміні основного напрямку перекачування потужності, тобто із хвилі HE_{11}^o в хвилю HE_{11}^e після проходження сигналом ділянки СОМОВ, рівній половині ділянки биття ξ_1 здійснюється за допомогою виразу [7]:

$$\alpha_{n1}^{oe}(\xi_1) = 10 \lg \frac{\sqrt{2} \cdot \lambda \cdot n_1}{w} \cdot \frac{A\sqrt{1+A^2}}{A^2+A-1} \cdot \{10,352 \cdot [\cos 2\varphi^\circ (\sin^3 \varphi^\circ + \cos^3 \varphi^\circ) + \sin 2\varphi^\circ (\cos^3 \varphi^\circ - \sin^3 \varphi^\circ) - 0,167 \cdot \sin \varphi^\circ (\cos \varphi^\circ - \sin \varphi^\circ)] + 0,528 \cdot [0,2 \cos^9 \varphi^\circ - \sin^2 \varphi^\circ \cos^7 \varphi^\circ + \cos^6 \varphi^\circ (-0,07 \sin \varphi^\circ + 0,4 \sin^3 \varphi^\circ)] + \cos^5 \varphi^\circ (-0,2 \sin^2 \varphi^\circ + 0,6 \sin^4 \varphi^\circ) + \cos^4 \varphi^\circ (6,2 \sin \varphi^\circ - 0,2 \sin^3 \varphi^\circ + 0,4 \sin^5 \varphi^\circ) + \cos^3 \varphi^\circ (0,8 \sin^2 \varphi^\circ + 0,6 \sin^6 \varphi^\circ) + \cos^2 \varphi^\circ (-6 \cdot \sin^3 \varphi^\circ + 0,2 \cdot \sin^5 \varphi^\circ) + \cos \varphi^\circ \cdot (0,4 \cdot \sin^4 \varphi^\circ - 0,2 \cdot \sin^6 \varphi^\circ - 0,4 \sin^8 \varphi^\circ) + 0,2 \sin^5 \varphi^\circ - 0,067 \sin^7 \varphi^\circ] + 15 \cdot [-0,4 \cos^8 \varphi^\circ \cdot \sin \varphi^\circ - \frac{1}{3} \cos^7 \varphi^\circ + \cos^6 \varphi^\circ (1,4 \sin \varphi^\circ + 0,6 \sin^3 \varphi^\circ) + \cos^5 \varphi^\circ (0,2 + 0,2 \sin^2 \varphi^\circ + 0,8 \sin^4 \varphi^\circ) + \cos^4 \varphi^\circ (-0,4 \sin \varphi^\circ - \frac{4}{3} \sin^3 \varphi^\circ + 0,6 \sin^5 \varphi^\circ) + \cos^3 \varphi^\circ (1,4 \cdot \sin^4 \varphi^\circ - 0,8 \cdot \sin^6 \varphi^\circ) + \cos^2 \varphi^\circ (0,8 \sin^3 \varphi^\circ - 0,2 \sin^5 \varphi^\circ - 1,4 \sin^7 \varphi^\circ) + \cos \varphi^\circ (0,2 \sin^4 \varphi^\circ - \frac{4}{3} \sin^6 \varphi^\circ) + 0,2 \sin^9 \varphi^\circ] \} \quad (3)$$

Перехідні затухання є добутками функцій спектральної залежності перехідних затухань основних хвиль, геометрії вигину та кутів поляризації матеріалу. Останні дві функції залежать від безрозмірного параметра A , від якого, згідно з (1) залежить також значення напівдовжини ділянки биття.

Після проходження оптичним сигналом довжини СОМОВ, рівної $2\xi_1$, основна потужність зв'язку перекачується із незвичайної хвилі в звичайну та перекачується в зворотньому напрямку, із звичайної в незвичайну. При цьому поляризаційні втрати на довжині $2\xi_1$ для незвичайної хвилі складатимуть:

$$\alpha_{n1}^{eo}(2\xi_1) = \alpha_{n1}^{eo}(\xi_1) - \alpha_{n1}^{oe}(\xi_1), \quad (4)$$

де $\alpha_{n1}^{eo}(\xi_1)$, $\alpha_{n1}^{oe}(\xi_1)$ – перехідні затухання на напівдовжинах биття при перекачуванні потужності із незвичайної хвилі у звичайну та із звичайної в незвичайну відповідно.

Поляризаційні втрати після проходження оптичним сигналом довжини СОМОВ $2\xi_1$ для звичайної хвилі складатимуть:

$$\alpha_{n1}^{oe}(2\xi_1) = -\alpha_{n1}^{eo}(\xi_1) + \alpha_{n1}^{oe}(\xi_1), \quad (5)$$

Проведені розрахунки показали, що характер зміни $\alpha_{n1}^{eo}(\xi_1)$ в діапазоні параметра A від 0 до 1 має вигляд, представлений на рис. 1 (матеріал серцевини ОВ – чистий кварц, довжина хвилі сигналу 1,565 мкм).

При $A = 0,617999\dots$, знаменник в виразі (3) прямує до нуля, а, отже величина потужності, що перекачується з незвичайної хвилі в звичайну буде стрімко зростати. При $A > 1$ функція залежності $\alpha_{n1}^{eo}(\xi_1)$ від кута поляризації незвичайної хвилі (вираз у фігурній дужці (4)) значно зменшується, тому більша частина потужності перекачується в незвичайну хвилю.

Графік залежності $\alpha_{n1}^{oe}(\xi_1)$ від параметра A представлений на рис. 2.

При $A = 0,617999\dots$ знаменник в (3), як і в (2) прямує до нуля, а отже, перехідне затухання $\alpha_{n1}^{oe}(\xi_1)$ також буде стрімко зростати. Поясненням цьому є зростання до нескінченності напівдовжини ділянки биття при даному значенні A (див. вираз (1)), а, оскільки параметри $\alpha_{n1}^{eo}(\xi_1)$ та $\alpha_{n1}^{oe}(\xi_1)$ прямо пропорційні ξ_1 , матиме місце суттєве зростання потужностей зв'язку. При $A = 0-0,487$ вираз під логарифмом в (3) приймає від'ємне значення, перекачування потужності із звичайної хвилі в незвичайну відбуватись не буде.

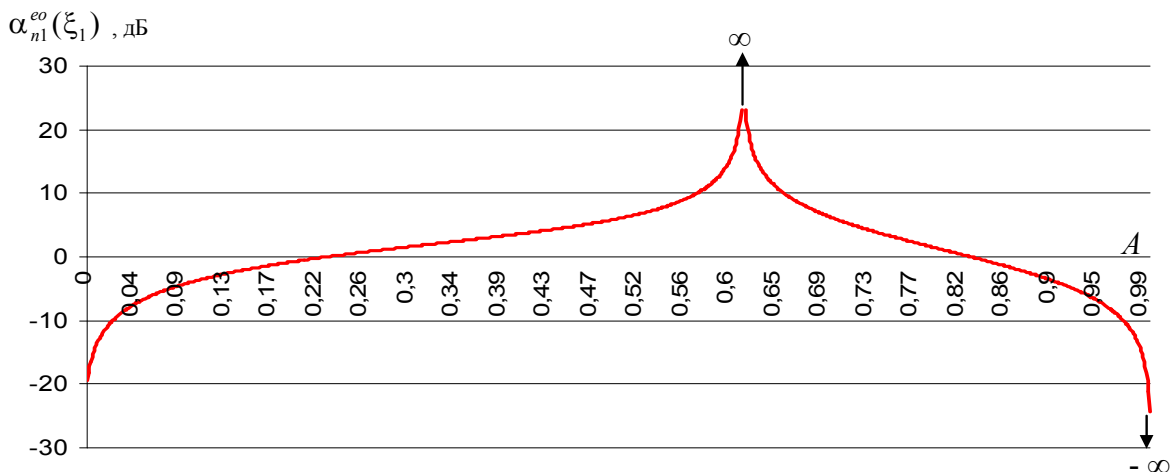


Рис. 1. Залежність перехідного затухання незвичайної хвилі в СОМВС на ділянці, рівній половині довжини биття від параметру A

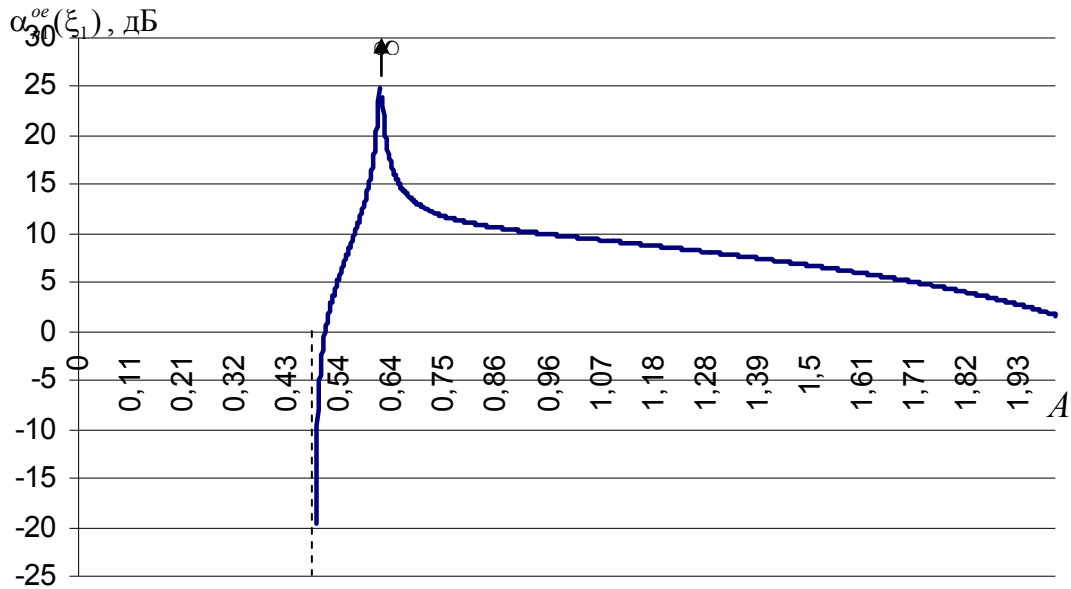


Рис. 2. Залежність перехідного затухання для звичайної хвилі в СОМОВ на ділянці, рівній половині довжини биття від параметру A

На рис. 3 представлено залежність перехідного затухання для незвичайної хвилі на ділянці биття $\alpha_{n1}^{eo}(2\xi_1)$, розраховану за виразом (4). Отримано наступні результати: при $A = 0-0,487$ та $A = 0,986-2,308$ перехідні затухання відсутні, при $A = 0,487-0,553$ та $A = 2,307-2,975$ більша частина потужності перекачується у звичайну хвилю, при $A = 0,553-0,986$ та $A > 2,975$ домінує потужність, що перекачується в незвичайну хвилю. Графік залежності перехідного затухання для звичайної хвилі на ділянці биття $\alpha_{n1}^{oe}(2\xi_1)$ представляє собою дзеркальне відображення графіка, представленого на рис. 3, відносно вісі абсцис.

При необхідності визначення в СОМОВ величини перехідного затухання в процесі перекачування потужності між основними хвилями з взаємоортогональними поляризаціями (звичайною HE_{11}^o та незвичайною HE_{11}^e), володіючи значеннями елементів тензора діелектричної проникності в якості вихідних даних при невизначеності параметра A , потрібен розрахунок еквівалентного значення A ($A_{екв}$) для підстановки в вирази (1) – (5).

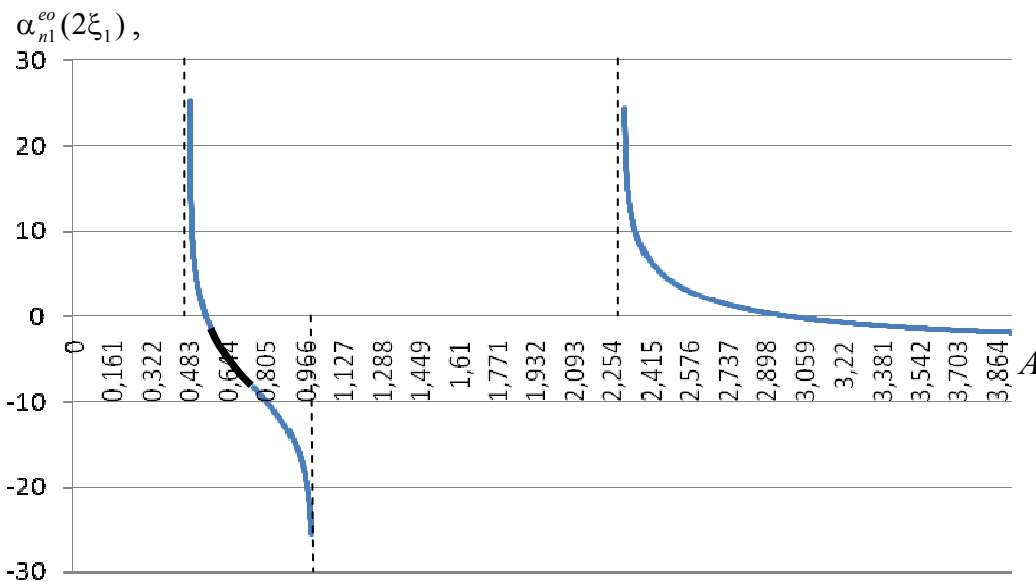


Рис. 3. Залежність перехідного затухання незвичайної хвилі в СОМОВ на ділянці, рівній довжині биття від параметру A

Вирази для розрахунку елементів тензора діелектричної проникності для обертової циліндричної системи координат отримані в [8, 9] та мають вигляд:

$$\epsilon_{zz}^{e,o} = \epsilon(r) - \frac{\sqrt{2}w \cos \varphi^{e,o}}{R(1+4A^2)} + \frac{w^2 \cos^2 \varphi^{e,o}}{2R^2(1+4A^2)^2} + \frac{2A^2 w^2}{R^2(1+4A^2)}, \quad (6)$$

де $\varepsilon(r)$ – діелектрична проникність ізотропного ОБ (розраховується за виразом Селмейера [1]).

$$\varepsilon_{z\varphi} = \varepsilon_{\varphi z} = -\frac{2w}{\sqrt{2}R} \cdot \frac{A}{1+4A^2}, \quad (7)$$

$$\varepsilon_{r\varphi} = \varepsilon_{\varphi r} = \varepsilon_{rz} = \varepsilon_{zr} = 0, \quad (8)$$

$$\varepsilon_{rr} = \varepsilon_{\varphi\varphi} = \varepsilon(r). \quad (9)$$

З (7) визначасмо $A_{\text{екв}}$:

$$A_{\text{екв}} = \frac{-2w \pm \sqrt{4w^2 - 32R^2 \varepsilon_{z\varphi}^2}}{8\sqrt{2}R\varepsilon_{z\varphi}}. \quad (10)$$

Знак + або – в чисельнику перед коренем вибирається залежно від того, в якій області розглядається функція $\varepsilon_{z\varphi}(A)$ (див. рис. 2 в роботі [8]): до мінімуму (знак +) чи після мінімуму (знак -).

Найбільш лінійною ділянкою зміни елемента $\varepsilon_{zz}(A)$ є область A від 0,1 до 0,6, що дозволяє з найменшою похибкою визначити $A_{\text{екв}}$ в цих межах, використавши вираз (6):

$$A_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{-B_2 + \sqrt{B_2^2 - 4B_4 \cdot B_0}}{2B_4}}, \quad (11)$$

де:

$$B_4 = 32\varepsilon(r)R^2 - 32\varepsilon_{zz}R^2, \quad (12)$$

$$B_2 = 16\varepsilon(r)R^2 - 8\sqrt{2}Rw \cdot \cos \varphi + 4w^2 - 16\varepsilon_{zz}R^2, \quad (13)$$

$$B_0 = 2\varepsilon(r)R^2 - 2\sqrt{2}Rw \cdot \cos \varphi + w^2 \cos^2 \varphi - 2\varepsilon_{zz}R^2. \quad (14)$$

В табл. 1 наведено порівняння реального значення A та значення $A_{\text{екв}}$, розрахованого за виразом (11) (матеріал серцевини 100 % SiO₂, матеріал оболонки 1 % F, 99 % SiO₂, довжина хвилі 1,565 мкм, радіус серцевини ОБ 4,5 мкм).

Таблиця 1

Порівняння результатів розрахунку параметра $A_{\text{екв}}$ за (11) з реальними значеннями A

A реальне	$A_{\text{екв}}$ розраховане	A реальне	$A_{\text{екв}}$ розраховане
0,05	0,048049	0,8	0,817607
0,1	0,099047	0,85	0,87541
0,15	0,149384	0,9	0,936317
0,2	0,199574	0,95	1,001506
0,25	0,249723	1	1,072633
0,3	0,299877	1,05	1,152089
0,35	0,350072	1,1	1,243449
0,4	0,400344	1,15	1,352315
0,45	0,450743	1,2	1,48806
0,5	0,501336	1,25	1,667862
0,55	0,552216	1,3	1,927729
0,6	0,603514	1,35	2,361555
0,65	0,655409	1,4	3,348505
0,7	0,708145	1,45	комплексне число
0,75	0,76206	1,5	комплексне число

Результати розрахунків свідчать, що поза лінійною ділянкою похибка розрахунку є значною, а отже даний вираз не є придатним для визначення A . Але, враховуючи той факт, що екстремум функції $\varepsilon_{z\varphi}$ знаходиться в межах лінійної ділянки функції $\varepsilon_{zz}(A = 0,5)$, виразом (11) можна скористатися для визначення області знаходження A : до 0,5 чи після 0,5.

Отже, остаточно вираз для визначення $A_{\text{екв}}$ матиме вигляд:

$$A_{\text{екв}} = \frac{-2w + \sqrt{4w^2 - 32R^2 \varepsilon_{z\varphi}^2}}{8\sqrt{2}R\varepsilon_{z\varphi}} \text{ при } \sqrt{\frac{-B_2 + \sqrt{B_2^2 - 4B_4 \cdot B_0}}{2B_4}} < 0,5;$$

$$A_{\text{екв}} = \frac{-2w - \sqrt{4w^2 - 32R^2 \varepsilon_{z\varphi}^2}}{8\sqrt{2}R\varepsilon_{z\varphi}} \text{ при } \sqrt{\frac{-B_2 + \sqrt{B_2^2 - 4B_4 \cdot B_0}}{2B_4}} \geq 0,5. \quad (15)$$

В табл. 2 наведені порівняння результатів розрахунків $A_{\text{екв}}$ за (15) з реальними значеннями A

(матеріал серцевини – 100 % SiO₂, матеріал оболонки – 1 % F, 99 % SiO₂, довжина робочої хвилі сигналу – 1,565 мкм, радіус серцевини OB – 4,5 мкм).

Розраховувавши таким чином значення $A_{\text{екв}}$ для необхідного значення елементів тензора діелектричної проникності ϵ_{zz} та $\epsilon_{\varphi z} = \epsilon_{z\varphi}$, за виразами (2)– (5) визначається величина перехідного затухання (кут поляризації незвичайної хвилі буде $\varphi^e = -\text{arctg } A_{\text{екв}}$). Володіючи такими даними, як значення елементів тензора діелектричної проникності, дана методика дає можливість розрахувати яким буде перехідне затухання в СОМОВ. На рис. 4 представлено відповідність величини перехідного затухання СОМОВ $\alpha_{n1}^{eo}(\xi_1)$ на напівділянці биття, а на рис. 5 – відповідність величини перехідного затухання $\alpha_{n1}^{oe}(\xi_1)$ на даній ділянці значенням елементу тензора діелектричної проникності ϵ_{zz} , розрахунки проводились для чистого кварцу, довжини хвилі 1,565 мкм.

Таблиця 2

Порівняння результатів розрахунку параметра $A_{\text{екв}}$ за виразом (15) з реальними значеннями A .

A реальне	$A_{\text{екв}}$ розраховане	A реальне	$A_{\text{екв}}$ розраховане
0,05	0,05	0,8	0,800000002
0,1	0,1	0,85	0,85
0,15	0,15	0,9	0,9
0,2	0,2	0,95	0,949000002
0,25	0,25	1	1
0,3	0,2999999	1,05	1,05
0,35	0,3499999	1,1	1,1
0,4	0,3999999	1,15	1,15
0,45	0,4499999	1,2	1,2
0,5	0,500022	1,25	1,25
0,55	0,550000006	1,3	1,3
0,6	0,600000003	1,35	1,35
0,65	0,650000002	1,4	1,4
0,7	0,700000002	1,45	1,45
0,75	0,750000002	1,5	1,5

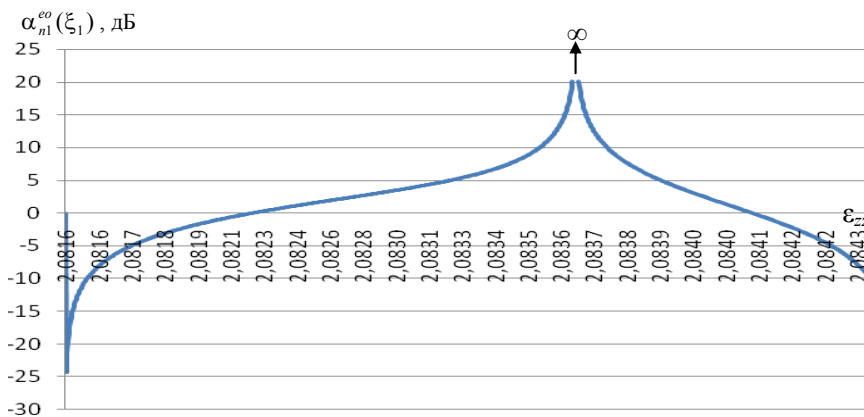


Рис. 4. Відповідність перехідного затухання $\alpha_{n1}^{eo}(\xi_1)$ елементам тензора ϵ_{zz} на напівділянці биття СОМОВ

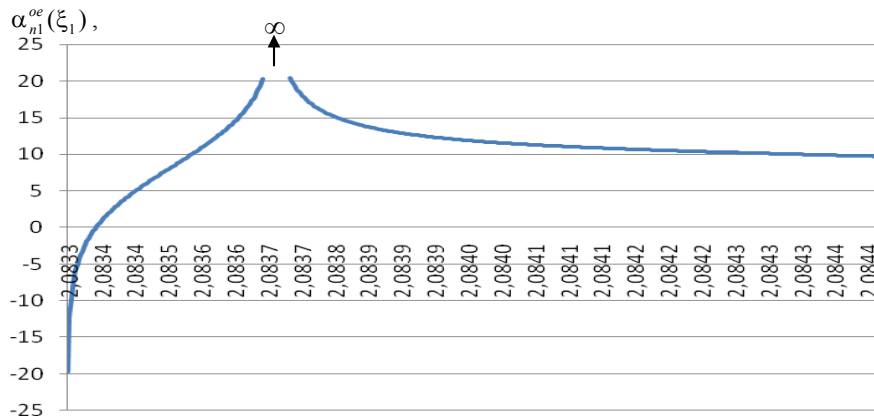


Рис. 5. Відповідність перехідного затухання $\alpha_{n1}^{oe}(\xi_1)$ елементам тензора ϵ_{zz} на напівділянці биття СОМОВ

Висновок

Як засвідчують результати проведених розрахунків, що представлені у вигляді графіків рис. 1, рис. 2 та рис. 3, величина потужності, що перекачується із незвичайної хвилі в звичайну, та навпаки із звичайної в незвичайну суттєво залежить від ступеню впливу фотопружності ОВ, який характеризується безрозмірним параметром A . В діапазоні $A = 0 \dots 3$ має місце зміна в широких межах перехідних затухань як в першому, так і в другому напрямках. При $A > 2,75$ потужність зв'язку перекачується лише в одному напрямку – із звичайної хвилі в незвичайну. Таким чином, якщо розглядати скручене навколо власної вісі ОВ, існує певна довжина ОВ, рівна довжині встановлення лінійного поляризаційного стану незвичайної хвилі HE_{11}^e , пройшовши яку оптична потужність звичайної хвилі повністю перекачується у незвичайну хвилю і в подальшому розповсюдженні сигналом по даному ОВ інформативною залишатиметься саме хвиля HE_{11}^e .

Існує зв'язок між елементами тензора діелектричної проникності та перехідним затуханням СОМОВ. Для чистого кварцу встановлено, що при $\epsilon_{zz} = 2,0837$ значення поляризаційних втрат прямують до нескінченності при перекачуванні потужності зв'язку як із незвичайної хвилі в звичайну, так і із звичайної хвилі в незвичайну, при цьому ж значенні ϵ_{zz} прямує до нескінченності і величина напівділянки биття. При $\epsilon_{zz} > 2,0842$ вся потужність перекачується лише в одному напрямку – із звичайної хвилі в незвичайну.

Отримані результати можуть бути використані в якості довідкового матеріалу при розробці конструкцій ВОК, які забезпечують нульову дисперсію сигналу за відсутності поляризаційних втрат в четвертому вікні прозорості ВОСП та для розробки направлених відгалужувачів ВОСП із поділом потужності оптичного сигналу.

Література

1. Корнейчук В. И. Оптические системы передачи / Корнейчук В. И., Макаров Т. В., Панфилов И. П. – К.: Техніка, 1994. – 388 с.
2. Одинцов Н. Н. Исследование поляризационной дисперсии волоконных световодов, изогнутых по спирали / Н. Н. Одинцов, О. М. Стащук // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. – Одеса, 2009.
3. Стащук О. М. Компенсація внутрішньомодової дисперсії в анізотропному фотопружному оптичному волокні / О. М. Стащук // Вісник Хмельницького Національного університету. – 2009. – Вип. 4 – С. 230–233.
4. Рівномірне розподілення потужності оптичного сигналу на основі подвійного променезаломлювання в фотопружному анізотропному середовищі: IV Міжнародна науково-технічна конференція «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування», 08–10 жовтня, 2009 р. – Вінниця, 2009. – С. 25.
5. Xth International Conference TCSET'2010 “Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science”, Lviv – Slavske, Ukraine, february 23 – 27, 2010 / Lesovoi I. P., Staschuk O.M. – Lviv, 2010. – С. 152 – 153.
6. Макаров Т. В. Невзаимные влияния волн и сигналов в спиральных одномодовых волоконных световодах. Часть I / Т. В. Макаров // Праці УНДІРТ. – Одеса, 2004. – Вип. 2 (38). – С. 23–29.
7. Макаров Т. В. Невзаимные влияния волн и сигналов в спиральных одномодовых волоконных световодах. Часть II / Т. В. Макаров // Праці УНДІРТ. – Одеса, 2004. – Вип. 2 (38). – С. 29–34.
8. Одинцов Н. Н. Исследование анизотропии волоконных световодов изогнутых по спиральной линии / Н. Н. Одинцов, О. М. Стащук // Наукові праці ОНАЗ ім. О. С. Попова. – Одеса, 2008. – Вип. 1. – С. 63–66.
9. Макаров Т. В. Анизотропия изогнутых волоконных световодов / Т. В. Макаров // Труды УНИИРТ. – Одеса, 1996. – Вип. 1. – С. 106–108.

Надійшла 19.9.2010 р.

ВИЗНАЧЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ RS-СТЕГАОНАЛІЗУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗОБРАЖЕНЬ

Представлено результати дослідження статистичних властивостей кольорових зображень за методом RS-стегоаналізу. Показано, що RS-стегоаналіз має перспективи стати методологічною базою для побудови нових алгоритмів ідентифікації особливостей зображень і створення концептуально нових підходів до цифрової обробки образів.

The results of research statistical features for color images by RS-stegoanalysis are presented. In paper it was shown that RS-stegoanalysis has perspectives to become the methodological base for building the new images' features identification algorithms and for creating the new concepts for digital image processing.

Ключові слова: Кольорові зображення, RS-стегоаналіз, оцінка дисперсії шуму, метод ковзного вікна.

Вступ

Дослідження статистичних характеристик цифрових зображень є основою для розробки нових методів фільтрації шумів, покращення методів двовірної інтерполяції, синтезу тримірних моделей віртуальної реальності тощо. Відомо, що багато методів цифрової обробки зображень було запозичене з оптики, кібернетики, спеціальних розділів математики, радіоелектроніки і використовують особливості сприйняття візуальних образів людиною.

Аналіз останніх досліджень та виділення не вирішених раніше частин проблеми

Сучасні прикладні дослідження характеристик зображень та сигналів ґрунтуються на використанні програмних комплексів комп'ютерної математики типу *MATLAB*, *MathCAD*, *Mathematica* та ін., які містять широкий набір програм цифрового аналізу і обробки сигналів та допускають створення нових [1] шляхом написання функцій користувачем у цих комплексах або на відомих мовах програмування. Відомо, що при оцінюванні параметрів отриманих даних завжди виникає проблема розрізнення шумів природного, технічного походження та артефактів реєстрації від корисної для даного дослідження інформації. Пошук методів розв'язання цієї проблеми призвів до створення класичних методів статистичного оцінювання параметрів експериментальних результатів, спектрального та вейвлет аналізу, великого набору методів фільтрації тощо.

Вищезазначені методи ґрунтуються на роботі з дійсними або цілими числами, а значення, що знаходяться на межі розрядності процесора трактуються як можлива арифметична похибка. RS-стегоаналіз [2, 3], навпаки, досліджує закономірності і зв'язки для найменш значимих біт даних з сусідніми в околиці бітами та тими бітами, які знаходяться на рівень вище. Математичний апарат RS-стегоаналізу включає не тільки статистичні, але й комбінаторні методи дослідження даних, що обумовило його унікальну здатність до розпізнавання і оцінки величин штучних змін у зображеннях, не доступних традиційним статистичним методам.

Тому дослідження можливостей RS-стегоаналізу, а також розгляд концепцій створення похідних від нього алгоритмів для суміжних з стегографією областей цифрової обробки сигналів та зображень, статистичного оцінювання параметрів експериментальних даних є актуальними науковими проблемами. Зазначимо, що до запропонованої роботи ця тема ще не була предметом досліджень.

Формулювання цілей статті

Метою написання статті є:

- виклад результатів дослідження масивів зображень за допомогою RS-стегоаналізу;
- порівняння отриманих результатів з даними статистичних досліджень масивів зображень за відомими методами;
- визначення перспективи запозичення методики RS-стегоаналізу для підвищення якості аналізу цифрових фотографій;
- опис методики перевірки придатності цього методу виявлення прихованих даних для створення нових методів фільтрації зображень після відповідних модифікацій.

Постановка задачі

У роботі розглянуто використання RS-стегоаналізу для досліджень масивів зображень, їх реакції на застосування сучасних складних цифрових фільтрів, визначення чутливості статистичних характеристик зображень до малих стохастичних збурень, викликаних додаванням даних (стегобіт) у найменш значимі біти (НЗБ) зображень. Дослідження властивостей кольорових зображень за методом RS-стегоаналізу було виконано на декількох великих вибірках зображень різного класу, що підтверджує статистичну достовірність наведених даних. Подальші дослідження у вказаному напрямку можуть бути використані для побудови нових методів комп'ютерної обробки зображень.

Принцип стегографічного вбудовування інформації у найменш значимі біти зображення

Розглянемо стегографічне приховування даних у зображеннях [2– 9] за методом заміни найменш

значимого біта (НЗБ) на прикладі цифрових фотографій. Сучасні комп'ютерні зображення представляють собою масиви натуральних чисел, елементами яких є впорядковані 24-бітні структури для кольорових зображень або 8-бітні додатні числа для монохромних зображень, що відповідають пікселям зображення.

На рис. 1 наведено бітове представлення фрагменту рядка зображення і схему стеганографічного приховування інформації за методом заміни найменш значимих бітів (НЗБ) образу бітами текстового рядка. Для цього літери повідомлення замінюють значеннями відповідної кодової таблиці (наприклад, використовують код *ASCII* – *American Standard Code for Information Interchange*), а потім його перетворюють у бітову послідовність. Після цього найменш значимі (молодші) біти байтів кольорового каналу зображення (чисел, що відповідають яскравості) замінюють бітами приховано тексту (рис. 1). Стовпчик римських цифр відповідає номерам біту у байті, рядок чисел на білому фоні зверху рисунку – це значення байтів до вбудовування прихованих даних, а білі числа на чорному фоні – після вбудовування. Сірий прямокутник знизу містить біти, якими будуть замінюватись найменш значимі біти (рівень № I) байтів зображення.

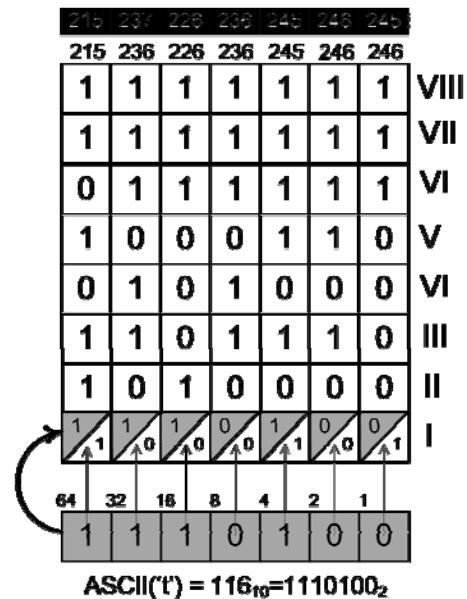


Рис. 1. Ілюстрація принципу стеганографічного приховування інформації у зображеннях

На рис. 1 схематично показано алгоритм вбудовування бітової послідовності літери "t" у пікселі зображення за методом заміни найменш значимого біта образу. В результаті, у зображення вбудовується текст без помітної зміни у якості фотографії, що можна бачити по значенням байтів зверху рисунка.

Концепція RS-стегоаналіза

Для більшості зображень НЗБ рівень вважається випадковим, оскільки він не містить будь-якої легко розпізнаної структури. Проте, НЗБ рівень, навіть якщо виглядає випадковим, є тим не менш пов'язаним з іншими бітовими рівнями нелінійною залежністю, на чому і ґрунтується RS-стегоаналіз. Тому класичні статистичні характеристики і оцінки, застосовані до НЗБ-рівня, не можуть надійно визначити ступінь його випадковості. RS-стегоаналіз ґрунтується на дослідженні та числовій оцінці цієї залежності і тому може досить точно оцінити довжину вбудованих у зображення повідомлень. Аналіз відмінностей у НЗБ-площині і зсунутій НЗБ-площині стего-образу дозволяє надійно виявляти повідомлення розміром від 1 % і більше від загальної кількості пікселів (1 біт на відлік). У відповідності до статей [2, 3], метод виявлення НЗБ вбудованого прихованого повідомлення, відліки якого випадково розміщені у площині зображення, складається з наступних кроків:

- 1) Розділення стего-образу на групи сусідніх відліків, які не мають спільних елементів.
- 2) Обчислення дискримінаційної функції для кожної групи.
- 3) Виконання над групами переставних операцій для визначення обернено збурених груп пікселів.
- 4) Віднесення груп відліків за результатом переставних операцій до класів: регулярні (R), сингулярні (S), невикористані (U).
- 5) Нанесення на RS -діаграму значень для R і S груп стего-образу.
- 6) Побудова кривих RS -діаграми і обчислення їх перетину за екстраполяцією.
- 7) Визначення існування або не існування секретного повідомлення за перетином кривих.
- 8) Розрахунок довжини повідомлення (процент виявлених стегобіт – ПВС) за координатами перетину кривих.

Фактори, що впливають на точність RS-стегоаналіза

Для сильнозашумлених і дрібнотекстурованих зображень різниця між кількістю регулярних і сингулярних груп зображення мала [9]. Відповідно, лінії в RS -діаграмі перетнуться під малим кутом і точність зменшиться.

У табл. 1 наведено типові значення розмірів виявлених повідомлень у пустих зображеннях для фотографій різних типів.

Отже, для деяких типів зображень, наведених у табл. 1, ймовірність виявлення прихованих даних суттєво знижується навіть для класичної НЗБ-стегографії, якщо відповідні програми використовуються підготовленими особами.

Методика RS -стегоаналізу більш точна для повідомлень, стегобіти яких випадково розміщені у площині стего-образу, ніж для повідомлень, вбудованих локально. Щоб застосувати RS -стегоаналіз у цьому випадку треба перейти до використання методики на базі ковзного вікна.

Типові відсотки значень розмірів повідомлень, виявлених RS-стегааналізом

Тип зображення	Хибно визначена довжина повідомлення у відсотках від кількості НЗБ зображення
Фотографії, скановані зображення	≈ 0–10 %
Зображення з Інтернету або підготовлені до друку	≈ 15 ÷ 20 %
Дрібнотекстуровані зображення, високодеталізовані зображення	≈ 30 ÷ 100 %

Іншим фактором, який впливає на точність оцінки довжини вбудованого повідомлення, є природний шум. Випадкові варіації шуму і артефакти реєстрації фотографії можуть призвести до того, що у зображеннях, які не містять прихованих повідомлень, RS-аналіз буде показувати наявність короткого повідомлення. Це початкове не нульове зміщення може бути як позитивним, так і негативним і встановлює теоретичні межі точності стегааналітичної методики представленої у роботах [2, 3]. Автори RS-стегааналізу протестували це початкове зміщення для набору з 331 чорно-білого JPEG зображення, які мають гауссівський розподіл з дисперсією 0,5 %. Для менших зображень є тенденція збільшення варіації початкового зміщення, оскільки вони мають меншу кількість RS-груп. Сканування напівтонових і зашумлених зображень показує більш високі варіації зміщення. З іншого боку, зміщення дуже мале для JPEG-зображень, не стиснутих зображень, отриманих з цифрових камер і результатів сканування з високим розрізненням. Саме дослідженню цього небажаного для стегааналізу ефекту і аналізу можливостей використання його для задач комп'ютерної обробки зображень і присвячена стаття.

Для цього розглянемо RS-стегааналіз більш детально.

Нехай фотографія – це зображення розміром $M \times N$ пікселів зі значеннями пікселів з множини P . Наприклад, для 8-бітного чорно-білого зображення $P = \{0, 1, \dots, 255\}$. Аналіз стега-образу починається з ділення зображення на групи з n суміжних пікселів (x_1, x_2, \dots, x_n) , які не перетинаються. У алгоритмі вибирають групи з n сусідніх пікселів у рядку. Далі визначається дискримінаційна функція f , за якою для кожної групи $G = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ розраховується дійсне число $f(x_1, x_2, \dots, x_n) \in R$. Значення дискримінаційної функції визначає регулярність (гладкість) групи G пікселів. Дискримінаційні функції можуть мати різний вид, але повинні мати таку властивість: чим більше шуму в елементах групи, тим менше значення дискримінаційної функції.

Наприклад, задамо дискримінаційну функцію f , за якою будемо оцінювати "варіації" групи G :

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^{n-1} |x_{i+1} - x_i| \quad (1)$$

Можна побудувати іншу дискримінаційну функцію на базі статистичних моделей або апріорної інформації про зображення.

Введемо операцію обернення F на P яку називають "перевертання". Перевертання – це перестановка рівнів відтінків сірого, яка складається з двох циклів і має властивість таку, що $F(F(x)) = x$, для всіх $x \in P$.

Перестановка $F_1: 0 \leftrightarrow 1, 2 \leftrightarrow 3, \dots, 254 \leftrightarrow 255$ відповідає зменшенню НЗБ кожного сірого рівня. Далі задаємо зсунуте НЗБ перевертання F_{-1} як $1 \leftrightarrow 0, 1 \leftrightarrow 2, 3 \leftrightarrow 4, \dots, 253 \leftrightarrow 254$ або $F_{-1} = F_1(x+1) - 1$ для всіх x .

Для повноти, також визначаємо F_0 як тотожну перестановку $F(x)$ для всіх $x \in P$. Дискримінаційна функція f використовується для виділення трьох груп [2, 3]:

Регулярні групи $G \in R \Leftrightarrow f(F(G)) > f(G)$

Сингулярні групи $G \in S \Leftrightarrow f(F(G)) < f(G)$

Невикористані групи $G \in U \Leftrightarrow f(F(G)) = f(G)$

Позначення $F(G)$ означає, що операція перевертання F застосована до всіх компонент вектора G . Можливі і інші варіанти перевертання до компонент вектора G . Операція перевертання вектора може бути виражена за допомогою маски M , яка називається n -кортежем зі значеннями $-1, 0$ і 1 . Перевернута група $F(G)$ визначається як $(F_{M(1)}(X_1), F_{M(2)}(X_2), \dots, F_{M(n)}(X_n))$.

Метою застосування перевертальної функції F є збурення малої кількості значень пікселів зворотним способом, чим симулюється дія НЗБ-стегаграфічного алгоритму. Для типових зображень додавання невеликої кількості шуму (тобто перевертання малої кількості значень) призведе скоріше до збільшення значення дискримінаційної функції. Тобто загальна кількість регулярних груп (R) буде більшою ніж кількість сингулярних груп (S).

Позначимо кількість регулярних груп для маски M як R_M (у відсотках від всіх груп). Аналогічно через S_M позначимо відносну кількість сингулярних груп. Маємо $R_M + S_M \leq 1$ для позитивної маски і $R_{-M} + S_{-M} \leq 1$ для негативної маски. Статистичні гіпотези стегааналітичної методики полягають у тому, що в типовому зображенні очікуване значення R_M дорівнює R_{-M} і те саме вірно для S_M і S_{-M} :

$$R_M \approx R_{-M} \text{ і } S_M \approx S_{-M} \quad (2)$$

Ця гіпотеза може бути перевірена евристично аналізом залежності (1).

Перевертальна операція F_{-1} , як і F_1 застосовується до зображення, інтенсивності кольорів якого будуть зсунуті на одиницю. Для типового зображення не існує апріорної причини, чому кількість R і S груп

повинна суттєво відрізнятися при зсуві кольорів на одиницю.

Автори *RS*-стегааналізу [2, 3] переконані, що мають вичерпні експериментальні докази того, що гіпотеза (2) виконується дуже точно для зображень, отриманих з цифрових камер, як для форматів з втратами, так і для форматів без втрат. Це також добре витримується для зображень, оброблених звичайними операціями і для більшості сканованих зображень. Проте відношення (2) порушується, якщо *NЗБ*-рівень рандомізовано, наприклад, стегаанографією *NЗБ*.

Рандомізація *NЗБ*-рівня спрямовує різницю між R_M і S_M до нуля, з ростом довжини m повідомлення. Після перевертання *NЗБ*-рівня 50 % пікселів (що буде після вбудовування біта шифрованого повідомлення у кожен піксель) отримаємо $R_M \approx S_M$.

Помічено, що рандомізація *NЗБ*-рівня має протилежний вплив на R_{-M} і S_{-M} . Їх різниця збільшується зі зростанням довжини m вбудованого повідомлення. Просте пояснення збільшення різниці між R_{-M} і S_{-M} може бути запропоновано для маски $M = [0; 1; 1; 0]$. Означимо множину $C_i = \{2i, 2i+1\}$, $i = 0, 1, \dots, 127$ і множину груп $C_{rst} = \{G \mid G \in C_r \times C_s \times C_t\}$.

Існує 128^3 замкнутих множин, кожна з яких складається з 8 груп (триплетів). Для цілей аналізу було обрано чотири різних типи множин, ігноруючи ті, що горизонтально і вертикально симетричні. У табл. 2 представлено ці чотири типи і кількість R , S і U груп

після F_1 F_{-1} для кожного типу. З табл. 1 видно, що рандомізація *NЗБ* намагається вирівняти кількість R і S груп в кожній підмножині після F_1 , тоді як кількість R груп зростає, а кількість S груп спадає після F_{-1} .

Таблиця 2

Кількість R і S груп після перевертання першого і другого етапів

Тип множини	F_1 перевертання	F_{-1} перевертання
$r = s = t$	$2R, 2S, 4U$	$8R$
$r = s > t$	$2R, 2S, 4U$	$4R, 4U$
$r < s > t$	$4R, 4S$	$4R, 4S$
$r > s < t$	$8U$	$8U$

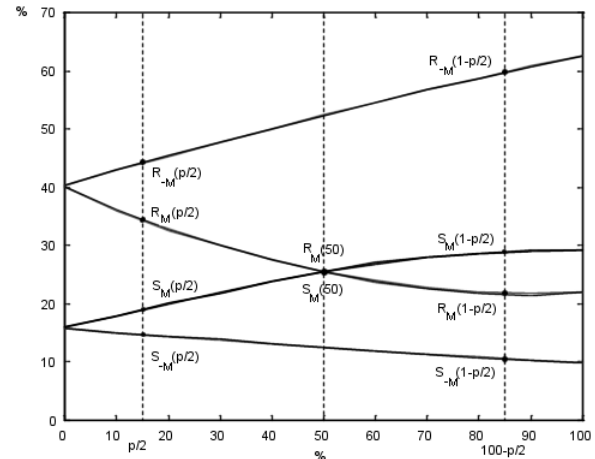


Рис. 2. *RS*-діаграма

RS стегааналітична методика представлена у статтях [2, 3] оцінює 4 криві *RS* діаграми і обчислює їх перетин за екстраполяцією. Загальна форма чотирьох кривих на діаграмі змінюється залежно від зображення від практично ідеально лінійної до кривої. Експерименти показали, що R_M і S_M добре наближуються прямими лініями; внутрішні криві R_M і S_M достатньо добре апроксимуються поліномами другого порядку.

Дослідження закономірностей у каналах кольорових зображень за методом *RS*-стегааналізу

В результаті досліджень, проведених над 49678 зображеннями (оригінальними фотографіями без стегабіт), які доступні в Інтернеті, було визначено, що хибне визначення проценту виявлених стегабітів (ПВС) для них вище, ніж вказане авторами патенту для фотографій з цифрових камер і сканерів.

На думку авторів, це пов'язано з тим, що над такими зображеннями було виконано обробку для підготовки до друку, яка включає високочастотну фільтрацію, підвищення яскравості і контрасту, вирівнювання значень гістограми і т.п. операції, які підвищують візуальну якість зображення. Це супроводжується збільшенням сингулярних груп у цифровій фотографії.

Також було помічено не рівномірне зашумлення по каналам для кольорових зображень. Символами R , G , B позначено значення коефіцієнту, отриманого за *RS*-стегааналізом для червоного, зеленого та синього каналів відповідно. Очевидно, що частотами співвідношень кольорів – нерівностями можна побудувати множину всіх можливих подій у вибірці. Елементарні події подані повної множини подані у табл. 3. Вибірка № 3 з 1700 фотографій була зроблена цифровими камерами фотоапаратів, мобільних телефонів. Видно, що закономірність розподілу нерівностей зберігається і для фотографій до яких не застосовувались цифрові перетворення та відсутні цифрові водяні знаки.

В результаті обчислень отримано наступні частоти появи нерівностей у відсотках, при цьому похибка для рівностей і нерівностей була встановлена в межах 1 %, щоб врахувати обмеження розрядності обчислень (табл. 3). Загальна кількість оброблених зображень склала 51378 файлів.

Зазначимо, що висока повторюваність частот появи нерівностей дозволяє стверджувати, що явище має високу статистичну стійкість. Видно також, що нерівності, в яких переважає *RS*-коефіцієнт у червоному або синьому каналі переважають за частотою появи інші (табл. 4).

Відносні частоти появи нерівностей для двох вибірок

Вибірки	Нерівності												
	$R > G > B$	$R > B > G$	$G > R > B$	$G > B > R$	$B > R > G$	$B > G > R$	$R = G > B$	$B > R = G$	$G = B > R$	$R > G = B$	$B = R > G$	$G > B = R$	$R = G = B$
1	3,46	8,26	8,29	9,43	21,99	9,43	1,03	2,36	1,11	1,72	1,28	1,35	0,28
2	6,12	8,95	11,23	10,95	19,05	6,97	0,86	1,33	0,97	0,92	1,25	0,97	0,43
3	0,71	2,18	7,82	11,65	25,29	0,06	0,12	0,59	0,59	0,24	0,35	0,24	0,18

Таблиця 4

Відносна частота появи кольорів на першому місці у нерівностях

Назва кольорового каналу	Значення максимуму, %		
	Вибірка 1	Вибірка 2	Вибірка 3
Блакитний (B)	43,78	37,35	55,94
Червоний (R)	33,44	35,99	23,13
Зелений (G)	19,07	23,15	19,71

Нерівності, що відповідають *RS*-стеогоаналізу (табл. 3, 4) можуть безпосередньо використовуватись для перевірки великих масивів зображень на предмет вбудовування прихованих даних або для створення стеганографічного алгоритму керування заповненням інформацією на НЗБ-методом для великих масивів зображень, що не впливає на сукупну статистику для набору зображень.

Дослідження впливу цифрових фільтрів на значення ПВС

Відомо, що зображення з мереж загального доступу можуть мати цифрові водяні знаки, над ними можуть бути виконані операції покращення візуальної якості або спеціальні дизайнерські перетворення типу підготовки до друку. Тому було взяти 1700 фотографій з аматорської колекції, зроблені мобільним телефоном та цифровою камерою, над якими гарантовано не виконували будь-які перетворення. Далі вибірка була оброблена існуючими фільтрами (посилення кольору, зменшення/збільшення різкості, замулення і т.п.) і було виконано *RS*-стеогоаналіз, результати якого було наведено у табл. 5, 6.

За результатами експерименту було виявлено, що більшість зображень можна розділити на три групи:

- 1) зображення, на які перетворення суттєво впливають в напрямку зменшення або збільшення ПВС;
- 2) зображення, ПВС яких мало змінюється в результаті застосування фільтрів та перетворень будь-яких типів;
- 3) зображення, ПВС яких змінюється при застосуванні одних перетворень і мало змінюється при використанні інших.

За впливом конкретного фільтру на вибірку можна виділи фільтри, що зменшують ПВС (табл. 6) та такі, що збільшують ПВС (табл. 5). Дослідження будуть продовжені в напрямку розширення номенклатури фільтрів і їх комбінацій, що будуть застосовуватись до вибірок цифрових фотографій.

Таблиця 5

Кількість зображень у групах, що відповідають фільтрам, які збільшують ПВС

Назва фільтру і класифікація операції	Кількість зображень, %			
	2 % – max	2– 5 %	5– 10 %	10 % – max
Оригінал	19	13	4,6	1,7
Малтіплай	26	19,2	4,6	2
Оверлей	25	20	4	1
Хайпас	20	13	7	2
<i>EnhanceDetails+</i> <i>EnhanceFocus+</i> <i>Sharpen_30+</i> <i>Soften30</i>	29,8	20,5	6	3,24
<i>Reduce noise</i>	19	14,4	3,6	1,1
<i>AutoContrast+</i> <i>FocusRestoration</i>	97	12,5	19	65,4
<i>Normalize</i>	20,7	13,7	5,15	1,88

Кількість зображень у групах, що відповідають фільтрам, які зменшують ПВС

Назва фільтру і класифікація операції	Кількість зображень, %			
	2 % – max	2– 5 %	5– 10 %	10 % – max
Оригінал	19	13	4,6	1,7
Медіанний	0,06	0,06	–	–
Гауссівський	0,35	0,35	–	–
Minimum 3x3	1,94	1,94	–	–
Average 3x3	2,12	2,12	–	–

Дослідження дії стеганографічного алгоритму, який вбудовує випадкову послідовність біт в НЗБ рівень цифрової фотографії, на вибірці зображень

Мета досліджень полягала у визначенні кількісних і якісних показників для середньоквадратичного відхилення оцінки шуму (СКВОШ) і *RS*-стегоаналізу при внесенні в НЗБ-рівень цифрових фотографій різної кількості рівномірно розподілених у площині зображення випадкових біт за методами стеганографії.

Методологія досліджень. Методологічною основою планування чисельних статистичних експериментів був метод еталонного моделювання. Для вибірки вихідних зображень чисельно розраховується СКВОШ за методом ковзного вікна і процент виявлених стегобітів (ПВС) за допомогою *RS*-стегоаналізу. Потім у вибірці зображень додаються випадково розміщені у площині цифрової фотографії біти за стеганографічним алгоритмом. Для кожного зображення з вбудованими стегобітами розраховується СКВОШ і ПВС. Операції повторюються для різних об'ємів стегобіт. Отриманні значення СКВОШ перевіряються на чутливість до додавання стегобіт, тобто у відповідності з принципами еталонного моделювання. На основі попереднього вивчення проблеми [1,4,5] було вибрано ітеративний спосіб заповнення об'єму НЗБ зображення на 15 %, 30 %, 50 %, 70 %, 100 %.

Дослідження змін значення СКВОШ зображення при додаванні стегобіт у НЗБ фотографії і точності визначення об'єму вбудованих стегобіт перевіряються на двох вибірках цифрових фотографій різного походження та розміру зображень для того, щоб виявити також дію системи цифрової реєстрації інформації на отримані результати.

Дослідження точності методу *RS*-стегоаналізу виконувалось на двох вибірках цифрових фотографій з різних наборів фотоапаратів при різних об'ємах заповнення НЗБ рівня зображення. Масиви фотографій, з яких комплектувались вибірки, мають різний розмір і рівень шуму та були сфотографовані з інтервалом часу у десять років, тобто при різному рівні розвитку технологій цифрової фотографії.

Стеганографічний алгоритм. Для перевірки дії вбудовування стегобіт на рівень шуму у зображенні і значення ПВС, отриманого за методом *RS*-стегоаналізу, було використано класичний алгоритм заміни біт у НЗБ зображення з випадковим розміщенням місць вбудовування у площині. Рівень заповнення всіх каналів зображення однаковий. Далі рисунок з індексом "а" відповідає вибірці *Test* (407 зображень, розміром 2295*1536 пікселів), зробленої десять років тому, "б" – *Datacr* (600 зображень, розміром 2950*2094 пікселів), зробленої два роки тому.

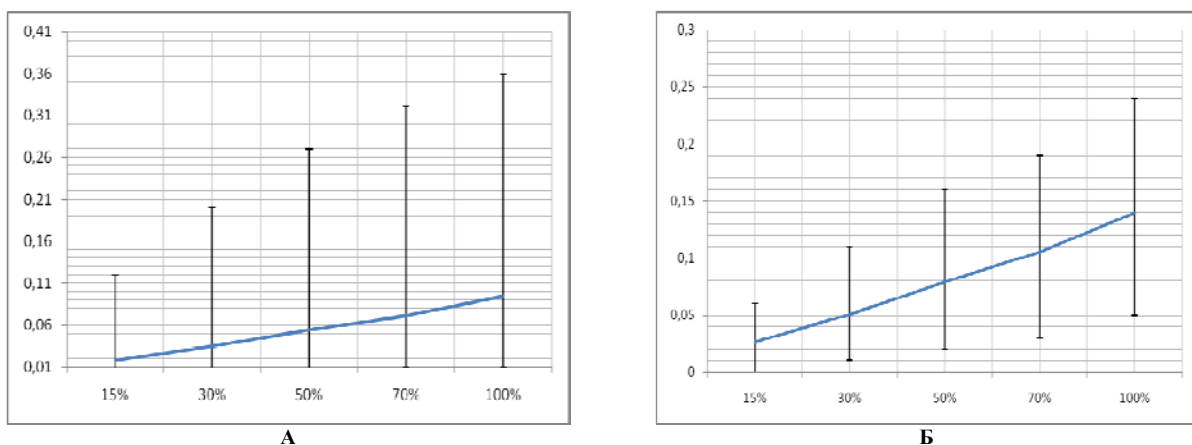


Рис. 3. Графік різниці між початковим СКВ і СКВ при додаванні відсотку стегобіт

На рис. 3 показано графіки різниці між отриманим середнім за вибіркою СКВОШ при додаванні стегобіт і середнім за вибіркою СКВОШ для початкових зображень. Позначення на рис. 3: графік – вибіркове середнє СКВОШ і планки значень максимуму і мінімуму. Аналогічна картина для СКВОШ кольорових каналів та значень медіан, середніх значень зображень за вибіркою – додавання стегобіт призводить до зростання абсолютних значень на 0,00– 0,06. Таким чином, додавання стегобіт приводить до лінійного зростання всіх середніх за вибірками параметрів.

Стабільне лінійне зростання середніх за вибіркою всіх параметрів СКВОШ показаних на рис. 3 а, б

доводить, що додавання стегобіт викликає збільшення середнього за вибіркою не обумовлено арифметичними похибками обмеженої розрядності процесора ПК. Більше відхилення планок екстремумів значень вгору ніж вниз було викликано великою кількістю нульових значень, які зсунули чисельну величину середнього значення вниз відносно симетричного положення.

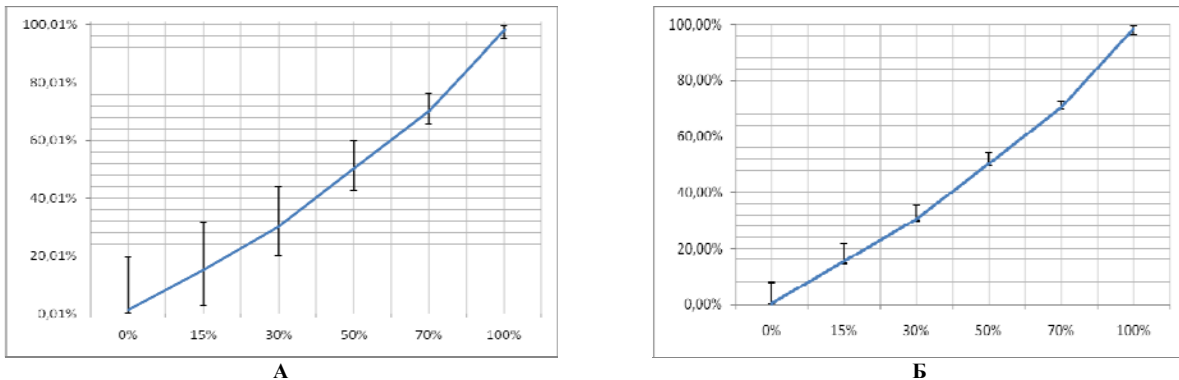


Рис. 4. Залежність ПБС за RS-стегааналізом від додавання стегобіт у НЗБ

На рис. 4 а представлено залежність ПБС для різних рівнів заповнення НЗБ: на 15 %, 30 %, 50 %, 70 %, 100 % для дизайнерської вибірки *Test* цифрових фотографій десятилітньої давнини. Видно, що в середньому метод *RS*-стегааналізу точно визначає ступінь заповнення НЗБ-рівня фотографій вибірки. Чим менший об'єм заповнення НЗБ фотографії, тим вище можлива похибка визначення факту вбудовування стегобіт (хибно позитивно визначені стегобіти) і їх відносної кількості в НЗБ-рівні зображення. Наприклад, при 0 % внесених стегобіт (оригінальні зображення) можливе хибно позитивне виявлення об'єму стегобіт зі значеннями від 0,06 до 19,5 %.

На рис. 4 б представлено результати чисельних експериментів для вибірки *Datacr*. Аналогічно до попередньої вибірки видно, що чим вищий об'єм заповнення фотографії тим менша похибка виявлення факту вбудовування стегобіт у зображення і визначення ПБС за *RS*-стегааналізом. Низький рівень природного шуму реєстрації у фотографіях, отриманих на сучасному професійному обладнанні, обумовлює більш високу точність *RS*-стегааналізу. Видно, що при малих рівнях заповнення НЗБ зображення (0– 15 % об'єму заповнення НЗБ-зображення) похибка методу дає 5– 10 % хибно позитивно виявлених стегобіт.

Дослідження впливу на нерівності ПБС кольорових каналів зображень при додаванні стегобіт

Раніше були отримані залежності у вигляді нерівностей ПБС для додавання стегобіт (табл. 3). Було встановлено, що додавання стегобіт змінює співвідношення частот нерівностей (рис. 5).

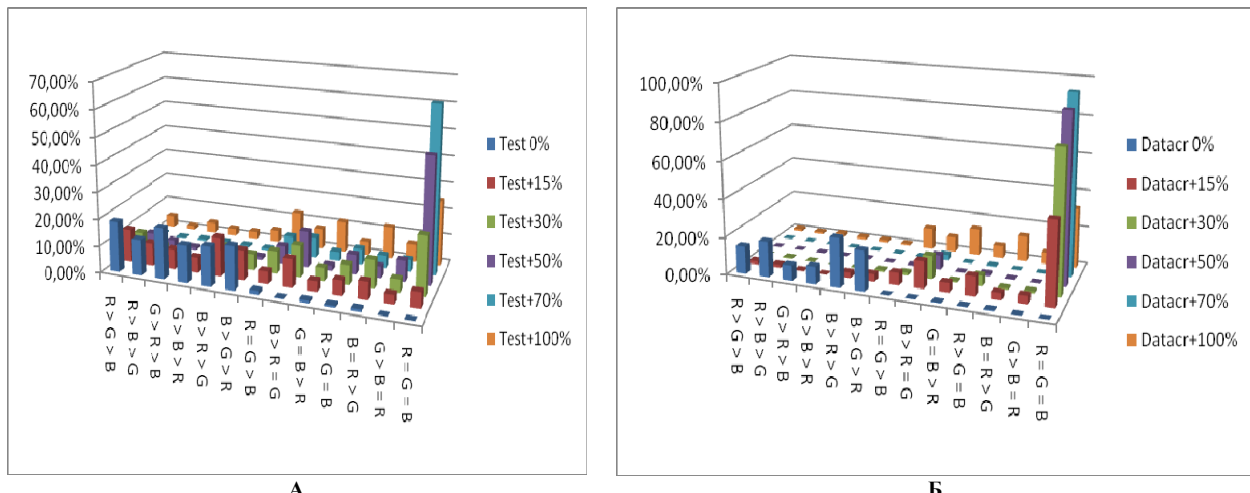


Рис. 5. Залежність нерівностей ПБС від об'єму заповнення НЗБ рівня

Позначення *Test+x %* або *Datacr+x %* на рис. 5 відповідають відсотку заповнення НЗБ рівня зображення стегобітами у вибірках. Видно, що при зростанні об'єму стегобіт у вибірці зображень статистика по нерівностям ПБС має тенденцію до обертання або прихованої періодичності, тобто додавання стегобіт призводить до повтору пропорцій нерівностей ПБС після досягнення деякого екстремума оцінки об'єму внесених стегобіт.

Так, при заповненні 100 % НЗБ фотографії статистичний паттерн (набір ознак) нерівностей повертається до вигляду, подібного до заповненні 15 % НЗБ фотографії – тобто було пройдено екстремум у співвідношеннях нерівностей, викликаний насиченням фотографії стегобітами, що призвело до попередніх статистичних співвідношень. Повна заміна стегобітами оригінальних біт зображення призводить до

співпадіння їх з половиною бітів зображення, що дало перерозподіл відсотків частот і повернення попередніх співвідношень частот нерівностей.

Нерівності по СКВОШ (рис. 6 а, б) мають форму подібну до нерівностей для ПВС при відсутності стегобіт, проте їх співвідношення практично не змінюється при додаванні стегобіт в НЗБ рівень зображень, оскільки (див. рис. 3) додавання стегобіт змінює величини СКВОШ кольорових каналів лише у сотих і десятих частках чисел.

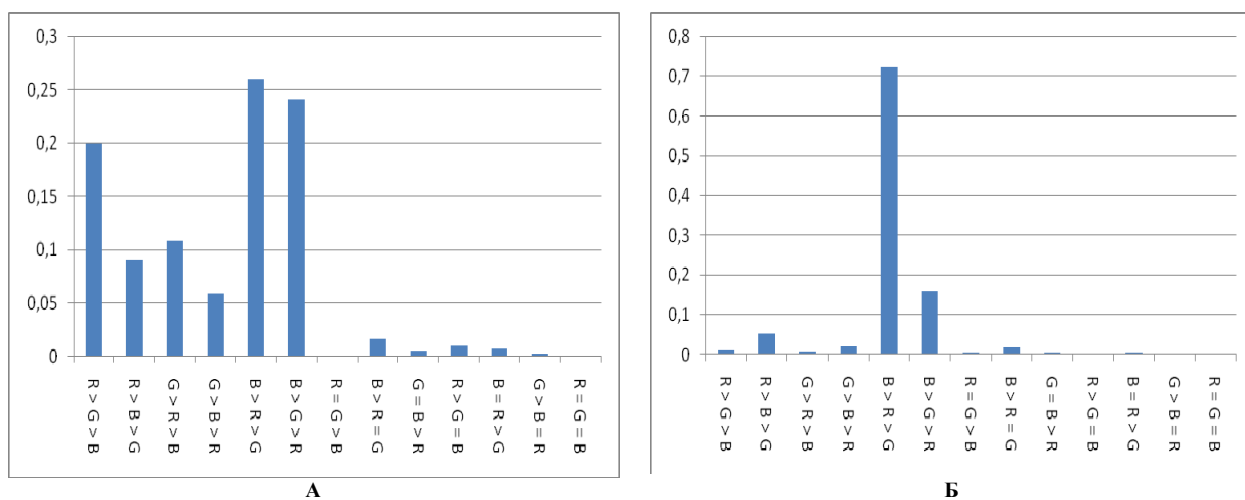


Рис. 6. Гістограма для нерівностей СКВ оцінки шуму

Видно, що зберігається залежність у зростанні частот нерівностей від синього, до червоного і мінімум для зеленого. В той же час, за абсолютними значеннями СКВОШ в каналах немає закономірності для мінімумів, максимумів і середніх значень за вибіркою зображень, а лише має місце лінійне зростання в сотих частках цих величин при додаванні стегобіт.

За аналогією до попередніх статистичних досліджень було перевірено закономірності і для середніх значень, медіан та СКВОШ у вибірках зображень (рис. 7) Як видно з рисунку, гістограми середніх значень мають максимуми у $R > G > B$ та у $B > R > G$.

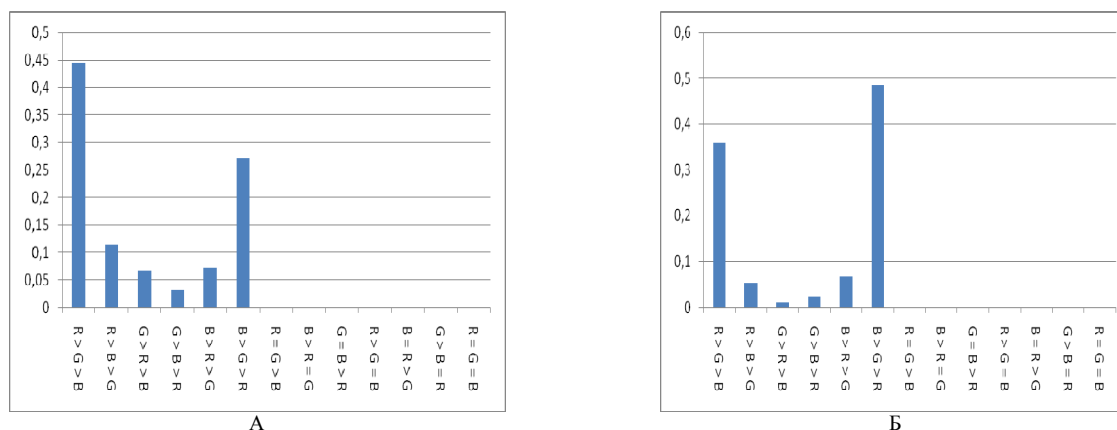


Рис. 7. Гістограми частот нерівностей для середнього значення у вибірці. (а) – Test, (б) – Datacr

Таку особливість можна пояснити специфікою побудови ПЗЗ-матриць сучасних цифрових фотоапаратів, які будуються на базі баєрівських матриць. Для медіан і СКВОШ у двох вибірках гістограми мають аналогічний вигляд до рис. 7 з трохи більшими максимумами у таких же нерівностях. Подібні гістограми з екстремумами для середніх значень, медіан і СКВОШ, подані на рис. 5– 7 для системи RGB, були отримані у вибірках: Test, Datacr і Вибірка № 3 і для зображень у системі HLS. Виявлений факт, на думку авторів, можна застосувати для покращення характеристик алгоритмів стиску великих масивів зображень шляхом групуванню зображень за нерівностями і створення методів доказової цифрової ідентифікації фотоапаратів, якими було зроблено серію зображень.

Висновки

Встановлено, що для кольорових каналів характерне різне значення хибно позитивного ПВС, розрахованого за методом RS-стегааналізу. Більш високі значення для блакитного каналу можна пояснити більш швидким релеевським розсіюванням (поглинанням) синього спектру повітрям, порівняно з іншими кольорами, що відображається як підвищення рівня зашумлення у синьому кольоровому каналі. Високі значення для червоного кольору пояснюються більш високою контрастністю (детальністю) для червоного кольору, ширина спектру якого є найбільшою поміж трьох кольорів, а відносна ступінь поглинання є

найменшою, оскільки з нього починається спектр видимого світла. Найнижче відносне значення зафіксовано для зеленого кольору, який займає проміжне місце у спектрі між червоним і блакитним.

Крім того, за результатами обробки зображень різними фільтрами було визначено, що їх можна розділити на три групи: зображення, в яких перетворення суттєво впливають на ПВС, зображення, ПВС яких мало змінюється в результаті застосування фільтрів, та зображення, ПВС яких змінюється при застосуванні одних перетворень і мало змінюється при використанні інших. Це дозволило виділити ті фільтри, які суттєво впливають на ПВС зображень, що може бути використано при створенні стеганоалгоритмів стійких до стеганоаналізу.

Приховування великого об'єму даних в масивах зображень, при якому кольорові канали фотографії рівномірно заповнюються на 10–15% методами НЗБ-стеганографії, не рекомендується, оскільки змінює природну статистику нерівностей ПВС для зображень. Щоб збільшити стійкість приховування даних у масивах зображень до виявлення RS-стеганоаналізом необхідно, неоднорідно вбудовувати стегобіти у кольорові канали зображень, тобто у відповідності з отриманими нерівностями для вибірок.

Отримані результати – нерівності для різних статистичних характеристик – можуть бути використані для розробки нових методів зменшення рівня шумів, перевірки зображень на предмет застосування методів цифрової обробки та вбудовування сторонніх елементів, а також для судово-доказової ідентифікації апаратних засобів реєстрації (*digital forensic*), якими були зроблені масиви цифрових фотографій.

Література

1. Корольов В. Ю. Концепція використання бібліотек комп'ютерної графіки для умовної деконволюції образів / В. Ю. Корольов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – № 4. – С. 140–145.
2. Fridrich J., Goljan M., and Du R. Detecting LSB Steganography in Color and Gray-Scale Images, Magazine of IEEE Multimedia, Special Issue on Security, October-November issue, 2001, pp. 22–28.
3. Fridrich J., Goljan M., Du R. Lossless Data Embedding – New Paradigm in Digital Watermarking // Special Issue on Emerging Applications of Multimedia Data Hiding. – 2002. – Vol. 2002, N 2. – P. 185–196.
4. Корольов В. Ю. Стеганографічна персоналізація інформації на базі ПК / В. Ю. Корольов, В.В. Поліновський, В. А. Герасименко // Вісті Академії інженерних наук України. – 2009. – № 2 (39). – С. 18–24.
5. Корольов В. Ю. Дослідження стійкості НЗБ-стеганографії до RS-аналізу / В. Ю. Корольов, В. В. Поліновський, В. А. Герасименко // Матеріали IV Міжнар. конф [“Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП-2009)”]. Ч. 1. – Вінниця: ВНТУ Мін. освіти і науки України, 2009. – С. 53.
6. Грибунин В. Г. Цифровая стеганография / Грибунин В. Г., Оков И. Н., Туринцев И. В. – М.: СОЛОН-Пресс, 2002. – 272 с. – (Серия “Аспекты защиты”).
7. Основи комп'ютерної стеганографії: навч. посібник / [В. О. Хорошко, Л. Д. Азаров, М. Є. Шелест, Ю. Є. Яремчук]. – Вінниця: ВДТУ, 2003. – 143 с.
8. Конахович Г. Ф. Компьютерная стеганография. Теория и практика / Г. Ф. Конахович, А. Ю. Пузыренко. – К.: МК-Пресс, 2006. – 288 с.
9. Digital Watermarking and Steganography / I.J. Cox, M.L. Miller, J.A. Bloom, J. Fridrich, T. Kalker. – Morgan Kaufmann Publishers, 2008. – 593 p.

Надійшла 17.9.2010 р.

УДК 621.33

В.Д. КОСЕНКОВ, Л.В. СКУБІЙ
Хмельницький національний університет

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА З НЕЗМІННОЮ МАГНІТНОЮ ПРОВІДНІСТЮ ПОВІТРЯНОГО ПРОМІЖКУ

В статті проведено дослідження конструкції електромагнітного перетворювача з незмінною магнітною провідністю повітряного проміжку. Отримані вирази для визначення електромагнітної сили та закону зміни в часі положення рухомого елемента перетворювача.

In clause the researches of a design of the electromagnetic converter with constant magnetic conductivity of an air interval are carried out (spent). The expressions for definition of electromagnetic force and law of change in time of a rule (situation) of a mobile element of the converter are received.

Ключові слова: електромагнітний перетворювач, електромагнітна сила.

Вступ

В багатьох конструкціях електричних апаратів електромагнітні системи побудовані таким чином, що при русі якоря змінюється магнітна провідність повітряного проміжку між якорем та нерухомою

феромагнітною частиною [1]. При цьому в початковому стані повітряний проміжок найбільший, а магнітна індукція в ньому – найменша, що обумовлює незначну електромагнітну силу в початковому стані.

Постановка задачі

Пропонується конструкція електромагнітного перетворювача (рис. 1), який зроблений по типу давача лінійних переміщень [2] і в якому сумарна магнітна провідність повітряного проміжку між рухомою та нерухомою частинами магнітної системи незмінна, натомість при зміні координати положення рухомої частини ξ змінюється електрорушійна сила, що виникає в обмотці під замкненою частиною магнітної системи.

Задачею дослідження є аналіз електромагнітних процесів в запропонованій конструкції електромагнітного перетворювача, визначення створюваної електромагнітної сили та закону руху при різних силах протидії.

Для отримання аналітичних залежностей будемо вважати, що магнітна проникливість феромагнітних частин дорівнює нескінченності $\mu_{СТ} = \infty$, а магнітні потоки розсіювання відсутні.

Результати

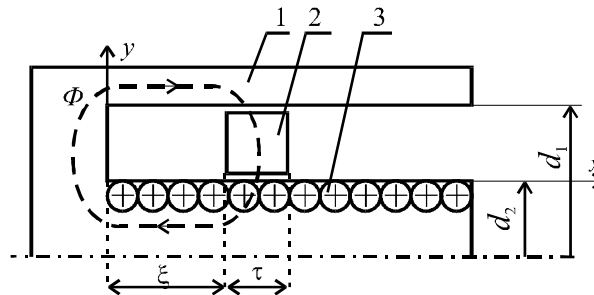


Рис. 1. Конструктивна схема перетворювача циліндричного типу: 1 – нерухома частина, 2 – рухомий якор, 3 – обмотка

Визначимо електромагнітну силу перетворювача для статичного режиму, тобто при швидкості $v = 0$ і струмі $I = const$.

Магнітна індукція в повітряному проміжку між внутрішньою поверхнею нерухомої частини та рухомим якорем залежить від координати x :

$$B_x = \frac{A \cdot \mu_0}{\delta_{\text{ПР}}} x, \tag{1}$$

де A – лінійне струмове навантаження обмотки 3;
 $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнітна проникливість пустоти;
 $\delta_{\text{ПР}}$ – приведений повітряний проміжок:

$$\delta_{\text{ПР}} = \delta_1 \frac{d_2}{d_1} + \delta_2. \tag{2}$$

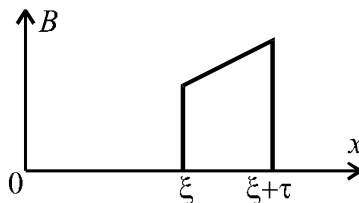


Рис. 2. Графік розподілу магнітної індукції в повітряному проміжку

Електромагнітну силу $F_{\text{ЕМ}}$ можна розрахувати через зміну енергії магнітного поля по координаті положення ξ , але при лінійному законі зміни B_x її простіше визначити через середнє значення індукції $B_{\text{СР}}$:

$$B_{\text{СР}} = \frac{A \cdot \mu_0}{2\delta_{\text{ПР}}} (2\xi + \tau), \tag{3}$$

$$F_{\text{ЕМ}} = B_{\text{СР}} (A \cdot \tau) l_2 = \frac{A^2 \cdot \mu_0 \tau \pi d_2}{2\delta_{\text{ПР}}} (2\xi + \tau) = \frac{A^2 \cdot \mu_0 \tau^2 \pi d_2}{2\delta_{\text{ПР}}} + \frac{A^2 \cdot \mu_0 \tau \pi d_2}{\delta_{\text{ПР}}} \xi = F_{0\text{ЕМ}} + k_1 \xi, \tag{4}$$

де $F_{0EM} = \frac{A^2 \cdot \mu_0 \tau^2 \pi d_2}{2\delta_{ПР}}, k_1 = \frac{A^2 \cdot \mu_0 \tau \pi d_2}{\delta_{ПР}} \xi$.

При русі частини 2 перетворювача у тих витках обмотки 3, що охоплені магнітним потоком, наводиться ЕРС, тобто як у витках, що в даний час розташовані під рухомих елементом, так і у тих, що розташовані на проміжку $0 < x \leq \xi$:

$$|e| = \frac{d(\omega_0 \cdot \xi \cdot \Phi)}{dt} + B_{CP}(\omega_0 \tau \pi d_2) v = \frac{d(\omega_0 \cdot \xi \cdot B_{CP} \tau \cdot \pi \cdot d_2)}{dt} + B_{CP}(\omega_0 \tau \pi d_2) v, \quad (5)$$

де ω_0 – кількість витків на одиницю довжини.

Підставивши значення B_{CP} з виразу (3), та враховуючи, що $\frac{d\xi}{dt} = v$, отримаємо:

$$|e| = \frac{A \mu_0}{\delta_{ПР}} \omega_0 \cdot \tau \cdot \pi \cdot d_2 (3\xi + \tau) v \quad (6)$$

При роботі перетворювача у зворотно-поступальному режимі можливі два варіанти: підйом вантажу у вертикальному напрямку та робота на стискування пружини в горизонтальному напрямку. В обох варіантах вплив проти ЕРС в початковий момент, відсутній, а електромагнітний перехідний процес будемо рахувати таким, що закінчився до початку руху.

Проведемо аналіз динаміки руху елемента 2 перетворювача та розглянемо як більш складний другий варіант. Графіки електромагнітної сили F_{EM} та сили пружини $F_{П}$ показані на рис. 3 для двох можливих випадків співвідношень величин F_{EM} та $F_{П}$: 1) прямі $F_{EM}(\xi)$ та $F_{П1}(\xi)$ перетинаються; 2) прямі $F_{EM}(\xi)$ та $F_{П2}(\xi)$ не перетинаються в межах довжини ходу.

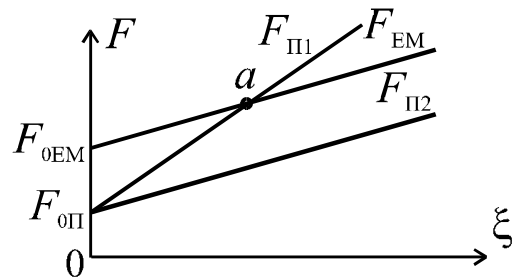


Рис. 3. Графіки електромагнітної сили F_{EM} та сили пружини $F_{П}$

В першому випадку точка "a" буде точкою зупинки рухомого елемента, в другому – рух елемента буде прискорюватись до кінця. Змінюючи лінійне струмове навантаження можна паралельно пересувати характеристику $F_{EM}(\xi)$ і тим самим змінювати довжину ходу.

Розглянемо детальніше перший випадок і знайдемо закон зміни швидкості рухомого елемента. Рівняння руху з врахуванням сили тертя $F_{ТР} = k_3 v$ має вигляд:

$$F_{EM} - F_{П} - F_{ТР} = ma, \quad (7)$$

або

$$F_0 + k_1 \xi - k_2 \xi - k_3 v = m \frac{dv}{dt}, \quad (8)$$

де $F_0 = F_{0EM} - F_{0П}$, F_{0EM} та $F_{0П}$ відповідно електромагнітне зусилля та сила пружини при $\xi = 0$, k_2 – коефіцієнт нахилу $F_{П1}(\xi)$.

Запишемо рівняння (8) відносно ξ :

$$\frac{m d^2 \xi}{dt^2} + k_3 \frac{d\xi}{dt} + (k_2 - k_1) \xi = F_0, \quad (9)$$

Примусова складова переміщення визначається формулою:

$$\xi_{ПР} = \frac{F_0}{k_2 - k_1}. \quad (10)$$

Якщо корені p_1 та p_2 характеристичного рівняння будуть дійсними, то наближення руху елемента 2 до $\xi = \xi_{ПР}$ буде дуже повільним. Це обумовлено тим, що в точці перетину характеристик "a" результуюча сила $F_{EM} - F_{П} - F_{ТР} = 0$. Але в реальних пристроях сила тертя $F_{ТР}$ значно менша сили опору пружини $F_{П}$ і корені p_1 та p_2 будуть комплексними:

$$p_{1,2} = -\frac{k_3}{2m} \pm \sqrt{\left(\frac{k_3}{2m}\right)^2 - \frac{(k_2 - k_1)}{m}}. \quad (11)$$

Тоді закон зміни положення рухомого елемента (ξ) має вигляд:

$$\xi = \xi_{\text{ПР}} + A_1 e^{\delta t} \cdot \sin(\omega_B t + \theta^0), \quad (12)$$

а для швидкості його руху $v = \frac{d\xi}{dt}$.

З умови, що при $t = 0$, $v = 0$ та $\xi = 0$ можна визначити A та θ^0 , а також час спрацювання пристрою $t_{\text{СПР}}$ – час, коли $\xi(t)$ перший раз дорівнює $\xi_{\text{ПР}}$. Якщо при $t = t_{\text{СПР}}$ відключити обмотку, то під дією сили пружини елемент повертається в початковий стан.

За аналогією можна розглянути і варіант підйому вантажу. При цьому для початкового стану ($\xi = 0$) потрібно прийняти $F_0 > mg$, де m – маса рухомого елемента та вантажу.

Висновки

Отримані вирази для визначення електромагнітної сили перетворювача з незмінною магнітною провідністю повітряного проміжку та закону зміни в часі положення рухомого елемента перетворювача залежно від величини протидії дають можливість визначити примусову складову переміщення рухомого елемента, його швидкість та час переміщення.

Література

1. Электротехнический справочник: в 3 т. Т. 2. Электротехнические устройства / [под общей ред. МЭИ В. Г. Герасимова, П. Г. Грудинского, Л. А. Жукова и др.]. – 6-е изд., испр. и доп. – М.: Энергоиздат, 1981. – 640 с.
2. А. с. 473899 СССР. Бесконтактный преобразователь линейных перемещений / А.Ш. Ибрагимов, А.И. Шварцман. – заявл. 16.04.73; опубл. 23.12.75, Бюл. № 22.
3. Сливинская А. Г. Электромагниты и постоянные магниты / Сливинская А. Г. – М: Энергия, 1970. 248 с.

Надійшла 21.9.2010 р.

УДК 004.942

В.М. ГРИГА
НУ "Львівська політехніка"

ПРОСТОРОВО-ЧАСОВЕ ПЕРЕТВОРЕННЯ ПОТОКОВИХ ГРАФІВ АЛГОРИТМУ

Запропоновано матричний метод побудови повністю рекурсивних просторово-часових графів за допомогою інформаційних матриць. В результаті показано, на прикладі алгоритму сортування чисел методом "бульбашки", як за допомогою інформаційної матриці потокового графу алгоритму можна отримати інформаційну матрицю повністю рекурсивного просторово-часового графу та побудувати відповідний граф і структуру рекурсивного пристрою. Зроблено оцінку апаратних затрат на побудову рекурсивного пристрою.

The matrix method of construction fully of recursion time-space graph is offered by informative matrices. It is rotined as a result, on the example of algorithm of sorting of numbers the method of "bubble", as by an informative matrix flow graph of algorithm it is possible to get an informative matrix fully recursion time-space graph, and to build the proper count and structure of recursion device. The estimation of hardware expenses is done on the construction of recursion device.

Ключові слова: потоковий граф, просторово-часовий граф, ярусно-паралельна форма, інформаційна матриця, алгоритм, сортування, вузли.

Вступ

Для розв'язання більшості задач основою є алгоритм. Розрізняють багато способів задання алгоритму. В комп'ютерній техніці розповсюджені такі способи: вербально-дедуктивні, графічні, матричні (табличні) та аналітичні.

Графічні способи знайшли широке використання для проектування універсальних та спеціалізованих обчислювальних машин. Відомо, що математичною основою для проектування універсальних обчислювальних машин стала теорія абстрактних автоматів Мілі та Мура, фундаментальним поняттям яких є поняття стану, а математичною основою для проектування спеціалізованих обчислювальних машин стала теорія потокових графів (або графів потоків сигналів), у якій вершинам графів відповідають обчислювальні операції, а дугам – лінії передачі даних для обробки.

Графічні способи мають переваги та недоліки [1– 3]. До переваг належить висока наочність безпосереднього відображення структури зв'язків між елементами системи та широко описані в теорії графів методи їхнього опрацювання. До основних недоліків можна віднести труднощі автоматичного опрацювання графів в комп'ютерах та складність відображення графів з великою кількістю вершин.

Матричні способи представлення на відміну від графічних способів дають змогу зручно представляти, опрацьовувати та зберігати в комп'ютері структуру алгоритму з довільною кількістю елементів. Суттєвим недоліком матричних способів задання структури алгоритму є низька наочність. Тому

іноді важливо передбачати перетворення матриць у графи.

Із розвитком сучасних технологій виготовлення надвеликих інтегральних схем питання автоматизації проектування апаратних засобів набуває особливої актуальності. В даній статті пропонується матричний метод перетворення потокових графів, які дозволяють проектувати спеціалізовані пристрої для класу алгоритмів, структура яких не залежить від вхідних даних (алгоритми без галузей або інваріантні до зсуву алгоритми [4– 6]) у просторово-часові граfi [7], які дозволяють проектувати рекурсивні структури спеціалізованих пристроїв. В даному методі використовуються інформаційні матриці, які зберігають в собі основну інформацію про структуру алгоритму в графічній формі представлення. Інформаційну матрицю потокового графу можна перетворити в інформаційну матрицю рекурсивного просторово-часового графу враховуючи те, що на відміну від потокових графів, просторово-часові граfi характеризуються трьома типами об'єктів (вершини, дуги та вузли). Маючи інформаційну матрицю рекурсивного просторово-часового графу можна побудувати структуру рекурсивного пристрою.

Даний метод матричного перетворення можна автоматизовано використовувати, щоб полегшити перетворення потокових графів у просторово-часові граfi для проектування рекурсивних структур спеціалізованих обчислювачів.

Постановка задачі

В даній статті описано матричний метод перетворення потокових графів алгоритмів в повністю рекурсивні просторово-часові граfi алгоритму на прикладі алгоритму сортування методом "бульбашки". Показано, як за допомогою інформаційної матриці потокового графу алгоритму можна отримати інформаційну матрицю повністю рекурсивного просторово-часового графу алгоритму, і на основі отриманої матриці побудувати рекурсивний просторово-часовий граф та структуру рекурсивного пристрою, з оцінкою затрат обладнання на його реалізацію.

Приклад просторово-часового перетворення алгоритму

Розглянемо приклад перетворення графічного представлення обчислювальної структури алгоритму сортування чисел в матричне представлення.

На рис. 1 зображено потоковий граф алгоритму сортування чисел методом "бульбашки".

Потоковий граф алгоритму розділений на сім ярусів і складається з десяти операційних вершин та трьох перепускних вершин.

Операційні вершини виконують операцію порівняння, а перепускні вершини з вказаними числовими значеннями тактів затримки всередині вершини затримують дані, які проходять по дузі через відповідний ярус і не беруть участі в обробці на даному ярусі. Слід зауважити, що подача вхідних даних та видача результатів теж повинні затримуватися на графі перепускними вершинами.

В даній роботі ставиться задача на основі заданого потокового графу алгоритму отримати повністю рекурсивний просторово-часовий граф алгоритму використовуючи матричні перетворення. Для цього потрібно побудувати інформаційну матрицю потокового графу алгоритму. Для побудови такої матриці необхідно припустити, що кожна вершина потокового графу алгоритму виконується послідовно в часі, оскільки кінцевою метою даної роботи є отримання повністю рекурсивної структури алгоритму сортування. На рис. 1 біля кожної операційної вершини можна бачити час надходження вхідних даних на входи вершини та час виходу оброблених даних з виходів вершини. Витрати часу на обробку даних кожною вершиною є однаковими і складають один часовий інтервал (такт). Інформаційна матриця потокового графу алгоритму $I_{ПГА}$ буде мати розмір 10x10, оскільки даний граф складається з десяти операційних вершин і буде мати вигляд:

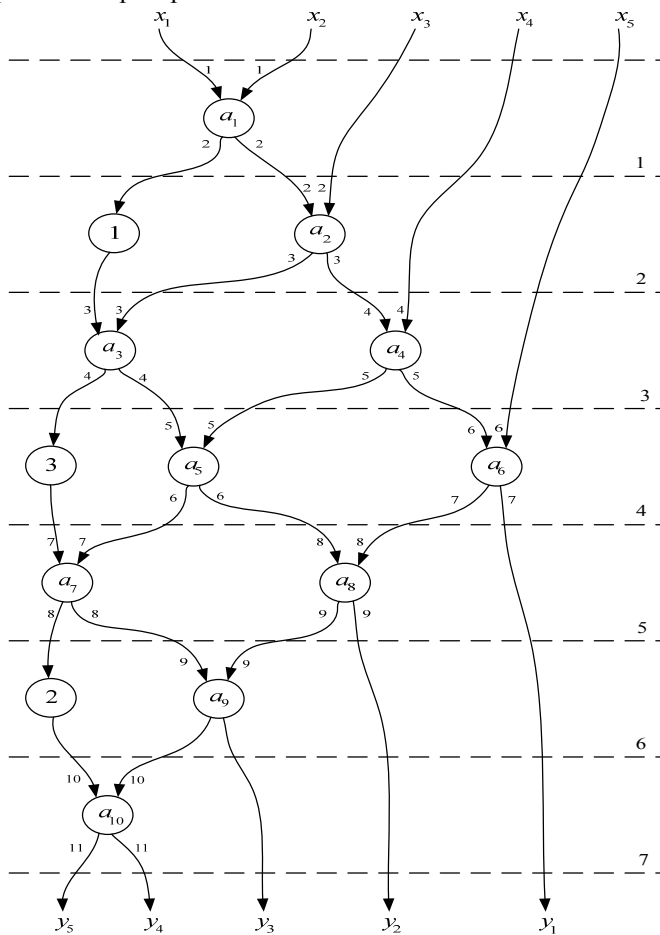


Рис. 1. Потоковий граф алгоритму сортування чисел

$$I_{\text{ПГА}} = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1_{1(2)}^{2(2)} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1_{1(3)}^{1(2)} & 1_{2(3)}^{1(3)} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1_{1(4)}^{2(3)} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1_{1(5)}^{2(4)} & 1_{2(5)}^{1(5)} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1_{1(6)}^{2(5)} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1_{1(7)}^{1(4)} & 0 & 1_{2(7)}^{1(6)} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1_{1(8)}^{2(6)} & 1_{2(8)}^{1(7)} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1_{1(9)}^{2(8)} & 1_{2(9)}^{1(9)} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1_{1(10)}^{1(8)} & 0 & 1_{2(10)}^{1(10)} & 0 \end{vmatrix}$$

Дана інформаційна матриця містить інформацію про потоковий граф алгоритму в цифровій формі. Великі одиниці вказують на те, що певні вершини графу мають зв'язок з іншими вершинами, верхні індекси біля даних одиниць вказують номер виходу та час виходу даних (подано в дужках) з вершини, нижні індекси означають номер входу у вершину та відповідно час входу. Щоб побудувати повністю рекурсивний просторово-часовий граф, потрібно на основі інформаційної матриці ПГ алгоритму побудувати інформаційну матрицю для рекурсивного просторово-часового графу, яка буде містити інформацію про те, що даний граф складається з однієї вершини, де за допомогою обернених зв'язків дані з виходів вершини поступають на входи в певні інтервали часу. Для цього потрібно об'єднати верхні та нижні індекси всіх елементів інформаційної матриці потокового графу алгоритму в один елемент. Інформаційна матриця рекурсивного просторово-часового графу $I_{\text{РПЧГ}}$ має наступний вигляд:

$$I_{\text{РПЧГ}} = \left| 1_{1(3,7,10),1(2,4,5,6,8,9),2(3,5,7,8,9,10)}^{1(2,4,8),2(2,3,4,5,6,8),1(3,5,6,7,9,10)} \right|$$

Як бачимо, дана матриця рекурсивного просторово-часового графу містить одну велику одиницю та номери входів та виходів вершини, на які поступають багато даних в різні моменти часу. Згідно з теорією просторово-часові графи на відміну від поточкових графів складаються з трьох типів об'єктів – вершин, дуг та вузлів. Вузлі бувають вхідними та вихідним і виконують функції подачі або видачі багатьох даних на вхід або вихід однієї вершини. В нашому випадку дані за допомогою обернених зв'язків будуть поступати з першого та другого вихідних вузлів на перший вхідний вузол та з першого вихідного вузла на другий вхідний вузол. Відповідний рекурсивний просторово-часовий граф побудований на основі інформаційної матриці зображено на рис. 2.

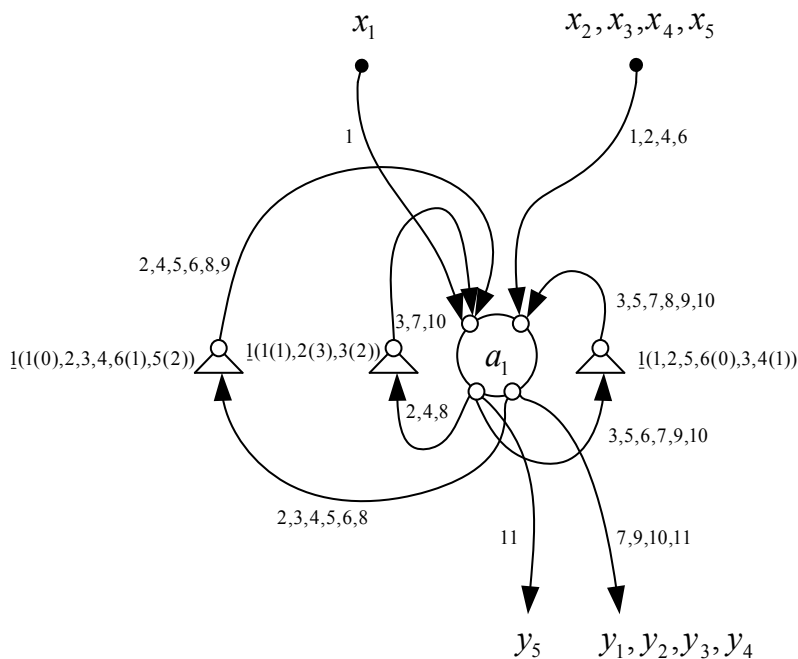


Рис. 2. Рекурсивний просторово-часовий граф алгоритму сортування чисел

Даний граф складається з однієї вершини, яка послідовно в часі виконує кожну операцію вибраного алгоритму. Вершина графу має 2 вхідних та 2 вихідних вузли. Біля дуг, які надходять на вхідні та вихідні вузли записані номери тактів, під час яких подаються дані та проміжні результати, а біля трикутних елементів затримки записано послідовність чисел, які поступають на вершини графу та їхню затримку на потрібну кількість тактів. Зазначимо, що маючи рекурсивний просторово-часовий граф можна переходити до побудови структури рекурсивного пристрою.

На рис. 3 зображено структуру рекурсивного пристрою сортування чисел, побудовану на основі отриманого рекурсивного просторово-часового графу.

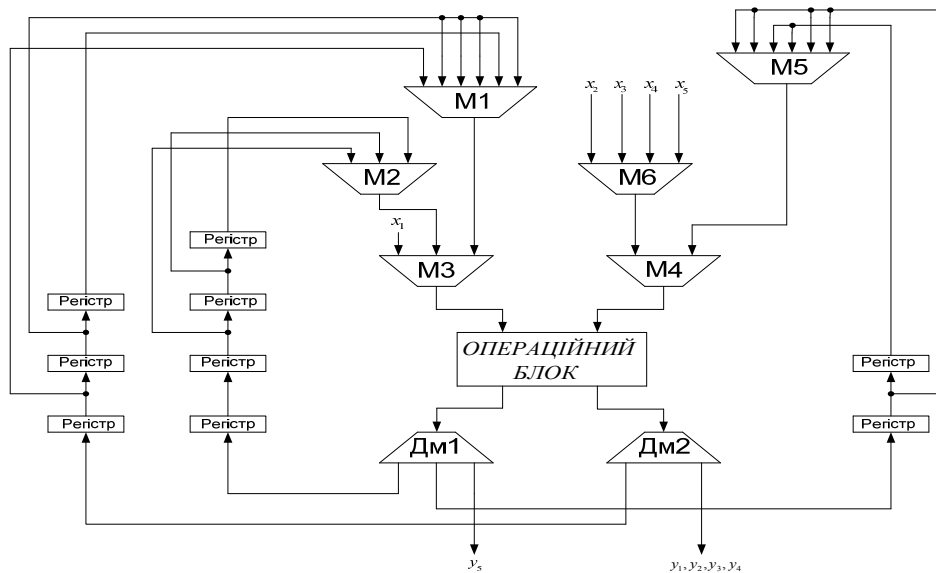


Рис. 3. Структура рекурсивного пристрою сортування чисел

Структура рекурсивного пристрою складається з дев'яти регістрів, які затримують дані та проміжні результати обробки, двох демультимплексорів та шести різновходових мультиплексорів. Слід зазначити, що на рисунку надано структуру інформаційного тракту рекурсивного пристрою сортування чисел. Для керування мультиплексорами та демультимплексорами потрібно ще побудувати керуючий пристрій. Для проектування рекурсивної структури пристрою сортування потрібно затратити менше апаратури в порівнянні з базовою потоковою структурою, яка має кращі часові характеристики.

Висновки

В результаті використання запропонованого матричного методу в роботі побудовано структуру повністю рекурсивного пристрою сортування чисел та зроблено оцінку апаратних затрат на його реалізацію. Отримані результати затрат обладнання на реалізацію рекурсивного пристрою дають змогу зробити висновки про значно менші затрати на побудову в порівнянні з базовим варіантом. Використання даного матричного методу дозволяє автоматизувати процес проектування конвеєрних, паралельних та рекурсивних обчислювальних структур.

Література

1. Кун. С. Матричные процессоры на СБИС / Кун. С. – М.: Мир, 1991. – 754 с.
2. Дунець Р. Б. Аналіз та синтез топологій комп'ютерних видавничо-поліграфічних систем: [монографія] / Дунець Р. Б. – Львів: НВФ "Українські технології", 2003. – 145 с.
3. Теория графов / [пер. с англ.]. – М.: Наука, 1980. – 378 с.
4. Мельник А. О. Спеціалізовані комп'ютерні системи реального часу / Мельник А. О. – Львів: ДУ "ЛП", 1996. – 53с.
5. Мельник А. О. Архітектура комп'ютера. Наукове видання / Мельник А. О. – Луцьк: Волинська обласна друкарня, 2008. – 470 с.
6. A Theory of Timed Automata – R.Alur, D.Dill, 1993. – 245p.
7. Ерметов Ю. О. Проектування обчислювальних структур на основі просторово-часових графів / Ю. О. Ерметов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – № 4.

Надійшла 11.9.2010 р.

ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБІГУ В НАУКОВІЙ ОРГАНІЗАЦІЇ

Пропонується методика впровадження систем електронного документообігу (СЕД) в наукових установах. Виявлені основні фактори, що впливають на вибір СЕД в наукових установах. Сформульовано основні цілі та задачі впровадження СЕД, на їх основі виділено вимоги до СЕД, придатних до впровадження в наукових установах. Розроблено класифікацію СЕД залежно від їх призначення. Виконано аналіз ефективності використання СЕД, їх переваг та недоліків. Виявлено, що СЕД Naudoc задовольняє усі виділені вимоги і є доцільним вибором для побудови СЕД наукових установ.

Proposed method of electronic document management systems (EDMS) implementing in scientific organizations. The main factors of EDMS choice in scientific organizations were discovered. The basic aims and objectives of EDMS implementation, based on these identified requirements for EDMS, suitable for implementation in academic institutions were discovered. EDMS classification, depending on their purpose, was developed. The analysis of the EDMS effectiveness, their advantages and disadvantages, was held. The result revealed that the EDMS Naudoc satisfies all developed requirements and is an appropriate choice for the SED construction of the academic institutions.

Ключові слова: системи електронного документообігу, ефективність, електронний документ, наукова установа.

Вступ.

Великий економічний потенціал криється у прискоренні руху документів і зменшенні кількості помилок при прийнятті управлінських рішень за рахунок використання нових технологій керування інформаційними потоками та систем електронного документообігу (ЕДО). Звільнені від рутинної роботи, співробітники перемикаються на виконання більш інтелектуальних операцій.

Особливої цікавості розглянута ситуація набуває при впровадженні систем ЕДО в наукових установах (НУ), де загальний рівень освіченості працівників значно перевищує середній. Розглянемо поточну ситуацію, перспективи, переваги та проблеми впровадження систем електронного діловодства (СЕД) в діяльності наукових установ.

Постановка завдання.

Кожна установа має свої визначаючі фактори діяльності, свої різновиди документів, які необхідно впровадити в СЕД. Особливо це стосується наукових установ, специфіка діяльності яких породжує велику кількість типів та видів документів, що не використовуються в діяльності інших категорій організацій (наприклад, науково-технічні звіти, наукові статті, звіти про наукові досягнення, патенти та ін.). Проблема полягає в тому, що більшість з цих документів мають специфічні вимоги та містять поля, які відсутні в ненаукових документах будь-яких типів. В результаті абсолютна більшість систем ЕДО, що придатні до застосування в організаціях торгівлі та виробництва, для НУ є незастосовними. Крім того, слід зазначити, що значна частина документів, застосованих в НУ, є нетиповими і нестандартизованими, так як наукові установи є ненаправленими на отримання прибутку, що також значно відрізняє їх від більшості організацій, що застосовують СЕД. Тобто для впровадження систем ЕДО в наукових установах слід попередньо виконати чітку формалізацію їх категорії документів, а СЕД, в свою чергу, повинна бути здатною до налаштування згідно з цією формалізацією та особливостями функціонування НУ.

Результати дослідження.

Перш за все, сформулюємо основні фактори, що впливають на рішення про вибір СЕД в НУ:

- Вимоги за обсягом зберігання. Якщо НУ має значний потік документів (за обсягом зберігання), необхідно обрати систему, яка підтримує ієрархічне структурне зберігання (ІСЗ). Цей механізм зберігає найбільш потрібні дані на найшвидших, але й найбільш дорогих носіях, у той час як застосовну більш рідко інформацію автоматично переносить на повільні і дешеві носії.
- Наявність формалізованих процедур, які потребують підтримки їх виконання та автоматизації контролю (підготовки документів певного типу, виконання стандартних функцій НУ і т.д.).
- Необхідність автоматизації адміністративного управління НУ. Ступінь складності організаційної структури.
- Наявність територіально розподілених підрозділів.
- Необхідність у розвиненій маршрутизації документів, в управлінні потоками робіт.
- Наявність паперового архіву великого обсягу.
- Вимоги щодо термінів зберігання документів. При великих термінах зберігання (десятки років) варто подумати про організацію паралельного архіву на надійних цифрових носіях.
- Вимоги до "відкритості", розширюваності системи. Можливість інтеграції з існуючими інформаційними системами і використання наявного устаткування.
- Необхідність зберігання зображень документів. Використання в організації специфічних форматів зберігання документів. Необхідність підтримки інженерних та конструкторських задач, інших

особливостей діяльності НУ.

- Необхідність розвинених засобів пошуку інформації, в тому числі багатомовної, що використовується в діяльності НУ.

Розглянемо динаміку впровадженнь систем електронного документообігу на українському ринку за останні роки.

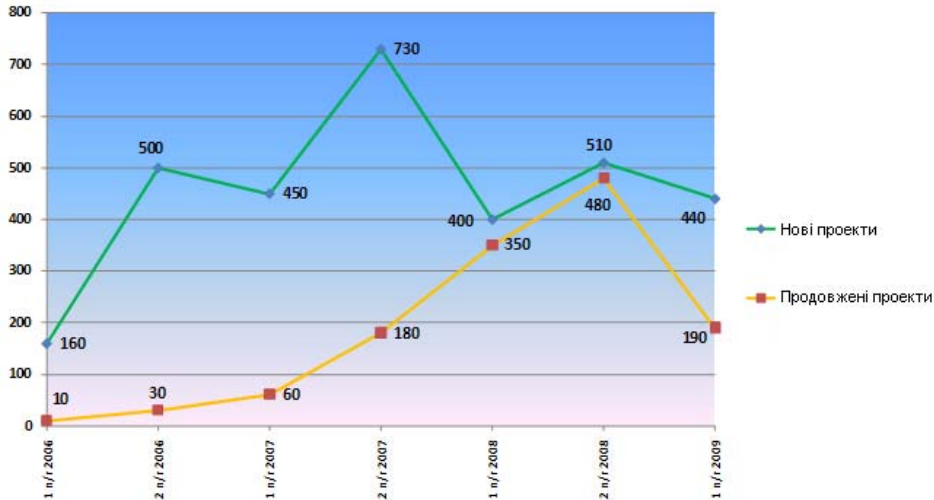


Рис. 1. Динаміка впровадженнь СЕД на українському ринку

Як бачимо, кризові явища дещо призупинили зростання ринку систем ЕДО, але не змогли нівелювати його економічної привабливості.

Крім того, нагальність та необхідність впровадження систем ЕДО залежить як від кількості співробітників в організації, так і від галузі економіки, до якої належить ця організація (табл. 1– 2) [1].

Як бачимо (табл. 1– 2), найбільшу увагу до СЕД проявляють великі недержавні підприємства промислового сектору та сектору торгівлі. Рівень зацікавленості в системах ЕДО освітніх та культурних установ є мінімальним, в середньому він менше 10 відсотків. Це знижує представлення рівня необхідності СЕД для наукових установ, що насправді перевищує 20 відсотків. При цьому слід мати на увазі, що дані статистичні відомості наведені лише для професійних систем ЕДО, централізовано закуплених та встановлених. Практично кожна з тих організацій, що не потрапила до цієї статистики і не має професійної системи ЕДО, насправді використовує в своїй діяльності якісь її елементи чи прості саморобні СЕД (наприклад, має сервер централізованого зберігання документів, якісь електронні засоби реєстрації завдань та ін.). Але частіше за усе ці елементи ЕДО не охоплюють усі сторони діяльності організації, часто некомпортні у використанні, тому є досить неефективними.

Таблиця 1

Тип організації	Впровадили чи планують впровадити СЕД
малі державні	19 %
середні державні	20 %
великі державні	19 %
малі недержавні	26 %
середні недержавні	27 %
великі недержавні	47 %
В середньому	28 %

Таблиця 2

Сфера діяльності	Впровадили чи планують впровадити СЕД
Промисловий сектор	46 %
Паливно-енергетичний комплекс	33 %
Державний сектор	27 %
Транспорт і зв'язок	20 %
Фінансові та інтелектуальні послуги	29 %
Інформаційні технології	20 %
Легка промисловість	35 %
Торгівля	45 %
Освіта, наука і культура	17 %
В середньому	28 %

Існують істотні відмінності в українському та закордонному документообігу: західні схеми документообігу тяжіють до горизонтальної структури (документ потрапляє відразу до виконавця), тоді як вітчизняні – до вертикальної (усі документи спочатку розглядає начальник). Крім того, наша система припускає наявність контрольного органу за виконанням і строками проходження документів, що обумовлено вимогами законодавства України. Все це змушує закладати власне наповнення в алгоритми документообігу. Тим більше, що не всі присутні на ринку системи є досить гнучкими для цього.

На сьогодні кількість впроваджених СЕДО ще досить мала, перш за все, через відсутність концептуальних рішень на рівні стандартних підходів і протоколів, рішень про порядок та етапи впровадження ЕДО, паралельного існування електронних і паперових носіїв документів, вимог до забезпечення систем захисту інформації на мережевому і міжмережевому рівні після надання електронним документам юридичної сили (реалізується за допомогою електронного цифрового підпису згідно законодавства України). Тому задачі впровадження системи електронного документообігу в науковій організації потребують детального вивчення і саме на це і направлено дане дослідження.

В першу чергу, сформулюємо основні цілі впровадження системи ЕДО в науковій установі – це автоматизація процесів електронного забезпечення документообігу; прискорення створення та подальшого руху документів; отримання цілісного механізму контролю та прозорості діяльності НУ; створення єдиної інформаційної бази документів; оптимізація наукових процесів і автоматизація механізму їхнього виконання і контролю; виключення паперових документів із внутрішнього обороту НУ; перехід на безпаперову технологію роботи з документами. Також слід виділити роботу з різними типами документів, роботу з нетиповими документами та не направленість НУ на отримання прибутків.

На основі цих цілей виділимо завдання, які мають вирішуватися за допомогою систем документообігу для НУ:

- організація роботи з документами в процесі управління (забезпечення руху, контролю виконання, зберігання і використання документів);
- автоматичний контроль виконання та протоколювання діяльності НУ в цілому;
- забезпечення кадрової гнучкості за рахунок більшої формалізації діяльності кожного співробітника і можливості збереження всієї передісторії його діяльності;
- контроль та розподілення доступу до документів для зовнішніх та внутрішніх користувачів;
- підтримка ефективного створення, оформлення, узгодження та аналізу нової інформації, документів і знань;
- підтримка ефективного накопичення, керування і доступу до інформації, документів і знань;
- скорочення витрат на керування потоками документів в організації;
- виключення необхідності чи істотне спрощення і здешевлення збереження паперових документів за рахунок наявності оперативного електронного архіву.

Завдання ці є досить широкими, на їх основі можна сформулювати конкретні вимоги до СЕД в НУ:

- повинні охоплювати весь цикл діловодства: від постановки завдання на створення документа до списання документа в архів, забезпечуючи централізоване збереження документів;
- повинні масштабуватися, тобто бути застосовні для установ різних розмірів;
- повинні підтримувати роботу з найрізноманітнішими типами та категоріями документів, що застосовуються у діяльності НУ, включаючи додавання власних типів та категорій;
- повинні дозволяти об'єднати розрізнені потоки документів територіально віддалених підрозділів, відділів та лабораторій у єдину систему;
- повинні відповідати вимогам щодо відповідності певним стандартам документообігу: внутрішнім, галузевим, ГОСТ, міжнародним стандартам;
- повинні забезпечувати гнучке керування документами як за допомогою жорсткого визначення маршрутів руху, так і при довільній маршрутизації;
- повинні забезпечувати автоматичний контроль за документами та термінами їх виконання, протоколювати дії користувачів, відстежувати історію руху документів, легко інтегруватися з існуючими системами;
- повинні відповідати вимогам до безпеки (шифрування, організація доступу, і т. д.).

Слід зазначити, питання захисту інформації в системах ЕДО потребують подальшого дослідження – поряд із запровадженням системи контролю доступу та шифрування документів, що підвищує рівень захисту інформації, перехід документів в електронну форму представлення створює додаткові ризики для них та підвищує кількість можливих каналів витоку.

Побудуємо тепер класифікацію СЕД в НУ залежно від їх призначення [1, 3]:

1. Системи з розвиненими засобами зберігання і пошуку інформації (електронні архіви – ЕА) – орієнтовані на ефективне зберігання та пошук інформації, в тому числі нечіткий пошук, розумовий пошук і т.д.

2. Системи з розвиненими засобами потоку робіт – *workflow (WF)* – розраховані на забезпечення руху документів за задалегідь заданими маршрутами ("жорстка маршрутизація"). За допомогою таких СЕД можна організувати певні роботи, для яких задалегідь відомі і можуть бути прописані всі етапи. Для НУ практично незастосовні.

3. Системи, орієнтовані на підтримку управління НУ та накопичення знань. Ці "гібридні" системи, які зазвичай поєднують у собі елементи двох попередніх. При цьому базовим поняттям в системі може бути

як сам документ, так і завдання, яке треба виконати. Підтримується як "жорстка", так і "вільна" маршрутизація, коли маршрут руху документа призначає керівник ("розписує" вхідний документ). В них можливе колективне створення документів та приймання рішення. Такі системи є чи не найоптимальнішими для наукових організацій, орієнтованих на сучасні методи та засоби обробки інформації.

4. Системи, орієнтовані на підтримку спільної роботи (*collaboration*). Їх завдання – забезпечити спільну роботу людей, навіть якщо вони розділені територіально, і зберегти результати цієї роботи. Вони надають сервіси зберігання і публікації документів в intranet, пошуку інформації, обговорення, призначення зустрічей (як реальних, так і віртуальних). Підтримка цього підходу також є важливою для сучасних НУ.

5. Системи, що мають розвинені додаткові сервіси. Наприклад, сервіс управління проектами, електронної пошти та ін.

Будь-яка система документообігу може містити елементи кожної з наведених категорій, але більшість з них мають конкретну орієнтацію в одній з областей, пов'язану в першу чергу з позиціонуванням продукту.

На основі проведеного аналізу можна стверджувати, що для НУ потрібна система ЕДО, що має гнучку та відкриту архітектуру, дозволяє створювати власні типи та категорії документів і маршрути їх руху.

Розглянемо, які саме СЕД присутні зараз на ринку, але слід зазначити, що український ринок систем ЕДО є досить інформаційно закритим та маловивченим. Результати порівняння популярності систем електронного документообігу на вітчизняному ринку на сьогоднішній день, наведені в [2]. З присутніх на ринку звернемо увагу на повнофункціональну систему електронного документообігу *NauDoc*. Вона, фактично, є єдиною безкоштовною системою електронного документообігу. Існують й інші безкоштовні системи ЕДО, але їх застосування звичайно є дуже обмеженим (наприклад, СЕД «Діло» поширюється безкоштовно лише для використання у вищих навчальних закладах).

В [2] було проведено тестування значної кількості систем ЕДО за рядом характеристик, і *Naudoc* отримав одну з найвищих оцінок. Станом на кінець 2009 року система ЕДО *Naudoc* зайняла 6 % ринку, що перевищує її попередні показники (близько 5 % на кінець 2008 року) та свідчить про зростання її популярності.

Система *Naudoc* повністю відповідає третьому і четвертому типам систем документообігу, але при цьому вона має ряд додаткових сервісів, що дозволяє віднести її додатково до п'ятого типу. Таким чином, система *Naudoc* є універсальною системою документообігу, що є ще однією її перевагою.

Перевіримо *Naudoc* на відповідність висунутим раніше завданням та вимогам до систем ЕДО в НУ. Відповідно до завдань, які мають вирішуватися системами документообігу, система *Naudoc* має повну функціональність, забезпечує більш ефективне управління за рахунок покращеного контролю виконання завдань (звіти про виконання/невиконання завдання автоматично відсилаються відповідальній особі), підтримує просте накопичення, керування і доступ до інформації (включаючи розподілення прав доступу), забезпечує формалізацію діяльності кожного співробітника і можливість збереження всієї передісторії його діяльності. *Naudoc* виконує протоколювання діяльності НУ в цілому, дозволяє оптимізувати та автоматизувати наукові процеси. Система контролю доступу в *Naudoc* є простою в освоєнні та користуванні.

Підтримка системи контролю якості в *Naudoc* за замовченням не реалізована, але його функціональність дозволяє за необхідності реалізувати цю систему вручну. За допомогою *Naudoc* можливе виключення паперових документів із внутрішнього обороту НУ.

На основі проведеного аналізу можна стверджувати, що *Naudoc* відповідає вимогам до ефективних систем електронного документообігу НУ.

Кількісний аналіз ефективності систем ЕДО

Як вже було сказано вище, основною перевагою впровадження систем ЕДО їх розробники заявляють зменшення часу на виконання операцій з документами. Щоб оцінити, наскільки ефективною є робота з системами ЕДО, і чи перевищує ефективність використання СЕД ефективність звичайного паперового документообігу, проведемо аналіз ефективності цих систем.

За основу для отримання кількісної оцінки ефективності будемо використовувати базове визначення ефективності: $Eff = Ak/As$. Це визначення читається так: «ефективність дорівнює відношенню корисної роботи до спільної праці».

Для приведення визначення ефективності до понять розглянутої предметної області, треба позначити загальну і корисну роботу в термінах документообігу. Розглянемо основні елементи, які обчислюються, системами композитного документообігу – документи. Багато з документів мають електронну та паперову складову. Ці складові можуть бути семантично еквівалентними, але відрізнятися за формою. Виділимо електронні складові всіх документів в множину Φ_e (для частини документів може існувати лише електронна, чи лише паперова складова). У той же час множину всіх паперових складових документів позначимо Φ_p .

Розглянемо етапи впровадження СЕД в НУ:

- 1) Електронні та паперові технології існують ізольовано одна від одної.
- 2) В НУ почалося впровадження СЕД (більшість паперових та електронних процесів все ще існують окремо, але виникає деяка кількість складових процесів).
- 3) Впровадження СЕД закінчено (значна частина процесів є композитними процесами, більшість співробітників організації залучені в роботу системи ЕДО).

Навіть на третьому етапі залишається частина процесів, які є тільки паперовими або тільки електронними (наприклад, процеси, що погано піддаються автоматизації). Можна припустити, що співвідношення композитних процесів до «чистих» відповідає співвідношенню Парето [3]. Однак це твердження взято зі спостережень і є емпіричним.

Кількісний критерій ефективності документообігу виражається ставленням сумісної частини до сукупності електронної та паперової складових. Ця оцінка наведена нижче у вигляді формули 1. Практичне тлумачення цієї оцінки трактується так: чим більшої кількості паперових документів вдасться надати електронну сутність і чим меншої кількості електронних процесів потрібне паперове відображення, тим ефективніше реалізований електронний документообіг.

$$Eff = \Phi_e \cap \Phi_n / (\Phi_e \cup \Phi_n) \quad (1)$$

Крім того, для адекватної оцінки ефективності роботи з СЕД слід враховувати швидкість виконання основних її операцій через її інтерфейс згідно з *GOMS* [4]. Цей метод має на увазі, що всі дії користувача можна розкласти на складові (наприклад, взяти мишу або пересунути курсор). Обмеживши номенклатуру цих складових, можна заміряти час їх виконання на масі користувачів, після чого отримати статистично вірні значення тривалості цих складових. Так можна вирахувати швидкість виконання якого-небудь завдання. В результаті вибір найбільш ефективного рішення стає досить простою справою – потрібно тільки розкласти завдання на складові, після чого, знаючи тривалість кожної складової, все скласти і дізнатися тривалість всього процесу. Зазвичай та система краща, в якій час виконання завдання менший. Згодом було розроблено декілька більш складних (і точних) варіантів цього методу, але найпоширенішим все одно є первісний, під назвою *Keystroke Level Model (KLM)*. Для його використання досить знати правила розбиття задачі на складові і тривалість кожної складової. Згідно з результатами масових досліджень, проведених в [5], час виконання основних операцій:

- Натискання на клавішу клавіатури, включаючи *Alt*, *Ctrl* і *Shift* (K): 0,28 с.
- Натискання на кнопку миші (M): 0,1 с.
- Переміщення курсора миші (P): 1,1 с.

Зрозуміло, відповідно до закону Фітса [6], час, що витрачається на переміщення курсора миші, залежить як від дистанції, так і від розмірів об'єкту, до якого курсор має переміститись. Тим не менш, це значення представляє досить точний компроміс.

- Взяття або відпускання миші (B): 0,4 с.
- Тривалість вибору дії (D): 1,2 с.

У середньому, за 1.2 секунди користувач приймає рішення, яку саме дію він виконає на наступному кроці. Зазвичай це найбільш складний оператор, оскільки часто незрозуміло, в яких саме місцях процедури його необхідно ставити. Наприклад, іноді, коли користувач здійснював шукану послідовність дій не раз і при цьому абсолютно впевнений в тому, що загальний хід процедури не буде відрізнитися від звичайного, цей час витрачається тільки в самому початку виконання (далі дії будуть відбуватися автоматично). З іншого боку, починаючим користувачам доводиться обирати дію перед кожним своїм кроком. Однак у більшості випадків достатньо вважати, що цей час потрібно додавати перед всіма натисканнями, які не припадають на область з встановленим фокусом, перед усіма командами, ініційованими мишею і після істотних змін зображення на екрані.

- Час реакції системи (R): від 0,1 с. до нескінченності.

Для базових операцій, таких як робота з меню, цей час можна не зараховувати, оскільки з моменту створення методу швидкодія комп'ютерів багаторазово зростає.

Згідно цих розрахунків був проведений ряд досліджень інтерфейсної швидкодії СЕД на прикладі обраної системи ЕДО *Naudoc*. В якості прикладу результатів можна навести оцінку часу виконання операції збереження документу (з введенням його назви та подальшим закриттям). Для не призначених для електронного документообігу систем цей час був досить великим (наприклад, для *Microsoft Office* 16,08 секунд). Для системи *Naudoc* цей час склав 8,56 с. Повні результати обчислень не наводяться через їх великі обсяги.

Крім того, слід враховувати швидкість набору тексту в порівнянні зі швидкістю написання тексту від руки. Середня нормативна швидкість написання тексту від руки складає 40–45 знаків/хвилину [7]. Згідно [8], швидкість набору тексту зрячим двопальцевим методом складає 40–60 знаків/хвилину, що відповідає результатам рукописного створення тексту. При цьому на написання/набір сторінки тексту витрачається в середньому 20–30 хвилин. Швидкість сліпого десятипальцевого набору тексту складає від 100–120 (для починаючих користувачів) до 250–300 знаків/хвилину (для досвідчених користувачів) [9] і в окремих випадках може досягати 400–500 знаків/хвилину. При цьому час, необхідний для набору сторінки тексту, скорочується в середньому до 5 хвилин.

Також слід враховувати необхідність сканування та розпізнавання документів. Цей процес є невід'ємною частиною діяльності систем ЕДО на багатьох підприємствах (табл. 3–4) [1].

Час сканування сторінки тексту складає в середньому 20 секунд, час розпізнавання сторінки – 2–3 хвилини.

Необхідність функції розпізнавання паперових документів і переведення їх в електронну форму (% від числа респондентів)

Варіанти відповіді	%
Розпізнавання та переведення паперових документів в електронну форму є невід'ємною частиною більшості ключових процесів роботи з документами у всіх підрозділах організації	29,9
Функція розпізнавання і перекладу паперових документів в електронний вигляд постійно затребувана тільки в одному-двох відділах організації	21,8
Потреба у розпізнаванні паперових документів і переведенні їх в електронну форму зрідка виникає на окремих ділянках роботи з документами	25
Розпізнавання та переклади паперових документів в електронний вигляд не є значущими функціями роботи з документами в нашій організації	16,3
Невідомо	7

Відповідно до результатів досліджень, проведених з використанням формули (1) в [3], та порівняльної оцінки швидкості виконання основних дій, пов'язаних з документообігом, виконаної для операцій в системі *Naudoc* та для паперового документообігу, оцінки швидкості створення нових документів в паперовому та електронному документообігу, середній відсоток економії часу на перераховані вище типи руху документів при використанні СЕД *Naudoc* – 80 %. Відповідно, використання СЕД може заощаджувати $80\% * 60\% = 48\%$ робочого часу (вищезазначені види обробки документів за результатами дослідження в середньому по НУ займають близько 60 % робочого часу [3]). Результати наведені для користувачів наукових установ, що мають гарні навички роботи з обраною системою ЕДО, для починаючих користувачів швидкодія спочатку буде набагато меншою і наблизиться до наведених значень лише через кілька місяців.

При цьому треба врахувати, що інші 52 % робочого часу не повністю використовуються для ефективної роботи, частина витрачається на перерви, на каву, розмови і т.п.

Тобто якщо вважати чистий робочий час, то СЕД може економити більше половини робочого часу співробітників НУ, які працюють з документами – договорами, рахунками, науково-технічними звітами і т.п. Крім цього, час, проведений співробітниками не на робочому місці, СЕД дозволяє «конвертувати» в робочий час за рахунок можливості віддаленої роботи з документами як через *web*-браузер, так і по електронній пошті.

Таким чином, на основі вищенаведених цілей і завдань СЕД та отриманих результатів досліджень можна остаточно сформулювати додаткові переваги систем ЕДО для НУ (основними є результати виконання вимог до СЕД в НУ).

Переваги СЕД в НУ:

- Згідно з проведеними дослідженнями – на 80– 85 % прискорюється пошук документів по будь-якому його атрибуту, можна зробити вибірку документів з будь-якою ознакою або їх сукупністю.
- Час на передачу документів між підрозділами не витрачається – документи у режимі реального часу доступні всім співробітникам, що мають право доступу до них.
- Об'єднання знань співробітників в загальній централізованій системі знань дає синергетичний ефект і може призвести до вражаючих результатів.
- При правильній політиці безпеки підвищується рівень безпеки інформації. Вхід в СЕД з незареєстрованої робочої станції неможливий. Кожній посадовій особі організації в рамках СЕД надаються повноваження (чи має право особа ініціювати проект, завдання, реєструвати документ, змінювати якісь налаштування). Документ, перш ніж потрапити на сервер, автоматично архівується, шифрується і записується в базу даних.
- Регламентується порядок взаємодії з іншими посадовими особами, тобто формується ранг повноважень (рівень доступу) конкретного співробітника.
- Зберігання документів, як і будь-якої іншої інформації, на електронних носіях компактніше, вигідніше і надійніше при використанні засобів захисту від несанкціонованого доступу.
- Відсутність ключових співробітників на робочому місці у зв'язку з відрядженнями не зупиняє роботу з документами – СЕД забезпечує можливість віддаленої роботи з документами як через *web*-браузер, так і по електронній пошті.
- Керівники, начальники відділів мають можливість бачити в режимі реального часу хід виконання наукових процесів, наприклад, написання наукових статей, реєстрацію результатів експериментів, поточний стан виконання договорів, взаємодію між різними відділами і т.п.
- Прискорення інформаційних потоків майже на 50 % і зменшення кількості помилок при прийнятті управлінських рішень за рахунок використання актуальних та своєчасних даних призводить до підвищення керованості установи в цілому.

Таблиця 4

Актуальність інтеграції функції розпізнавання паперових документів і переведення їх в електронну форму в СЕД

Варіанти відповіді	%
Актуально	64,5
Не актуально	26,7
Невідомо	8,8

Але окрім переваг системи ЕДО несуть й ряд ризиків для НУ. Це завжди треба враховувати і розпочинати процес впровадження СЕД лише у тому випадку, коли переваги є більш вагомими, ніж виникаючі проблеми. Виділимо ці можливі проблеми, що виникають при впровадженні системи ЕДО в діяльність наукової організації.

Проблеми впровадження СЕД в НУ: консерватизм персоналу, низька освіченість, небажання навчатися; побоювання прозорості власної діяльності для керівництва, що виникає після впровадження СЕД. Проблеми можуть викликати постійні структурні зміни в організації, слабку формалізацію діяльності НУ та необхідність взаємодіяти в неелектронній формі із зовнішніми організаціями або відомствами, з якими йде постійна робота. Також великої уваги слід приділяти зростанню кількості загроз для інформації – документи окрім паперової форми тепер знаходяться й в електронній, яка має інший набір вразливостей (віруси, електромагнітне випромінювання, хакерські атаки тощо). Служба безпеки підприємства може виявитись не підготовленою до протистояння цим загрозам.

Ефективність впровадженої СЕД на початку буде низькою через значний час, що повинен бути витрачений на вивчення персоналом особливостей роботи з системою ЕДО та складність перетворення неформалізованих паперових документів в формалізовані електронні. Через велику кількість різновидів документів, яка використовується в ЕДО НУ різних типів та напрямів діяльності, досить складно передбачити усі можливі типи та підтипи документів, врахувати в системі ЕДО їх складну структуру та усі необхідні для представлення кожного документу поля.

Проаналізуємо, як вирішені виявлені проблеми впровадження СЕД в НУ у *Naudoc*:

- *Naudoc* є системою, легкою у вивченні, має простий та функціональний інтерфейс, ефективну довідкову систему та всеохоплюючі навчальні матеріали, що додатково знижує ускладнення, пов'язані з навчанням персоналу.

- Наукові установи звичайно є державними підприємствами суворої звітності, тому проблема прозорості їх діяльності звичайно і не виникає.

- Структурні зміни в організації підтримуються.

- *Naudoc* дозволяє друк усіх необхідних документів для взаємодії з зовнішніми організаціями, що не підтримують електронну документацію.

- *Naudoc* за замовченням реалізує жорсткий розподіл повноважень, звичайні користувачі мають доступ лише до своїх документів, вся інформація зберігається на сервері, захищено та централізовано, доступ до неї ззовні системи ЕДО неможливий. Таким чином, хоча зростання рівня безпеки при переході на систему *Naudoc* відбудеться, воно буде порівняно незначним.

- *Naudoc* дозволяє гнучко створювати нові типи та підтипи документів з унікальними особливостями та полями вводу як на основі існуючих типів документів, так і повністю з нуля. Це дозволяє ефективно реалізувати документообіг для будь-яких установ, у тому числі і для наукових.

Висновки.

Таким чином, галузь електронного документообігу розвивається швидкими темпами, хоча на сьогоднішній день рівень її наукового обґрунтування лишає бажати кращого. Завдяки гнучкості, високій ефективності та безкоштовності система *Naudoc* є доцільним вибором для побудови на її основі СЕД наукових установ України. Вона задовольняє усі виділені вимоги до систем ЕДО в НУ, та, згідно з результатами проведених досліджень, після впровадження дозволить заощадити 48 % робочого часу наукових співробітників.

Література

1. Костяков С. В. Практика использования ИТ на российских предприятиях / С. В. Костяков, К. П. Зимин, З. И. Камытбаева – М.: Intelligent enterprise. 2005. – № 23 (132). – С. 11– 17.
2. Как мы выбрали систему электронного документооборота [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.webreflection.ru/images/wredms.png>
3. Круковский М. Ю. Критерии эффективности систем электронного документооборота / Круковский М. Ю. – К.: Системи підтримки прийняття рішень. Теорія і практика, 2005. – С. 107– 111.
4. Dix, A., Finlay, J., Abowd, G., Beale, R., Human Computer Interaction, Prentice Hall, 1993.
5. Card, Moran, and Newell, The Psychology of Human-Computer Interaction, Erlbaum 1983.
6. Fitts P. The informational Capacity of the human motor system in controlling amplitude of movement // Journal of Experimental Psychology. – 1954. – 47. – P. 381– 391.
7. Совершенствование общеучебных умений [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.ug.ru/?action=topic&toid=3891&i_id=42
8. Воронин А. Владимир Владимирович Шахиджанян о сотовой связи и программе "СОЛО" [Електронний ресурс] / А. Воронин // 3DNews. – 05.07.2007 – Режим доступу: <http://www.rusdoc.ru/articles/14496/>.
9. Мухутдинов Е. Обучение слепой печати [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://inf777.narod.ru/create_sites/blind_type.htm

Надійшла 21.9.2010 р.

АВТОМАТИЧНА ГЕНЕРАЦІЯ ТЕСТОВИХ ЗАВДАНЬ РІЗНИХ ТИПІВ

В статті розглянуто основні проблеми, які виникають під час автоматичної генерації тестових завдань, запропоновано методику та алгоритми генерації тестових завдань різних типів, які характеризуються достатньою педагогічною цінністю.

Main problems of automatic generation of test's tasks are considered; methodology and algorithms for generating test tasks of various types of sufficient pedagogical value are proposed.

Ключові слова: навчальні системи, системи комп'ютеризованого контролю, генерація тестових завдань.

Вступ

В сучасних умовах розвитку новітніх технологій та інформатизації суспільства актуальною є задача постійного оновлення знань спеціалістів. Важливу роль в її розв'язанні відіграють комп'ютерні засоби навчання. Застосування інформаційних технологій в навчанні дозволяє індивідуалізувати процес навчання, забезпечити оперативний самоконтроль і контроль з діагностикою помилок і оберненим зв'язком. Одним із основних способів контролю знань в навчальних системах залишається тестування, яке, крім контрольної функції застосовується для навчання, тренінгу, розвитку когнітивних здібностей [1]. Проблеми автоматизації процесу тестування і обробки його результатів достатньо повно досліджені в літературі. Однак, задачі автоматизації формування банку завдань досліджені неповно. Поряд із цим новітні інформаційні технології дають можливість суттєво зменшити трудові затрати на створення самих тестових завдань з можливістю їх постійного оновлення, що формує актуальний напрямок наукових досліджень.

Аналіз досліджень та публікацій

Різноманітним аспектам тестування, створення і застосування навчальних і тестувальних систем на базі сучасних інформаційних технологій, питанням розробки баз даних і баз знань програмних систем присвячені численні праці українських та зарубіжних науковців: Аванесова В. С., Башмакова І. А., Клайна П., Гагаріна О. О., Титенка С. В., Пасічника В. В., Тонкононого В. М., Brusilovsky P., Schwarz, Weber. Більшість з них здійснювали дослідження в сфері проведення тестувань, наповнення бази тестових завдань за допомогою засобів підтримки ручного створення тестових завдань, безпеки процесу тестування і відтворення результатів. Особливо необхідно відзначити дослідження в напрямку автоматизації створення тестових завдань, оскільки цей напрямок є одним з найактуальніших напрямків досліджень [1, 2].

Серед відомих засобів автоматичної генерації тестових завдань необхідно відзначити методи параметризованих тестів, використання семантичних мереж, а також використання понятійно-тезисної моделі. Основними недоліками даних підходів є створення завдань з низькою педагогічною цінністю, відсутність аналізу складності завдань, а також значні витрати на підготовку вхідної інформації. Тому виникає задача розробки методології, направленої на розв'язання даних проблем.

Формалізація навчальних матеріалів на основі системи семантичних класів

Одним із ефективних підходів в розв'язанні проблем автоматизованої побудови адаптивної системи тестових завдань на основі формалізації навчальних матеріалів, на наш погляд, служить система семантичних класів, запропонована в [3]. Дана роботи присвячена її подальшому розвитку. Згадана система ґрунтується на системному аналізі змісту навчального матеріалу, представленого в лінгвістичній формі. Викладемо суть згаданого аналізу. Як відомо, основними лінгвістичними функціями є комунікативна, когнітивна (пізнавальна), емоційна та мета лінгвістична. Найважливішою з точки зору отримання знань слід вважати пізнавальну. Цією функцією можна й обмежитися на початковому етапі формалізації знань. Процес пізнання направлений на розв'язання проблем. Для економічного представлення суті проблеми необхідне використання певного понятійного апарату. Способи розв'язання проблем формалізуються за допомогою методів. Опис методу формалізується за допомогою його схеми. Обґрунтований вибір методу можна здійснити на основі аналізу його ефективності, тобто доцільності використання методу в певних проблемних ситуаціях. Формальний опис методу припускає неоднозначне трактування. Для забезпечення вірного розуміння суті методу використовують описи його застосування в ключових проблемних ситуаціях. Виходячи з наведеного аналізу, для формалізованої характеристики знань деякої предметної області достатньо передбачити наступні абстрактні когнітивні класи: означення, проблеми, методи, ефективність методів, проблемні ситуації.

Запропонована система когнітивних класів дозволяє поділити розділ (підрозділ) тексту певної предметної області на сукупності тверджень. Кожне твердження розбиваємо на компоненти, які описують процеси, поняття або їх характеристики. Компоненти поєднуються в речення сполучниками або сполучними словами. Стосовно когнітивного класу ці компоненти разом з їхніми зв'язками можна типізувати за їх лінгвістичним змістом і формалізувати за допомогою деревовидних структур даних.

Для генерації тесту деяке твердження розбивається на основну та альтернативну частини, які можуть містити одну або декілька компонент. Альтернативна частина тесту поповнюється аналогічними за лінгвістичним змістом, синтаксично узгодженими, частинами інших тверджень. Синтаксичне узгодження

забезпечується, коли зв'язки компонент тверджень є однорідними за типами та числами [3, 4]. Розглянемо опис інформаційних структур для семантичних класів, враховуючи структурні особливості класів та відповідно контенту їх наповнення.

Оскільки знання представляються у структурованій лінгвістичній формі, їх можна відобразити за допомогою відношення (1):

$$Df_i = \left\{ \left[IE_{i,j}, CS_{i,j}, CNJ_{i,j}, TCNJ_{i,j}, Prn_{IE_{i,j}}, Id_{class} \right] \right\}, \quad (1)$$

$$i = \overline{1, ND}, j = \overline{1, NC_i}, \quad (2)$$

де $Df_i - i$ - текстове твердження, яке формалізує певну сутність конкретного семантичного класу,

IE - ідентифікатор j -ї компоненти i -го твердження;

CS - зміст компоненти;

CNJ - представлення зв'язку між компонентами тверджень;

$TCNJ$ - тип зв'язку між компонентами;

Prn_{IE} - посилання на батьківський елемент дерева (ідентифікатор відповідної компоненти);

Id_{class} - ідентифікатор семантичного класу;

ND - кількість тверджень конкретного семантичного об'єкта;

NC_i - кількість компонент i -го твердження.

Відношення (1) дозволяє формалізувати сутності більшості семантичних класів, а саме класів „означення”, „проблема”, „метод”, „ефективність методів”. На рис. 1 представлено фрагмент контенту для семантичного класу „Означення”.

	IE	CS	CNJ	TCNJ	Prn_IE
1	SQL		-	1	0
2	мова структурованих запитів		яка	2	1
3	застосовується для формування запитів, оновлення і керування реляційними БД			0	2
4	застосовується для взаємодії користувача з базами даних			0	2
5	не є ні системою керування базами даних, ні окремим програмним продуктом.			0	2
6	застосовується для здійснення запиту і внесення змін до бази даних			0	2
7	SELECT		-	1	0
8	оператор мови		який	2	7
9	повертає рядки з однієї чи багатьох таблиць			0	8
10	описує кінцеві дані, однак, не вказує, які саме операції слід виконати для отриманн			0	8

Рис. 1. Фрагмент контенту семантичного класу «Означення» для дисципліни «Основи SQL»

Початкова компонента твердження, яка має суттєве значення в фіксації правильності згенерованих тверджень, визначається із врахуванням обмежень (3):

$$(Pr_{IE_i} = 0) \Rightarrow (CS_i \in \{NmC\}) \cap (IE_i \in \{IE_0\}) \cap (TCNJ_i \neq NULL), \quad (3)$$

де $\{NmC\}$ - множина основних компонент тверджень семантичного об'єкта;

$\{IE_0\}$ - множина ідентифікаторів основних компонент.

Крім текстових тверджень, інформативні матеріали (знання) часто представляються у вигляді різноманітних схем, алгоритмів тощо. Це стосується в основному опису певних дій, тобто відноситься до семантичного класу «метод». Схеми дозволяють зрозуміти сутність методу та особливості його застосування. Схему методу можна представити у вигляді інформаційної структури (4):

$$Sm_i = \left\{ \left[IE_{i,j}, Cp_{i,j}, CS_{i,j}, Prn_{IE_{i,j}}, SN_{i,j}, Id_{class}, Op_{Dsc_{i,j}} \right] \right\}, \quad (4)$$

де Sm_i - схема методу;

$IE_{i,j}$ - ідентифікатор елемента дерева;

$Cp_{i,j}$ - ідентифікатор обов'язковості елемента;

CS - компонента схеми;

$Prn_{IE_{i,j}}$ - посилання на батьківський елемент;

SN - назва методу;

Id_{class} - ідентифікатор семантичного класу;

Op_{Dsc} - лінгвістичний опис операцій. На рис. 2 подано приклад контенту семантичного класу «метод» для інтерпретації методу «вибірка даних».

IE	Ср	CS	Id_Prn	SN	Id_class	Op_Describe
1	1	SELECT	0	Вибірка даних	2	Вибрати
2	1	FROM	1	Вибірка даних	2	З
3	0	WHERE	2	Вибірка даних	2	За умовою
4	0	GROUP BY	2	Вибірка даних	2	Згрупувати
5	0	HAVING	2	Вибірка даних	2	Включати
6	0	ORDER BY	2	Вибірка даних	2	Впорядкувати
7	1	DELETE	0	Видалення даних	2	Видалити
8	1	FROM	7	Видалення даних	2	З

Рис. 2. Фрагмент контенту семантичного класу «Метод» для методу «Вибірка даних»

Необхідно відзначити, що формалізоване представлення схеми методу дозволить автоматично генерувати не тільки тестові завдання «закритого типу» різноманітних видів, але і можливе використання для побудови тестів «відкритого типу» для інтерпретації та розв'язання різноманітних проблемних ситуацій.

Автоматична генерація тестових завдань різних типів

В сучасних системах тестування використовуються завдання різноманітних типів, що дозволяє підвищити якість контролю та використовувати сам процес тестування як один із засобів ефективного навчання. Основними видами тестових завдань, які використовуються в комп'ютеризованих тестових системах, є наступні:

- множинний вибір (необхідно обрати одну або декілька правильних відповідей із множини альтернатив);
- альтернативні (питання типу вірно або невірно, так або ні);
- кількісні питання (відповіддю на дане питання є число);
- питання на встановлення відповідності (альтернативи представляються у двох стовпчиках, необхідно відновити зв'язок споріднених альтернатив);
- заповнення прогалів у тексті (необхідно заповнити прогалини у самому запитанні);
- завдання перестановки (відновлення правильної послідовності компонент у твердженні).

Запропонована в [3] методика та алгоритми автоматичної генерації тестових завдань, що ґрунтується на формалізації навчальних матеріалів за допомогою системи семантичних класів, в даній роботі розповсюджуються на формування тестових завдань вищевказаних типів. В загальному випадку тестове завдання складається із основи тесту та множини альтернатив, яку можна представити наступним чином:

$$TT^{i(k)}(m_a, t_a) = [BTT^{i(k)}, SATT^{i(k)}(m_a, t_a)], \quad (5)$$

де $TT^{i(k)}(m_a, t_a)$ – структура тестового завдання;

$BTT^{i(k)}$ – основа тесту;

$SATT^{i(k)}$ – множина альтернатив;

m_a – максимальна кількість альтернатив;

t_a – кількість правильних альтернатив;

k – кількість компонент основи тестового завдання.

Основа тестового завдання $BTT^{i(k)}$ представляється у вигляді (6)–(7):

$$BTT^{i(k)} = \left\{ \left[IBC_{i,j}, IE_{i,j}, CS_{i,j}, CNJ_{i,j}, TCNJ_{i,j}, Pr n_{-} IE_{i,j} \right] \right\}, \quad (6)$$

$$i = \overline{1, NTT}, j \leq k, \quad (7)$$

де $IBC_{i,j}$ – ідентифікатор компоненти основи тестового завдання.

Генерування множини альтернатив $SATT^{i(k)}$ описане співвідношеннями (8)–(9)

$$SATT^{i(k)}(m_a, t_a) = \left\{ ATT_{l(n)}^{i(k)}(m_a, t_a) \right\}, \quad (8)$$

$$ATT_{l(n)}^{i(k)}(m_a, t_a) = \left\{ \left[IAC_{l(n),j}, IEA_{l(n),j}, CS_{l(n),j}, CNJ_{l(n),j} \right], \left[TCNJ_{l(n),j}, Pr n_{-} IE_{l(n),j} \right] \right\}, j > n, \quad (9)$$

де $ATT_{l(n)}^{i(k)}$ – елементи альтернатив;

IAC – ідентифікатор компоненти альтернативи тестового завдання;

IEA – ідентифікатор компоненти альтернативи у структурі тверджень (1)–(2);

l – ідентифікує номер твердження, частиною якого є альтернатива;

n – рівень його точки розриву.

Узгодженість типів зв'язків між компонентами, які формують тестове завдання, забезпечується умовою:

$$TCNJ_{i(k),j[k]} \equiv TCNJ_{l(n),j[2n]}, \quad (10)$$

де $j[k]$ – позначає номер довільної компоненти деревовидної структури рівня k .

Вірність згенерованої альтернативи тестового завдання визначається умовою (11):

$$(i = l) \wedge (k = n) \quad (11)$$

На рис. 3 схематично зображено процес генерації тестового завдання множинного типу для семантичного класу «Означення». На даній схемі представлено тестове завдання, яке складається з чотирьох альтернативних варіантів відповідей. Як видно з даного рисунку основа тестового завдання $BTT^{1,2}(j=2)$ складається з двох компонент твердження, а альтернативні варіанти $ATT_{1,2}^{1,2}(m_a=4, t_a=1)$ формуються шляхом маніпулювання відповідними компонентами інших тверджень, але узгоджених за типами зв'язків між ними, які на рисунку представлені кольорами верхніх частин блоків. Точка розриву між компонентами показана штриховою лінією. Твердження можуть використовуватися як для формування основи тесту, так і його альтернатив.

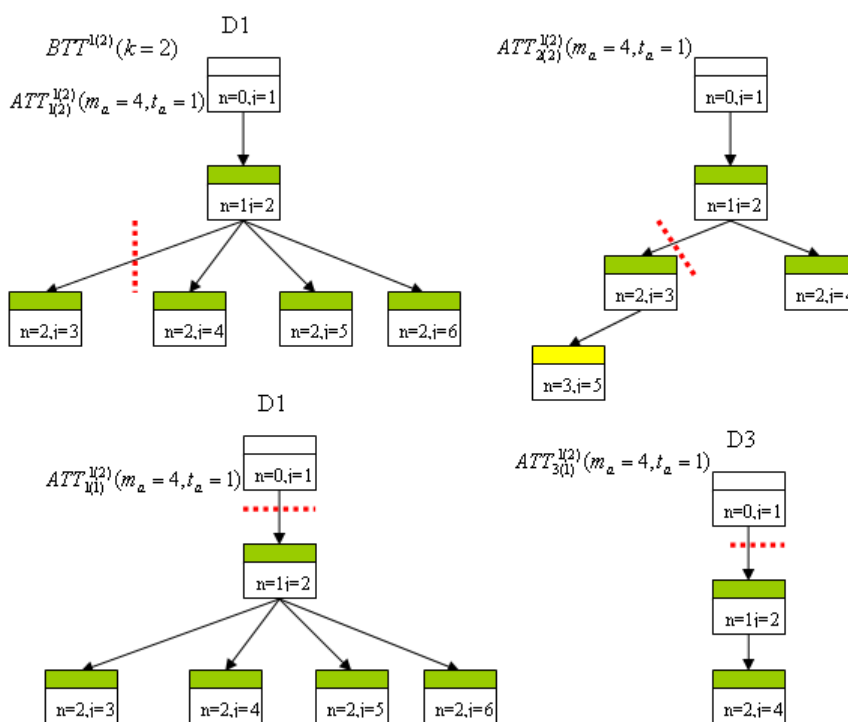


Рис. 3. Схема генерації тестового завдання

В загальному випадку алгоритм генерації тестового завдання множинного типу можна описати за допомогою наступної послідовності кроків:

1. обрати розділ навчального матеріалу та семантичний клас;
2. обрати екземпляр семантичного класу;
3. обрати випадкову точку розриву, нехай її рівень – k ;
4. зафіксувати основу тесту, першу вірну альтернативу, та тип зв'язку першої компоненти цієї альтернативи $TCNJ(true)$;
5. обираємо $t_a^* - 1 \leq t_a - 1$ нижніх частин гілок рівня k вибраного екземпляра, формуючи вірні альтернативи;

6. обираємо випадкові екземпляри класу в кількості $m_a - t_a^*$, в яких присутній тип зв'язку $TCNJ(true)$. Вибираємо випадкову точку розриву по елементах із типом зв'язку $TCNJ(true)$;

7. якщо вибраний випадково екземпляр співпадає із екземпляром основи тесту, то рівень точки розриву не повинен дорівнювати k , що забезпечує формування невірної альтернативи.

На рис. 4 представлено приклад згенерованого тестового завдання множинного типу:

Запитання №2 SQL - мова структурованих запитів, яка

Варіанти відповідей

застосовується для взаємодії користувача з базами даних

описує кінцеві дані, однак, не вказує, які саме операції слід виконати для отримання цих даних

повертає рядки з однієї чи багатьох таблиць

групує рядки, що мають спільну властивість таким чином, щоб функція агрегації могла бути застосована до кожної групи

Компоненти твердження

Тип зв'язку

Рис. 4. Тестове завдання множинного типу для дисципліни «Основи SQL»

Для генерації тестових завдань альтернативного типу використовується алгоритм, що є модифікацією попередньо представленого:

1. обрати розділ навчального матеріалу та семантичний клас;
2. обрати екземпляр семантичного класу;
3. обрати випадкову точку розриву, нехай її рівень – k ;
4. зафіксувати першу частину основи тесту та тип зв'язку наступної компоненти;
5. випадковим чином обрати істинність другої частини основи тесту;
6. перша компонента другої частини основи тесту повинна мати узгоджений тип зв'язку. При її істинності вона вибирається із фіксованого екземпляру, а за хибності – з інших екземплярів.

На рис. 5 зображено приклад згенерованого за наведеним алгоритмом тестового завдання альтернативного типу.

Запитання №28 SELECT - оператор мови, який повертає рядки з однієї чи багатьох таблиць

(Тип: 1; Стан: Запитання вимкнене)

- Так
- Ні

Рис. 5. Тестове завдання альтернативного типу для дисципліни «Основи SQL»

Для генерації тестових завдань на встановлення відповідності використовується модифікований алгоритм для завдань множинного типу із деякими особливостями, а саме:

- 1) обираємо множину екземплярів семантичного класу;
- 2) назви екземплярів переносимо в один стовпчик, а решту компонент екземплярів – випадковим порядком в інший стовпчик;
- 3) випадковим чином переставляємо елементи кожного із стовпчиків.

На рис. 6 зображено приклад згенерованого тестового завдання на встановлення відповідності:

Встановіть правильні відповідності

SQL -	мова структурованих запитів, яка застосовується для взаємодії користувача з базами даних
ORDER BY -	параметр, який вказує порядок повернення рядків
WHERE -	параметр, який вказує, які рядки слід вибрати
SELECT	оператор мови, який повертає рядки з однієї чи багатьох таблиць

Рис. 6. Тестове завдання на встановлення відповідності для дисципліни «Основи SQL»

Для генерації тестових завдань на відновлення прогалин у тексті необхідно виконати наступну послідовність кроків:

1. на основі екземпляру формуємо випадкове твердження;
2. випадковим чином обираємо компоненту, яку замінюємо «прогалиною»;
3. обрану компоненту переносимо в множину альтернатив;
4. інші альтернативи обираємо з компонент інших екземплярів класу того самого рівня, узгоджених по типу зв'язку $TCNJ(true)$.

На рис. 7 зображено приклад згенерованого тестового завдання типу «на відновлення прогалин у тексті»:

Запитання №30 SELECT -, який повертає рядки з однієї чи багатьох таблиць

(Тип: 1; Стан: Запитання включене)

- параметр
- оператор мови

Рис. 7. Тестове завдання на відновлення прогалин у тексті для дисципліни «Основи SQL»

Запропонована методика дозволяє автоматично генерувати тестові завдання різних типів з достатньою педагогічною цінністю завдяки вибору альтернатив та базових тверджень із певного фрагменту навчального матеріалу, узгоджених за семантичним класом та типом зв'язку.

Висновки

В статті обґрунтовано актуальність досліджень в сфері автоматичної генерації тестових завдань, проаналізовано основні відомі підходи, визначено основні напрями розвитку даної проблематики.

В результаті проведених досліджень встановлено, що запропоновані в [3] структури семантичних класів слугують основою алгоритмів автоматичної генерації тестів різноманітних типів, які на відміну від існуючих володіють більшою варіативністю структури та мають достатню педагогічну цінність. Розроблено програмне забезпечення, що реалізує описані методи та алгоритми та застосовується для проведення тестового контролю.

Література

1. Сергушичева А. П. Метод и алгоритмы автоматизированного построения компьютерных тестов контроля знаний по техническим дисциплинам: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.13.01 / Вологодский государственной технической университет / А. П. Сергушичева. – СПб, 2007. – 18 с.
2. Титенко С. В. Генерація тестових завдань у системі дистанційного навчання на основі моделі формалізації дидактичного тексту [Електронний ресурс] / С. В. Титенко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2009. – № 4. – С. 47– 57. – Режим доступу: <http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/nvkrpi/2009/01.pdf>
3. Мельник А. М. Метод генерації тестових завдань на основі системи семантичних класів / А. М. Мельник, Р. М. Пасічник // Вісник ТДТУ. – 2010. – Том 15. – № 1. – С. 187– 193.
4. Melnyk A., Pasichnyk R. System of semantic classes for test's generation. Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science. Proceedings of the International Conference TSCET'2010. Lviv-Svavske, Ukraine February 23– 27, 2010. – P. 206– 207.

Надійшла 20.9.2010 р.

УДК 621.327

А.С. МОСТАВЛЮК

Хмельницький національний університет

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ПАКЕТУ AWR DESIGN ENVIRONMENT В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

Проаналізовано необхідність застосування сучасних комп'ютерних технологій у навчальному процесі підготовки спеціалістів в галузі електроніки та радіотехніки, а саме при вивченні дисциплін, пов'язаних з освоєнням техніки надвисокочастотного діапазону. Визначено переваги використання програмного середовища Awr Design Environment як альтернативи сучасної віртуальної лабораторії.

Necessity of application of modern computer technologies for educational process of preparation of experts in the field of electronics and a radio engineering is analyzed, namely at studying of the disciplines connected with development technicians of a superhigh-frequency range. Advantages of program Awr Design Environment as alternatives of modern virtual laboratory are defined.

Ключові слова: навчальний процес, програмне середовище, надвисокочастотні пристрої, лабораторний макет.

Вступ

До навчальних планів таких дисциплін, як «Електронні апарати», «Радіотехніка» та ін., входить ряд дисциплін, метою яких є вивчення техніки надвисокочастотного (НВЧ) діапазону. Організація процесу освоєння таких дисциплін має певні труднощі. Сучасна навчальна лабораторія НВЧ техніки вимагає складного обладнання, яке швидко розвивається, та відповідного кваліфікованого обслуговування [1, 2]. Для ефективного навчання необхідно, щоб кожний студент мав можливість самостійно спроектувати, відлагодити і дослідити НВЧ пристрій чи його елемент. А це не завжди є можливим при використанні навчальних макетів, крім того призводить до збільшення тривалості часу навчання.

Постановка задачі

Програмне забезпечення стало невід'ємною частиною як власне самих сучасних засобів радіоелектронної техніки, так і засобів їх розробки та проектування. Підготовка висококваліфікованого спеціаліста повинна передбачати набуття навиків використання та оволодіння програмного забезпечення. Як відомо, виростання ПК створює сучасну альтернативу окремим навчальним макетам, багато існуючих програмних пакетів забезпечують можливість створення віртуальної лабораторії. Серед них є достатньо і для області НВЧ, зокрема це *RF-CHART*, *Touchstone/DOS*, *Libra*, *Sonnet EM*, *CST Microwave Studio*, *Awr Design Environment* [3, 4].

Використання *Awr Design Environment*

Пакет *Awr Design Environment*, який ще називають за однією з складових цього пакету *Microwave Office*, являє собою цілком інтегрований пакет програм, призначений для розробки пристроїв та систем НВЧ. Набір програм включає модуль *VoltaireLS* для лінійного моделювання схем в частотній області, модуль *VoltaireXL* для нелінійного моделювання схем зі значною нелінійністю методом гармонічного балансу та слабо нелінійних схем методом рядів Вольтера, та модуль *EMSight* для тривимірного електромагнітного моделювання багатопланових структур, а також розроблений пізніше модуль *Aristan* для проектування друкованих конструкцій та топології *IC*. Один з останніх продуктів *VSS (Visual System Simulator)* дозволяє виконувати моделювання систем зв'язку на основі бібліотек, що містять більше тисячі пристроїв аналого-цифрової обробки сигналів.

Awr Design Environment забезпечує високу продуктивність та має доступний інтуїтивно зрозумілий інтерфейс. Середовище проектування *AWR-DE* зовні нічим не відрізняється від звичайних *Windows*-програм (рис. 1), що прискорює його освоєння. Цей пакет переводить технологію проектування інтегральних схем на сучасний рівень та дає можливість інженерам моделювати лінійні та нелінійні схеми різної складності одночасно з використанням результатів багатомодового аналізу стану електромагнітного поля окремих частин проекту (ЕМ-аналізу), а також з врахуванням наявності цифро-аналогового функціонального пристрою обробки сигналів.

В даний час пакет *Awr Design Environment* включає одночастотний та багаточастотний методи гармонічного балансу для аналізу нелінійних схем, аналізу схем з малою нелінійністю методом на основі рядів Вольтера, різні методи аналізу шумів, в тому числі і фазових, аналіз стійкості підсилювальних схем, аналіз генераторів.

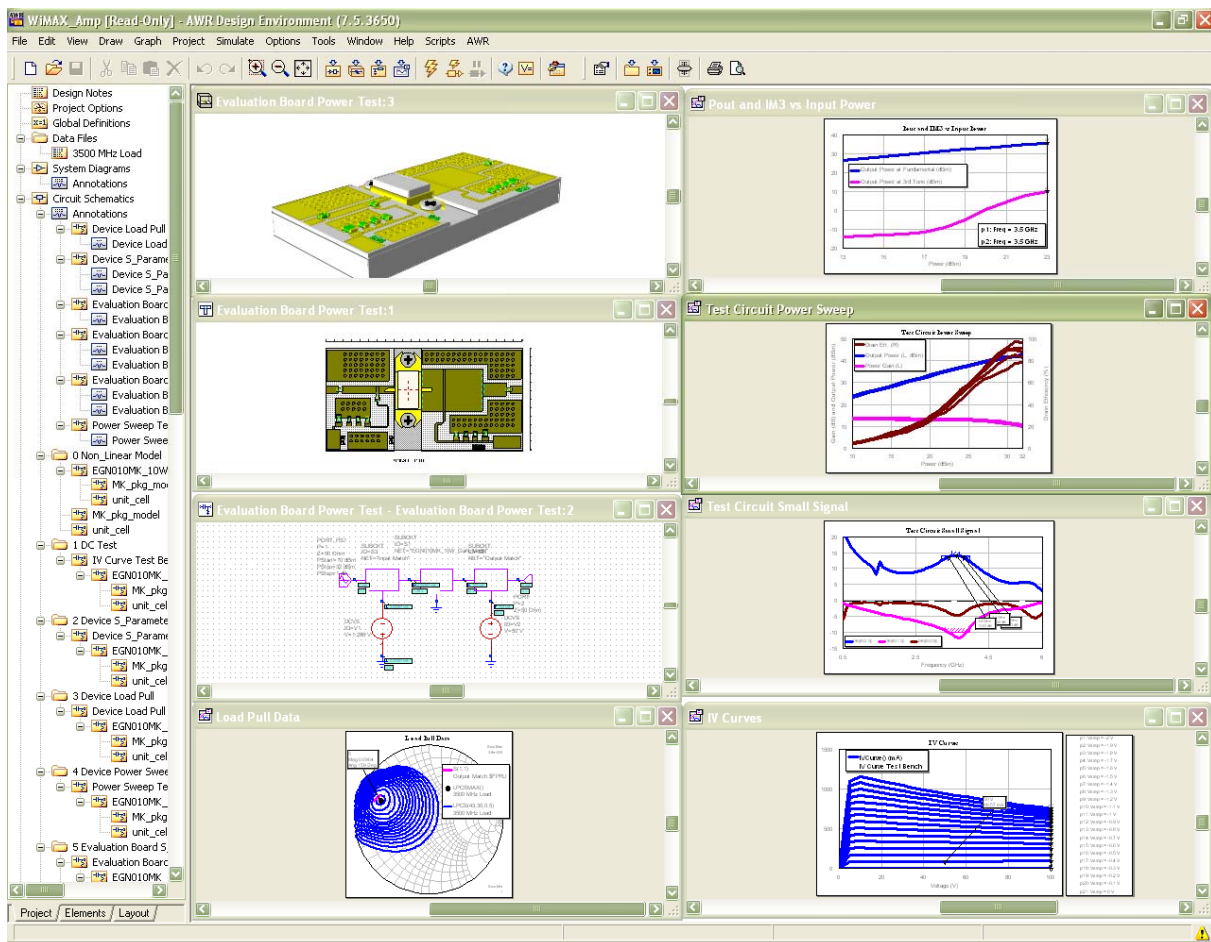


Рис. 1. Вікно середовища проектування *Awr Design Environment*

Багато з можливостей пакету *Awr Design Environment* недоступні в існуючих системах моделювання. Наприклад, метод рядів Вольтера дозволяє збільшити швидкість аналізу в 10–100 разів в

порівнянні з методом гармонічного балансу. Реалізація багаточастотного методу гармонічного балансу, використана в пакеті, є однією з найшвидших в даний час завдяки використанню моделей, спеціально призначених для моделювання НВЧ пристроїв, в сучасній технології моделювання та програмування. Висока швидкість аналізу є також наслідком об'єктно-орієнтованого підходу до програмування.

Для проектування схем є досить велика бібліотека моделей точкових та розподілених, лінійних та нелінійних, ідеальних та неідеальних елементів. Сюди входять полоскові, мікрополоскові і компланарні лінії передачі, а також багато інших розподілених елементів. Є функція пошуку необхідних елементів і моделей в мережі Інтернет, використання моделей від виробників та моделей, побудованих в середовищі *MatLab*. Якщо правильна модель досліджуваного пристрою відсутня або ефект близького розташування елементів зменшує точність моделі, користувачі можуть використати модуль повного електромагнітного аналізу *EM-Sight*. Він включає в себе власне графічний редактор та механізм моделювання, дозволяє провести розрахунок характеристик антен.

Розв'язок електродинамічної задачі в *EM-Sight* ґрунтується на розв'язанні в спектральній області рівнянь Максвелла, сформульованих для трьохмірного пристрою, що знаходиться в прямокутному корпусі, заповненому планарними кусково-ломаними шаровими середовищами. Чотири бокові стінки прямокутного корпусу завжди є ідеально провідними.

Нелінійний аналіз – важлива частина сучасного проектування електричних схем. Можливість розрахувати та керувати такими явищами, як нелінійні спотворення, може суттєво покращити характеристики проєктованої системи. В *AWR-DE* реалізовані два основних методи аналізу нелінійних схем: метод гармонічного балансу та метод рядів Вольтера. Будь-яка схема, що включає нелінійні елементи, потребує нелінійного моделювання. Підпрограма *VoltaireXL* автоматично визначає кращий метод моделювання залежно від необхідних характеристик та від того, чи містить схема нелінійні елементи. Для лінійних та нелінійних схем можуть бути розраховані і лінійні, і нелінійні характеристики.

Коли для нелінійної схеми заданий розрахунок лінійної характеристики, програма вираховує зміщення за постійним струмом, а потім розраховує лінеаризовану схему відносно режиму за постійним струмом. Це дозволяє для лінійних та нелінійних схем задавати аналіз будь-яких лінійних характеристик, включаючи перехідні процеси на автогенераторах. При виконанні лінійного аналізу нелінійної схеми всі джерела сигналів обнуляються, крім джерел постійного струму.

Аналіз нелінійних характеристик не потребує, щоб схема мала нелінійні компоненти. Будь-яку нелінійну характеристику можна розрахувати для лінійної схеми. Коли нелінійна характеристика задана для схеми без нелінійних елементів, використовується більш ефективний лінійний аналіз.

Для аналізу характеристик в *AWR Design Environment* передбачено використання різних типів графіків та діаграм, а також таблиць. Характеристики отримуються перетворенням файлу даних *N*-портової схеми в вектор, котрий може бути виведений на діаграму або графік. Програма *Microwave Office* розраховує і виводить наступні характеристики:

- параметри *S, Y, Z, H, G, ABCD* або всю матрицю;
- максимальний коефіцієнт підсилення, коефіцієнт стійкості і т.д.;
- імпеданси, КСХ та постійні розповсюдження ліній з боку портів;
- резонансні частоти корпусу для *TE* та *TM* типів хвиль;
- полюси та нулі частотної характеристики;
- кола стійкості, рівного коефіцієнту передачі та коефіцієнту шуму, забезпечуючи проектування каскадів та узгоджуючи ланки за допомогою діаграм Сміта.

Характеристики виводяться у вигляді модуля, фази, дійсної або уявної складової, використовуючи логарифмічну або лінійну шкалу. Режим інтерполяції дозволяє показувати згладжені характеристики, розраховані за невеликою вибіркою даних. Можливе зчитування даних безпосередньо з графіка.

Позитивною властивістю *AWR Design Environment* є також досягнення високої швидкості обчислень у режимі реального часу та відсутність видимих затримок процесу моделювання систем. Враховуючи в єдиному представленні електронних пристроїв їх схеми, конструкції та системні функції, *AWR Design Environment* дає можливість розрахувати більшість необхідних частотних, вольтамперних та системних характеристик. Суміщення в єдиній базі даних всього комплексу інформації дає можливість отримати високий рівень адекватності розрахованих характеристик фізичним.

Для обміну з іншими програмами моделювання пакет *Awr Design Environment* має двонаправлені транслятори файлів в форматі *SPICE* і *Touchstone*. Крім того є можливість імпорту та експорту топологій в форматах *Sonnet, AutoCAD* та ін.

Всередині пакету *Microwave Office* інтегрується з *Visual System Simulator*, призначеним для моделювання систем зв'язку на функціональному рівні. При цьому моделі, створені користувачем в *Microwave Office* використовуються на рівні з вбудованими в *VSS. Visual System Simulator* включає велику бібліотеку системних елементів з кількома сотнями компонентів та математичних функцій, а також елементами, що використовуються для моделювання широкополосних систем зв'язку. Моделі включають кодери/декодери, модулятори/демодулятори, цифрові фільтри.

В *VSS* є необхідні компоненти для багатьох стандартів зв'язку, включаючи *IS-95, IEEE 802.11*, безпроводних локальних мереж (*WLAN*), системи зі збільшеною швидкістю передачі даних *EDGE*, системи зв'язку *GSM* та системи третього покоління (*3G*) радіозв'язку цифрових стандартів.

Проектування сучасних систем потребує такого інструменту, коли враховується вплив суміжних блоків, допускається побудова розгалуженої структури, а також виконується косимуляція, тобто аналіз

аналогових та цифрових вузлів в одному процесі проектування. Пакет *VSS* розраховує форми та спектри сигналів, виконує статистичний аналіз методом Монте-Карло, наскрізне моделювання каналу з врахуванням кодування даних в джерелі модуляції, демодуляції, цифрової обробки сигналів, а також враховує специфічні характеристики каналу та наявність завад різних типів. Крім того, програма *VSS* має декілька бібліотек для аналізу систем зв'язку з широкими можливостями обробки та кодування цифрових даних. Програма працює з потоками даних та дозволяє моделювати пристрої з великими швидкостями передачі даних, а також з асинхронними потоками.

Дослідження можливостей пакету *Awr Design Environment*

В межах дослідження можливості використання *Awr-DE* в навчальному процесі був проведений порівняльний аналіз результатів, отриманих із використанням моделей та реальних макетів. Зокрема були досліджені детекторні та підсилювальні ланки в НВЧ діапазоні від 0,9 до 3 Гц (рис. 2). Для ефективного використання моделі діода враховано параметри корпусу детекторної секції. Це здійснено шляхом додавання до схеми заміщення діода Шоткі зосереджених елементів: ємкостей та індуктивностей, які відображають вплив корпусу на роботу діода. Зміщення прикладене до вимірювального діода через резистор $R2$, резистор $R4$ є опором навантаження і виходом детектора. Другий діод та його коло зміщення має ідентичні до вимірювального характеристики. Для досягнення максимальної ідентичності характеристик на постійному струмі необхідно використовувати діоди з однієї партії виготовлення. Напряга на вимірювальному діоді складається з напруги постійного зміщення U_0 та напруги досліджуваного надвисокочастотного сигналу U_f , напруга на другому діоді містить тільки напругу постійного зміщення U_0 . Обидві напруги подаються на диференційний підсилювач, на виході якого маємо тільки напругу U_f , пропорційну потужності надвисокочастотного (НВЧ) сигналу. Досліджено роботу ВДП на частоті 2450 МГц в динамічному діапазоні від 10^{-7} Вт до 10^{-2} Вт (від -40 dBm до 10 dBm). Отримано залежності вихідної напруги від вхідної потужності та залежність чутливості детектора від вхідної потужності (рис. 3 та рис. 4).

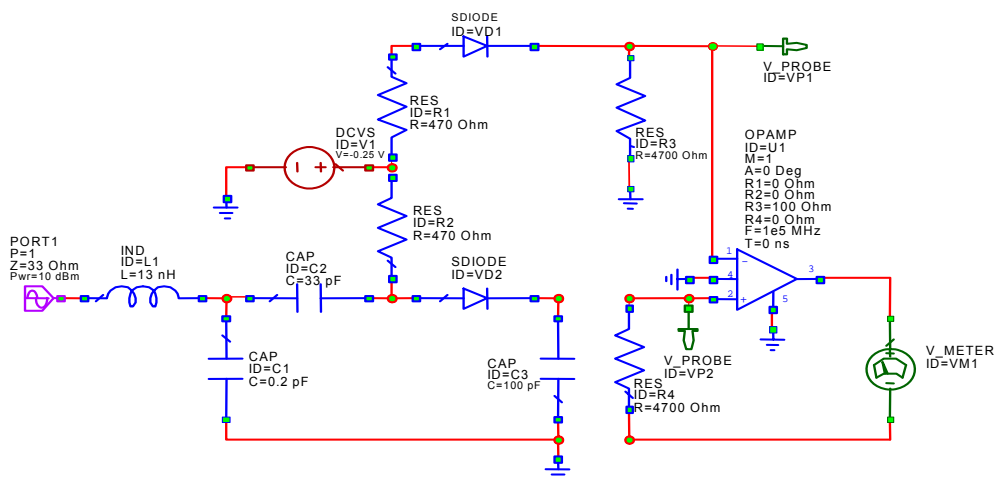


Рис. 2. Принципова схема детекторного підсилювача НВЧ

Отримана розбіжність між результатами практичних та теоретичних досліджень не перевищила 2 %, в ній також є частка недосконалості реального макету. Варто згадати про вартість даного програмного забезпечення, що на сьогодні є дуже важливим критерієм вибору. Завдяки лояльній політиці компанії вартість навчальної версії, яка є повнофункціональною, може знаходитися в межах однієї тисячі доларів.

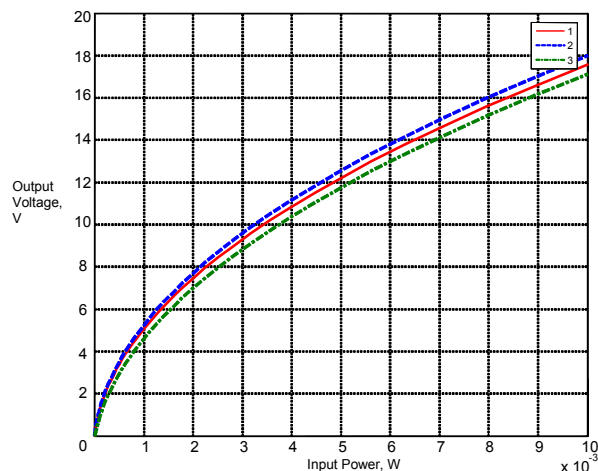


Рис. 3. Залежність вихідної напруги детекторного підсилювача від вхідної потужності

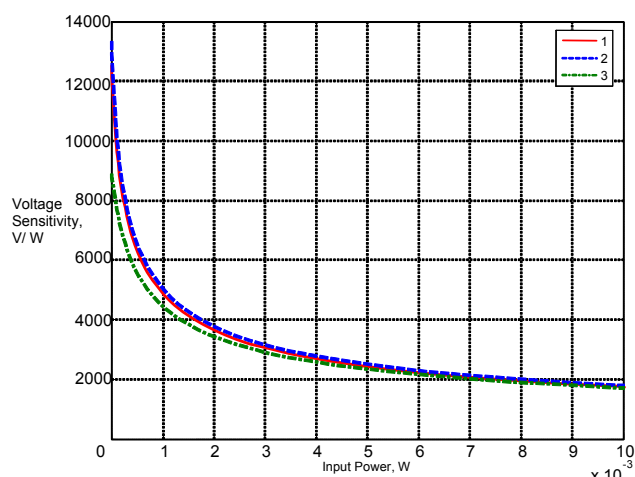


Рис. 4. Залежність чутливості за напругою детекторного підсилювача від вхідної потужності

Висновки

Можливості, які надають сучасні комп'ютери розробникам радіоапаратури, дозволяють говорити не тільки про аналіз, але й про синтез пристроїв НВЧ на електродинамічному рівні. Розвиток та реалізація методів аналізу нелінійних пристроїв призводять до виключення всякого роду спрощень. Розрахунок, моделювання та вимірювання пристроїв НВЧ об'єднуються в єдиний процес і потребують високої кваліфікації спеціаліста.

Сучасний технічний прогрес неухильно веде до ускладнення систем, приладів, комплексів. Тому й така традиційна форма навчання на радіотехнічних факультетах, як лабораторна робота змінює свою форму – від зняття показників приладів до моделювання систем на комп'ютері. Студенти отримують знання, аналогічні знанням отриманим при використанні реальних приладів, використовуючи комп'ютерні моделі.

Використання *Awr Design Environment* в процесі підготовки висококваліфікованих інженерів дає можливість значно підвищити ефективність освоєння НВЧ техніки студентами, а також ознайомлює майбутніх фахівців з потужним інструментом проектування НВЧ систем.

Література

1. Chen L. F. *Microwave Electronics: Measurement and Materials Characterization*/ [Chen L. F., Ong C. K., Neo C. P., Varadan V. V., Varadan V. K.] United Kingdom, John Wiley & Sons Ltd., 2004. – 537ps.
2. Thury J. *Microwaves: Industrial, Scientific and Medical Applications*/ Thury J. – Boston – London, Artech House, 1990. – 669ps.
3. Разевиг В. Д. Проектирование СВЧ устройств с помощью Microwave Office / Разевиг В. Д., Потапов Ю. В., Курушин А. А. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 496 с.
4. Фриск В. В. Основы теории цепей. Использование пакета Microwave Office для моделирования электрических цепей на персональном компьютере / Фриск В. В. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 160 с.

Надійшла 6.9.2010 р.

УДК 004.4

В.І. МЕЖУСЬ

Одеський Національний політехнічний університет

ПРЕДМЕТНО-ОРІЄНТОВАНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ СИСТЕМНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ

У статті розглядаються принципи створення й застосування предметно-орієнтованих моделей різних процесів системної інженерії. Запропонований підхід дозволяє моделювати та організовувати процеси, що відповідають специфіці предметної області (методології, проекту, підприємства, технології та ін.). Застосовність підходу доводиться шляхом його використання для моделювання процесу проектування систем.

The principles of development and application of domain-specific models of different processes of system engineering are considered in the paper. The offered approach allows to model and organise processes which correspond to specificity of a subject domain (methodology, project, enterprise, technology, etc.). Usability of the approach is proven by its application for modelling the process of systems design.

Ключові слова: предметно-орієнтоване моделювання, онтології.

Постановка задачі

В області інформаційних технологій (ІТ) наразі існує множина різних методологій проектування комп'ютерних систем. Наприкінці минулого сторіччя навіть виникло поняття війни методів. Причиною є той факт, що розроблювачі нових методологій системної інженерії свідомо ігнорували загальні підходи, що завжди лежать в основі процесів розробки систем. Саме тому поява нової методології наразі зустрічається із критичними поглядами як з боку теоретичних дослідників, так і практичних розробників в області ІТ.

Останнім часом у системній інженерії виник підхід, який отримав назву комп'ютерно-орієнтованої інженерії методів (англ. Computer Aided Method Engineering, CAME) [1, 2], що можна розглянути за аналогією з комп'ютерно-орієнтованою програмною інженерією (англ. Computer Aided Software Engineering, CASE). CASE полегшує процес розробки програмних систем, CAME здійснює підтримку діяльності інженерів з розробки методів, технологічних процесів, технологій та ін. У той же час, CAME-підхід оснований на ситуативній інженерії методів (англ. Situational Method Engineering, SME) [3], головною метою якої є розробка специфічних для проекту методологій.

Але зазначимо, що визначення методології ще недостатньо для її практичного застосування у процесі розробки систем. Для досягнення мети необхідно організувати процес, що відповідає принципам даної методології. Саме тому актуальними є задачі визначення методів моделювання процесів, що відповідають методологіям предметної області (Про), а також способів організації діяльності, що відповідає структурі даних процесів.

Запропонований у статті підхід оснований на методології предметно-орієнтованого моделювання

(англ. Domain Specific Modelling, DSM) [4]. Ідея полягає у розширенні DSM шляхом надання користувачу можливості створювати не лише статичні структурні моделі ПрО, але і моделі процесів ПрО, які дозволяють організовувати відповідну діяльність.

Особливістю та перевагою DSM є розробка моделей не в технічних термінах даних й алгоритмів, а в змістовних поняттях предметної області. Ці моделі породжуються з так званої метамоделі, що, власне, слугує предметно-орієнтованою мовою (англ. *Domain Specific Language, DSL*) [5] для розробки моделей ПрО. Однак відмітимо, що методологія DSM призначена, головним чином, для розробки програмних систем, у той час як ми не обмежуємо область застосовності нашого підходу.

У статті [6] нами була розглянута концептуальна метамодель (онтологія), що дозволяє будувати статичні моделі властивостей та структури різних ПрО. Предметом розгляду в даній статті є метамоделі, що можуть бути використані для породження та застосування моделей процесів ПрО (моделювання, проектування, стандартизація та ін.). Якщо онтологічна метамодель будувалася на основі математичної теорії графів, метамодель процесів пропонується створити на базі теорії кінцевих автоматів. Іншими словами, сутність запропонованого у статті підходу полягає в побудові моделі процесу системної інженерії на основі кінцевого автомата, де умови визначають порядок переходу станів у процесі розробки системи.

Зазначимо, що використання математичних теорій як основи для побудови метамоделей дозволяє визначити наш підхід як предметно-орієнтоване математичне моделювання (англ. *Domain Specific Mathematical Modelling, DSMM*).

Запропонований підхід був практично реалізований у *web*-орієнтованому інструменті, названому нами *OpenCookbook* [6]. Застосовність DSMM у даній статті доводиться на прикладі моделювання процесу проектування систем.

Визначення поняття методології та моделі процесу

Методологія визначається нами як упорядкований набір методів, які можуть бути застосовані до моделі предметної області з метою розв'язання виникаючих у ПрО задач. У даній статті ми будемо робити акцент на розгляді методологій проектування систем.

Помітимо, що більшість методологій проектування систем є слабко або ж взагалі не формалізованими. Наприклад, об'єктно-орієнтована методологія (ООМ), описана у відомій книзі [7], взагалі кажучи, є множиною текстових рекомендацій, що досить далекі від формальної техніки проектування систем.

У той же час відзначимо: щоб організувати відповідний методології процес, її принципи повинні бути не лише ясно зрозумілі, але і формалізовані. Саме тому є необхідним формальне визначення моделі процесу, що відповідає певній методології системної інженерії.

Грунтуючись на визначенні метамоделі моделі ПрО як графа [6], методологія може бути визначена як множина методів обробки й перетворення графів моделей ПрО.

Побудована в такий спосіб методологія використовувалася нами зокрема для розв'язання задач над моделями, що відбивали структуру програмних систем [8]. У даному підході методологія визначала структуру процесу розв'язання задачі, а саме генерації програмного коду та пошуку мінімального шляху в топології обчислювальних вузлів.

Але зазначимо, що такий підхід може застосовуватися лише у випадку достатньої формалізованості ПрО. Однак, як було зазначено нами вище, існуючі методології системної інженерії (зокрема, проектування, а також стандартизації систем) достатньо далекі від математично точного визначення.

У цьому випадку доцільність запропонованого нами підходу полягає в можливості створення на основі теорії графів візуальної метамоделі (нотації), що дозволяє користувачу задати структуру процесу предметної області у поняттях самої ПрО.

Наступний розділ статті ілюструє даний підхід.

Породження графічних нотацій

У межах системної інженерії наразі існує кілька методологій проектування систем і відповідних їм графічних нотацій: діаграми сутність-зв'язок (англ. *Entity-Relationship Diagrams, ERD*) [9, 10], діаграми функціонального моделювання (англ. *Structured Analysis and Design Technique, SADT*) [11], діаграми потоків даних (англ. *Data-Flows Diagrams, DFD*) [12], ООМ [7] з нотацією UML (*Unified Modelling Language*) [13] та ін.

Зазначимо, що використання методології проектування систем іноді зводиться лише до застосування відповідної графічної нотації у деякому CASE інструменті. Перевагою запропонованого нами підходу є те, що користувач може визначити власну графічну нотацію (графічну метамодель), що відповідає специфіці ПрО.

Практично кажучи, всі існуючі у системній інженерії графічні нотації можуть бути визначені на основі графів. Це є результатом того факту, що граф дозволяє здійснити декомпозицію ПрО найбільш звичним для людини способом, а саме – в об'єкти (вершини графу) та їх залежності (ребра графу). Іншим аспектом є можливість атрибутизації ребер графа, виділення ієрархічних деревоподібних структур у графі та ін.

Зокрема, ERD нотація один до одного відповідає основаній на теорії графів метамоделі. В ERD сутність має множинну атрибутив, що включають також її унікальне ім'я (ідентифікатор). Залежність визначається як відношення або асоціація між окремими сутностями ERD.

Для породження ERD нотації ми повинні визначити ERD-сутність як вершину графа, а ERD-відношення – як ребро графа (що власне і є метамоделлю ERD). На етапі моделювання визначаються

специфічні для ПрО атрибути сутностей. Для графічного позначення вершин і ребер *ER*-діаграм використовується бібліотека графічних символів.

Зазначимо, що *ER*-діаграми застосовуються в основному для проектування баз даних [9; 10]. *DSMM* підхід може бути використаний у контексті найбільш застосовної наразі в теорії і практиці проектування систем об'єктно-орієнтованої методології.

ER-діаграми також використовуються в контексті *OOM*, однак найбільш популярною є *UML* нотація [13], що має 14 типів діаграм (як для *UML v.2.3*). Всі ці типи *UML* діаграм можуть бути породжені у процесі *DSMM*. Причиною є той факт, що *OOM* розглядає ПрО (або майбутню систему) також як множину взаємозалежних об'єктів. Об'єкт визначається як частина дійсності, що має певні властивості, які можуть бути зафіксовані атрибутами.

Взагалі кажучи, відмінності *UML* діаграм полягають лише в графічних позначеннях та специфічних для ПрО атрибутах вершин і ребер графа.

Наведемо, як приклад, *UML* діаграму класів (рис. 1):

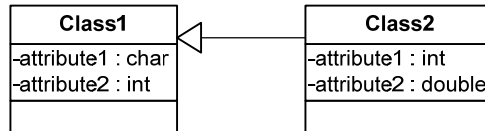


Рис. 1. Приклад *UML* діаграми класів

Але зазначмо, що для організації процесу системної інженерії недостатньо відтворити існуючу графічну нотацію (як-то *ERD*, або ж навіть *UML*), чи навіть створити нову візуальну метамодель, що відповідає специфіці ПрО. Саме тому у *DSMM* ми робимо акцент на можливості моделювання та організації відповідного специфіці ПрО процесу. Наступні розділи статті пояснюють цей підхід.

Моделювання процесу розробки системи

У статті [6] нами була визначена концептуальна метамодель (онтологія), що використовувалася з метою проектування систем. Базовими поняттями метамоделі є вимога, специфікація, робочий план, задача розробки, задача тестування, задача валідації, задача верифікації й ін.

Ці поняття мають атрибути й зв'язані відношеннями, тобто теорія графів може бути розглянута як мета-метамодель онтології. При цьому методи теорії графів використовувалися нами для виділення в онтологіях дерев, що відбивають різні аспекти концептуальної моделі майбутньої системи (наприклад, визначення послідовності понять, що слідує від вимоги до опису архітектурного елементу, що повинен втілити цю вимогу в життя).

Але зазначимо, що методи теорії графів є застосовними до вже існуючої онтології – концептуальної моделі майбутньої системи. При цьому відкритим залишається питання організації процесу проектування системи.

Важливим методологічним принципом нашого підходу до проектування систем є вислів: щоб спроекувати правильну систему, система повинна бути спроекувана правильно. Для «правильного проектування» необхідно визначити способи моделювання та управління процесом розробки системи.

Якщо для побудови онтологічної метамоделі майбутньої системи ми використовували теорію графів, то для моделювання процесу розробки ця метамодель повинна бути розширена положеннями теорії кінцевих автоматів. У даному контексті модель процесу розробки системи визначається як кінцевий автомат, який будується шляхом накладення обмежень на переходи між різними етапами проектування системи. Наприклад, етап архітектурного моделювання може мати місце тільки після узгодження всіх специфікацій архітектури системи.

Порядок переходів кінцевого автомату (процесу розробки системи) визначається логічними умовами, покладеними на величини атрибутів екземплярів понять онтології системної інженерії. Наприклад, всі поняття запропонованої онтології мають атрибут статус (*status*) із набором можливих значень «в роботі» («*in work*»), «схвалене» («*approved*»), «не застосовно» («*not applicable*»). Зв'язком між поняттями «вимоги» (*requirement*) і «специфікації» (*specification*) є логічна імплікація:

$$\forall((\text{Requirement.Status} = \text{Approved}) \vee (\text{Requirement.Status} = \text{Not applicable})) \rightarrow \text{Specification.Status} = \text{Approved} \quad (1)$$

Тобто специфікація може бути схвалена, якщо відповідні вимоги були схвалені (або ж незастосовні). Таким чином, перехід до наступного рівня визначення системи (рівня специфікацій) можливий лише після схвалення попереднього (рівня вимог).

Таким чином, логічні умови, що покладені на відношення понять онтології проектування систем, визначають порядок зміни станів системи між різними кроками в її розробці (наприклад, рис. 2). Ці зміни станів і є, власне, процесом системної інженерії.

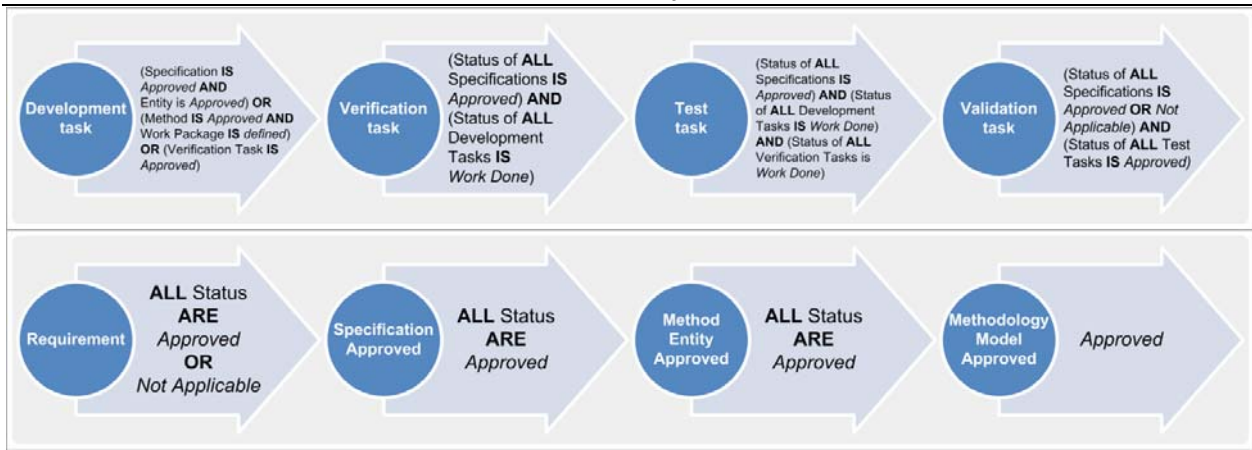


Рис. 2. Переходи станів моделі процесу розробки системи

Інша особливість *DSMM* – зв’язування декларативних умов з певними імперативними діями. Якщо логічна формула є істиною, викликається відповідній умові метод (який, у простішому випадку, встановлює значення атрибута *status* в *approved*). Як відзначалося у статті [6], процес побудови онтологічної моделі майбутньої системи є, власне, створенням екземплярів (інстаціацією) абстрактних понять метамоделі (тобто вимог, специфікацій, архітектурних елементів та ін.). Тому в загальному випадку умови визначають не лише можливі зміни атрибутів понять онтології, але і можливість створення (знищення) екземплярів понять, тобто структуру концептуальної моделі системи.

У загальному випадку модель процесу системної інженерії визначає, як розробити систему правильним способом. На рис. 3 зображені можливі переходи між різними етапами у визначенні системи. Зазначимо, що ці етапи є також поняттями онтології проектування систем (вимога, специфікація та ін.).

Модельовання процесів структурного проектування

Розглянемо застосовність *DSMM* підходу на прикладі модельовання процесів, що відповідають методології структурного проектування.

Діаграми структурного проектування були створені в середині 1960-х, коли Дуглас Т. Росс запропонував спеціальну технологію *SADT* (*Structured Analysis and Design Technique*). Пізніше *SADT* стала основою для методології *IDEF* [14]. Далі в 1981 був створений стандарт *IDEF0* (*Icam DEFinition*) у рамках програми інтеграції комп’ютерних та індустріальних технологій *ICAM* (*Integrated Computer Aided Manufacturing*) [15].

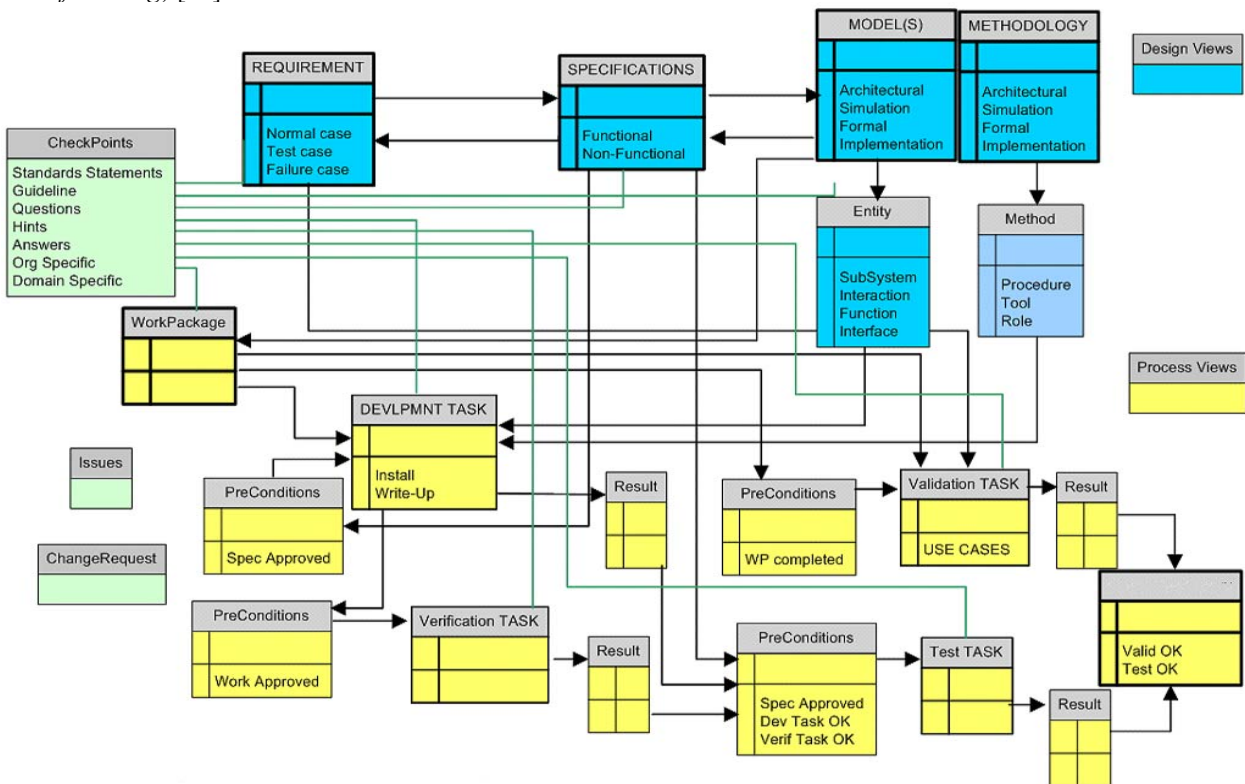


Рис. 3. Переходи між різними станами у визначенні системи

Методологія *IDEF-SADT* включає набір методів, принципів і процедур для розробки функціональних моделей систем у деякій ПрО. Функціональна модель *SADT* відображає структуру процесів

як системи у цілому, так й її окремих підсистем. *IDEF* розглядає систему як множину функцій, які перетворюють вхідні дані у вихідні.

Для моделювання процесів, що відповідні методології *IDEF-SADT*, кожен елемент структурованої у виді графа онтологічної моделі розглядається нами як процес. Процес бере участь (або використовується) у виконанні деякої функції або операції (перетворення, обробки, формування й т.ін.). Функція є логічною композицією операцій (дій), які перетворюють вхід у вихід. Послідовність взаємозалежних входів і виходів функцій становить процес. Функції можуть також генерувати об'єкти будь-якої природи. Взагалі кажучи, функції можуть виконуватися в будь-якій послідовності (наприклад, циклічній).

Порядок виконання функцій залежить від різних умов, як, наприклад, зовнішніх та внутрішніх подій. Саме події викликають виконання функцій, які, у свою чергу, змінюють умови й формують нові події, поки процес не буде завершений. Таким чином, фіксація послідовності подій є одним із способів моделювання та виконання процесу.

Структурний системний аналіз (*SSA*) [16] є методом моделювання систем, що починається з найбільш загального опису з наступною деталізацією окремих аспектів властивостей і поведінки системи.

Обмеження *SSA* стають видимими, коли необхідно деталізувати подання моделі системи, наприклад, крім статичних відношень відтворити поведінку або ж функціонування окремих вузлів системи. З цією метою в межах *SSA* використовуються діаграми потоків даних *DFD*.

Для моделювання майбутньої системи відповідно до структурної методології спочатку треба представити у формі графів найбільш загальні й абстрактні функції моделі системи. Ці графи повинні мати обмежене число вузлів на кожному рівні ієрархії, що відбивають лише найбільш істотні елементи системи.

Специфічною особливістю структурного підходу є декомпозиція системи у функціональні підсистеми. Така декомпозиція ітеративно застосовується до підсистем, поки вони не стають досить простими, щоб бути змодельованими. У цьому випадку модель зберігає цілісність, в якій всі підсистеми (вершини) зв'язані ребрами, що відбивають відношення ПрО. Відмітимо, що при розробці системи знизу нагору, тобто від окремих елементів до цілої системи, її цілісність може бути загублена.

Разом з декомпозицією системи у вершини графа (підсистеми) і ребра графа (функціональні залежності) треба використовувати метод ієрархічного упорядкування. Це означає упорядкування елементів графу моделі системи в деревоподібні структури за певним критерієм, з послідовною деталізацією на кожному рівні ієрархії.

Взагалі система декомпозується у множину підсистем, представлених у формі "чорних ящиків" із множиною входів і виходів. Така декомпозиція з наступною організацією цих підсистем в ієрархічні деревоподібні структури є основним методом структурного моделювання.

Моделювання систем відповідно *SSA* потребує розробки наступних метамodelей з відповідними графічними нотаціями:

- об'єктної структури, що відбиває архітектуру системи;
- функціональної структури, що відбиває дії й взаємодію об'єктів;
- управляючої структури, що відбиває поведінку системи.

Звернемо також увагу на основне розходження між структурною й об'єктною методологією, що полягає в способі поєднання функцій і даних. В *OOM* дані й методи репрезентують єдність (т.зв. принцип інкапсуляції). Однак, структурна й об'єктна методологія не є семантично протилежними й можуть бути об'єднані в єдину методологію за допомогою *DSMM*. Цю задачу ми залишаємо для наших майбутніх досліджень.

Висновки

У статті розглянуті принципи моделювання та організації процесів системної інженерії на основі інформаційної технології предметно-орієнтованого математичного моделювання. Доцільність застосування *DSMM* полягає в теоретичній і практичній можливості створення modelей, що найбільш повно відповідають запитам ПрО (підприємства, проекту, технології та ін.).

DSMM підхід оснований на методології предметно-орієнтованого моделювання (*DSM*). Відмінність полягає у розширенні метамodelей, що дозволяє користувачеві створювати не лише *modelі* ПрО, але і організовувати специфічні для ПрО процеси.

Іншим аспектом *DSMM* є побудова метамodelей на основі математичних теорій та використання їх методів для розв'язання задач над modelями ПрО. Так, теорія графів використовувалася нами для побудови онтологічних modelей ПрО, а різні способи обходу графу визначали структуру розв'язку специфічної для ПрО задачі.

Для побудови modelей процесів розробки систем запропоновано метамodelь, що основана на теорії кінцевих автоматів. У цьому контексті модель процесу проектування майбутньої системи розглядається нами як кінцевий автомат, що визначає порядок переходу станів у процесі розробки системи.

Наші майбутні дослідження будуть присвячені подальшій розробці й формалізації modelей процесів ПрО. Це дозволить розширити класи задач, що можна розв'язати у межах *DSMM*.

Література

1. Ajantha Dahanayake. Computer-Aided Method Engineering: Designing CASE Repositories for the 21st

Century. – IGI Global. – 2001. – 252 p.

2. Ali Niknafs and Raman Ramsin. Computer-Aided Method Engineering: An Analysis of Existing Environments // LNCS. – Springer. – Volume 5074. – 2008. – 525-540 pp.

3. Jolita Ralyte and Sjaak Brinkkemper. Situational Method Engineering: Fundamentals and Experiences: Proceedings of the IFIP WG 8.1 Working Conference, 12-14 September 2007, Geneva, Switzerland. – Springer US. – 380 p.

4. Steven Kelly and Juha-Pekka Tolvanen. Domain-Specific Modeling: Enabling Full Code Generation. Wiley-IEEE Computer Society Pr. – 2008. – 427 p.

5. Richard C. Gronback. Eclipse Modeling Project: A Domain-Specific Language (DSL) Toolkit. Addison-Wesley Professional. – 2009. – 736 p.

6. Vitaliy Mezhujev, Eric Verhulst, and Bernhard H.C. Spath. Interacting Entities Modelling Methodology for Robust Systems Design // Papers of the Second International Conference on Advances in System Testing and Validation Lifecycle. – CPS publishing. – 2010. – 75– 80 pp.

7. Grady Booch, Robert A. Maksimchuk, Michael W. Engel, and Bobbi J. Young. Object-Oriented Analysis and Design with Applications (3rd Edition). – Addison-Wesley Professional. – 2007. – 720 p.

8. Межуев В. И. Предметно-ориентированное моделирование распределенных параллельных приложений реального времени / В. И. Межуев // Системи обробки інформації. – 2010 – Вип. 5 (86). – С. 98 – 103.

9. Sikha Bagui and Richard Earp. Database Design Using Entity-Relationship Diagrams (Foundations of Database Design). Auerbach Publications. – 2003. – 264 p.

10. B. Thalheim. Entity-Relationship Modeling: Foundations of Database Technology. – Springer Berlin Heidelberg. – 2010. – 640 p.

11. David A. Marca and Clement L. McGowan. IDEF0 and SADT: A Modeler's Guide. – OpenProcess, Inc. – 2005. – 392 p.

12. DiCerto J. J. Planning and preparing data-flow diagrams. Hayden Book Co. – 1964. – 90 p.

13. Russ Miles and Kim Hamilton. Learning UML 2.0. – O'Reilly Media. – 2006. – 288 p.

14. <http://www.idef.com/>

15. <http://www.icam.com>

16. Introduction to Methodologies and SSADM [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.comp.glam.ac.uk/pages/staff/tdhutchings/chapter4.html>

Надійшла 18.9.2010 р.

УДК 389.14: 006.15.7

В.Т. КОНДРАТОВ

Институт кибернетики им. В.М. Глушкова НАН Украины

ТЕОРИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ: ПРИМЕНЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОГО РЕГРЕССИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ НАРАБОТКИ НА МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ОТКАЗ

В статье впервые показана возможность использования нелинейного регрессионного анализа в теории метрологической надежности. Приведены основные понятия и определения, связанные с нелинейным регрессионным анализом.

In the article possibility of the use of nonlinear regressive analysis is first rotined in the theory of metrology reliability. Basic concepts and determinations, related to the nonlinear regressive analysis, are resulted.

Ключевые слова: надежность, метрология, регрессионный анализ.

Введение

Задача определения значения прогнозного времени наработки на метрологический отказ (МО) была, есть и остается актуальной до тех пор, пока не будут синтезированы вероятностно-физические модели (ВФ-модели) МО для всех типов средств измерений (СИ).

Решение указанной задачи стало возможным благодаря разработке правил синтеза гибких многопараметровых функций распределения (ФР) нормируемых погрешностей в течение времени наработки на МО [1]. Они обуславливают синтез ФР с независимым параметром масштаба и связью его со значениями погрешностей, полученных при аттестации СИ или ввода его в эксплуатацию. Свойства и особенности некоторых ФР описаны в работах [1– 10].

За 2007– 2009 гг. нами синтезировано три вида ФР, характеризующих взаимосвязь метрологических характеристик (МХ), в частности, нормируемых погрешностей, с таким параметром метрологической надежности (МН), как время наработки СИ на МО. Однако эти ФР пока не привязаны к СИ соответствующего типа.

В 2009– 2010 гг. удалось решить метрологическую задачу применения регрессионного анализа для динамического прогнозирования и определения времени наработки на МО и разобраться в тонкостях

использования нелинейного регрессионного анализа для решения этой задачи. Были разработаны методы прогнозирования и определения времени наработки на МО, времени проведения первой поверки и текущего значения коэффициента метрологического запаса. Поданы соответствующие документы на выдачу патентов Украины, которые были получены уже к 09.05.2010 г [11– 13].

В настоящей статье описаны результаты научных исследований по использованию регрессионного анализа для решения задач метрологической надежности СИ.

Объект исследований – процесс регрессионного анализа случайных величин.

Предмет исследований – применение регрессионного анализа для прогнозирования и определения времени наработки СИ на МО.

Целью работы является ознакомление ученых и специалистов с возможностями применения регрессионного анализа для решения задач прогнозирования и определения времени наработки СИ на МО, а также с сущностью предложенного нами *T*-метода динамической нелинейной регрессии.

Результаты исследований

Регрессионный анализ в теории метрологической надежности: сущность и цели

Анализом¹ называют логический прием определения того или иного понятия, путем разложения его по признакам на составные части таким образом, чтобы сделать познание его ясным и в полном объеме. Акт анализа называют анализированием, а способ проведения анализа – аналитическим методом [14].

При доказательствах, опирающихся на ряд умозаключений, в особенности при развитии или постановке какой-либо научной теории, выражение «анализ» имеет несколько иной смысл: оно означает, что доказательства идут регрессивно, от условного к обуславливающему [14], т.е. от выбранной ВФ-модели МО с прогнозными значениями параметров ФР к причинам (погрешностям) их обуславливающим.

Утверждение 1

Теория нелинейного регрессионного анализа включает в себе (с 2010 года) два научных направления, связанных с использованием статистических вероятностных моделей (В-моделей) и ВФ-моделей МО. Первое направление основано на аппроксимации эмпирически полученных данных (случайных по значению однородных физических величин)² однопараметровой ФР, описывающей В-модель МО СИ. Второе направление основано на приближении многопараметровой ФР к базовой функции того же вида по нескольким, но не всем, параметрам данной ФР, описывающей ВФ-модель МО СИ, т.е. в основу второго направления положено параметрическое приближение ФР.

Утверждение 2

Особенностью нелинейного регрессионного анализа в ТМН является изучение МХ СИ и их связей с параметрами МН СИ, в частности со временем наработки СИ на МО.

В теорию МН вводятся три понятия: «явление МО», «нелинейная регрессия» и «параметрическое приближение функций». Определения данным понятиям приводятся ниже, по тексту.

Явление МО СИ (СИИ) является внешним выражением сущности процессов, протекающих в измерительных каналах (ИК) СИ или в измерительных системах (ИС), в том числе в ИС типа «объект измерений (ОИ) – средство избыточных измерений (СИИ)», как результат проявления каких-либо сил и процессов, действующих на ИК.

Определение 1

Явление МО СИ – это совокупность процессов материально-информационного изменения и преобразования состояния измерительных каналов (ИК) СИ или ИС «ОИ – СИИ», обусловленные действием внешних и внутренних дестабилизирующих факторов.

Определение 2 (расширенное)

Явление МО СИ – это совокупность процессов материально-информационного изменения и преобразования состояния измерительных каналов (ИК) СИ или ИС «ОИ – СИИ», обусловленные действием внешних и внутренних дестабилизирующих факторов и приводящие к закономерным изменениям значений параметров функции преобразования (ФП) ИК, при которых значения критериальных метрологических характеристик (МХ)³ СИ достигают, со временем, граничных значений.

Явление МО формально описывается ВФ-моделью МО СИ, в основу которой положены многопараметровые ФР критериальных метрологических характеристик (МХ) СИ (ФР нормируемых погрешностей или ФР максимальной чувствительности ИК).

Одна из наиболее распространенных трактовок понятия «регрессия» (лат. *Regressio* – движение назад) состоит в следующем: «это процесс, механизм и результат возвращения объекта⁴ в своей эволюции к ранее пройденным этапам, состояниям, формам и способам функционирования» [15, 16].

Поскольку явление МО формально описывается ВФ-моделью МО, то за основу примем следующее определение регрессии.

Определение

Регрессия – это описываемый прогнозной ВФ-моделью процесс возвращения явления МО в своей

¹ Анализ – от греческого «analysis» – разложение, расчленение).

² например, погрешностей результатов многократных измерений образцовой ФВ заданного размера в разные (календарные) моменты времени

³ нормируемых погрешностей или чувствительности СИ

⁴ СИ или измерительной системы (ИС) «объект измерений (ОИ) – средство избыточных измерений (СИИ)»

эволюции к ранее протекавшим (от настоящего к будущему) процессам материально-информационного изменения и преобразования состояния ИК СИ или ИС, последствия которых определяются по результатам проверок их в течение времени до наступления МО.

Исследования гибких ФР показали, что их кривые могут изменять форму в достаточно широких пределах при изменении значений параметра формы. Поэтому ВФ-модели МО СИ, описывающие регрессионные процессы, называются регрессионными моделями.

В современной математической статистике основным методом анализа является регрессионный анализ, который предполагает широкое использование средств вычислительной техники для автоматизации сложных расчетов, связанных с регрессиями.

Регрессионный анализ – статистический анализ регрессионной модели, т.е. такой модели, в которой зависимая переменная (отклик) является случайной величиной, а независимые переменные (факторы (предикторы)) являются детерминированными величинами [17].

При любом анализе явления МО, в том числе и регрессионном, используется элементарный и причинный анализ. Первый разлагает явление МО на отдельные его части без учета тех отношений, в которых находятся эти части друг к другу и к целому. Причинный анализ дифференцирует явление МО с учетом его причинных отношений.

При анализе МО учитывается, что у СИ, эксплуатируемого в условиях, отличных от нормальных, нарушаются его естественные связи с окружающей средой, что приводит, в конечном счете, к изменению МХ, характеризующих «бытие» СИ.

Различают линейный и нелинейный регрессионный анализ. Один из недостатков линейного регрессионного анализа состоит в том, что он может быть применен только к линейным ФР. Нелинейный регрессионный анализ находится еще в стадии развития.

Нелинейный регрессионный анализ¹ – статистический метод исследования уравнения нелинейной регрессии², связывающий между собой критериальную МХ СИ, например $\xi_x(t_x, T_{но}, k_{ф}, \xi_{x0}, S_{\xi})$, и параметры (регрессоры) $T_{но}, k_{ф}, \xi_{x0}$ и S_{ξ} ВФ-модели МО.

Регрессионный анализ ставит своей целью [18]:

1. Определение степени детерминированности вариации критериальной (зависимой) переменной параметрами или предикторами (независимыми переменными).

2. Прогнозирование (предсказание) значений зависимой переменной $\xi_x(t_x, T_{но}, k_{ф}, \xi_{x0}, S_{\xi})$ с помощью независимых переменных (параметров – регрессоров) $T_{но}, k_{ф}, \xi_{x0}$ и S_{ξ} .

Определение вклада отдельных параметров (независимых переменных) $T_{но}, k_{ф}, \xi_{x0}$ и S_{ξ} в вариацию зависимой переменной $\xi_x(t_x, T_{но}, k_{ф}, \xi_{x0}, S_{\xi})$.

Нелинейный регрессионный анализ дает ответ на вопрос, насколько точно данный анализ оценивает изменение критериальной ФР $\xi_x(t)$ при вариациях параметров $T_{но}, k_{ф}, \xi_{x0}$ и S_{ξ} . При этом учитывается среднее значение дисперсии функции распределения $\xi_x(t)$ при разных наборах значений $T_{но}, k_{ф}, \xi_{x0}$ и S_{ξ} (фактически речь идет о мере рассеяния зависимой переменной относительно кривой распределения или регрессионной кривой).

Основной недостаток нелинейного регрессионного анализа состоит в том, что его результаты оцениваются с большими затратами времени, чем при линейном регрессионном анализе, особенно в тех случаях, когда приходится оценивать несколько параметров.

Благодаря синтезу и использованию ВФ-моделей МО в теории МН стало возможным рассматривать задачи прогнозирования и определения времени наступления МО СИ как метрологические, связанные с многократными измерениями нормированных по значению (образцовых) физических величин (ФВ) с помощью поверяемого СИ, с определением значений нормируемой погрешности и ее неопределенности (или максимальной чувствительности и ее неопределенности) в моменты времени проведения проверок, прогнозного времени и неопределенности наступления МО и т.д.

Метод динамической нелинейной регрессии

МО СИ наступает в неопределенных динамично развивающихся условиях его использования. Поэтому для решения задач прогнозирования и определения времени наработки на МО был разработан метод динамической нелинейной регрессии, использующий гибкие ВФ-модели МО. Теоретико-экспериментальные исследования гибких ВФ-моделей совместно с МХ СИ обеспечивают получение новых знаний (информации) о возможных состояниях СИ (вероятности МО) и его МН в настоящем и будущем.

В математике при регрессионном анализе используется термин «аппроксимация» – синоним термина «приближение функций». В теории МН корректно использовать понятия «приближение многопараметровых функций распределения» и «параметрическое приближение», поскольку они более четко отражают сущность предложенной совокупности приемов по прогнозированию и определению времени наработки на МО. В чистом виде аппроксимация по ряду точек ($n > 3$) нами не используется, а вид

¹ применительно к метрологии

² уравнения величин или многопараметровой функции распределения

аппроксимирующей функции не меняется.

В основу предложенного метода динамической нелинейной регрессии положена статистическая 3ξ -гипотеза¹ о параметрическом приближении нелинейных ФР по трем характеристическим результатам измерений (трем значениям погрешностей на графическом портрете ВФ-модели МО), при котором достигается приближение не по виду кривой, а по параметру формы, параметру сдвига², реже – по параметру смещения.

Напомним, что гипотеза – это зафиксированная структура мысли, обеспечивающая достижение «прозрачного» соотношения реальности и языка, как средства выражения мышления [19].

Статистическая 3ξ -гипотеза проф. Кондратова

Определение

При установленном виде ВФ-модели, адекватной исследуемому явлению МО СИ, процесс параметрического приближения двух ФР, направленный на прогнозирование и определение значений времени наработки на МО (параметра сдвига), должен осуществляться на основании «принципа трех точек», разновидностью которого является утверждение, что прогнозную кривую необходимо и достаточно проводить через три средних значения нормируемой погрешности ξ_{xi} многократных измерений образцовой физической величины (ФВ), – в моменты времени t_{x0} ввода СИ в эксплуатацию (или присвоения ему класса точности) и в моменты времени последующей (t_{xi+1} -й) и предыдущей (t_{xi}) поверок ($i \geq 3$).

Статистическим критерием данной гипотезы является случайная величина ξ_x (нормированная погрешность измерения образцовой ФВ заданного размера) с плотностью распределения P_ξ , изменяющейся, в общем случае, от поверки к поверке, которая служит для проверки гипотезы и обуславливает целенаправленную вариацию параметров ФР, параметр сдвига которой является искомым (определяемым). Наблюдаемыми (эмпирическими) значениями ξ_{xi} называют те значения критерия, которые вычислены по результатам n -кратных измерений образцовой ФВ заданного размера (при статистически достоверной выборке). Условие $-\xi_{нд} \leq \xi_{xi} \leq +\xi_{нд}$ (где $i = 0, 1, \dots, n$), определяющее область существования значений нормируемой погрешности, называется областью принятия гипотезы.

Спецификой нелинейного регрессионного анализа является невозможность использования известных критериев согласия (Колмогорова, Смирнова, Смирнова-Крамера-Мизеса и других [20, 21]) для оценки степени параметрического приближения ФР, поскольку для них проверочной статистикой является среднеквадратическая разность между двумя ФР.

При решении задач прогнозирования и определения времени наработки на МО используется $\Delta\xi$ -критерий согласия³ проф. Кондратова, согласно которому проверочной статистикой является равенство нулю разности теоретически и практически полученных средних значений погрешности в t_{xi} -е ($i \geq 1$) моменты времени проведения поверки.

$\Delta\xi$ -критерий согласия проф. Кондратова –

$$\Delta\xi_{xTi} = \overline{\xi_{xi}}(t_{xi}) - \xi_{Ti}(t_{xi}) = 0 \pm \Delta\xi,$$

где $\overline{\xi_{xi}}(t_{xi})$ – среднее значение погрешности, полученное в t_{xi} -е моменты времени поверки в результате n -кратных измерений образцовой ФВ с помощью поверяемого СИ; $\xi_{Ti}(t_{xi})$ – среднее значение погрешности, полученное по кривой ФР и соответствующее t_{xi} -му моменту времени поверки СИ; $\pm\Delta\xi$ – допустимая погрешность (неопределенность), характеризует необходимое условие проведения прогнозной кривой ФР через i -ю точку, соответствующую погрешности измерения образцовой ФВ в момент времени t_{xi} .

Необходимым и достаточным условием прогнозирования и определения времени наработки СИ на МО является выполнение $\Delta\xi$ -критерия согласия в моменты времени t_{xi} и t_{xi+1} , соответствующие двум последним поверкам.

Гипотеза о согласии отвергается, если значение практически полученной погрешности находится за пределами области принятия решения, т.е. при $\xi_{xi} > |\pm\xi_{нд}|$ или при $\Delta\xi_{xTi} \neq 0$.

Определение 1

Параметрическое приближение многопараметровых ФР – это итерационный процесс изменения (вариации) нескольких, но не всех, независимых параметров ФР, например, параметра формы и параметра сдвига⁴, осуществляемый по полученным значениям погрешностей ξ_{xi} измерений до выполнения $\Delta\xi$ -критерия согласия.

Определение 2

¹ «(Три кси)-гипотеза» названа в честь автора, ее выдвинувшего.

² Значение параметра сдвига характеризует время наработки СИ на МО.

³ «Дельта кси»-критерий согласия также назван в честь его автора.

⁴ для четырехпараметровых ФР Кондратова – Вейбулла

Параметрическое приближение – это процесс получения новой прогнозной кривой, приближенной к кривой базовой многопараметровой ФР, но с новыми значениями параметров, полученными в моменты времени проведения i -й и $i+1$ -й поверок СИ при условии выполнения $\Delta\xi$ -критерия согласия.

Метод динамической нелинейной регрессии является эффективным методом прогнозирования МО СИ. Он позволяет учитывать влияние независимых переменных на весь итерационный процесс прогнозирования и определения параметров и показателей МН СИ.

Динамические регрессионные ВФ-модели МО – сочетание регрессионных моделей, использующих гибкие многопараметровые ФР, с возможностью использования динамических (пространственно-временных) условий, охватывающих разные тенденции изменения значений нормируемых погрешностей, полосы их неопределенности, доверительной вероятности, временных рамок, допустимых граничных условий и т.д. В результате достигается более адекватная (точная) регрессионная ВФ-модель МО.

Данные модели позволяют учитывать разнонаправленные (динамические) действия внешних дестабилизирующих факторов на СИ, приводящие к старению его функциональных блоков и элементов, и, в конечном счете, к изменению МХ СИ в течение времени его использования, хранения и транспортировки.

Динамические регрессионные модели МО СИ устанавливают взаимосвязи между переменными ФР и допускают возможность исследования метрологических задач («сценариев») вида «что, если ...» [15]. В частности, они позволяют создавать и исследовать такие сценарии, как: «что, если изменить условия эксплуатации СИ?», «что, если их ужесточить?», «что, если уменьшить полосу неопределенности погрешности?», «что, если уменьшить время простоя СИ» и т.д. Генерация полного набора таких альтернативных сценариев может помочь метрологам определить эффективную стратегию создания и эксплуатации высоконадежных СИ.

Метрологи всех стран изучают явление МО СИ. Они установили, что истинные законы изучаемого явления обычно неизвестны или известны с некоторой неопределенностью.

Нахождение этих законов связано с характером изменения МХ СИ в течение всего времени его использования, с выбором ВФ-моделей МО СИ с учетом интегральных и дифференциальных вариационных принципов, изучаемых в физике [22, 23].

Применительно к метрологической задаче прогнозирования и определения времени наработки СИ на МО вариационный принцип можно изложить, следуя [22], следующим образом:

Вариационный принцип

Утверждение

Многие законы физики МО могут быть выведены из утверждения, что при истинном развитии исследуемого процесса старения и наработки СИ на МО определенная характеристическая величина (например, погрешность ξ_x) со временем достигает критического (экстремального) значения по сравнению с ее значениями при некоторых других, более ранних, течений процессов наработки СИ на МО. Для математической формулировки этого утверждения вводятся в рассмотрение гибкие многопараметровые функции плотности распределения погрешностей или, например, текущей чувствительности в течение времени наработки СИ на МО, описывающие данные процессы.

Характерной особенностью ФР является то, что они, путем вариации значений параметров формы и сдвига, при неизменных значениях параметров масштаба и смещения, обеспечивают прогнозирование и определение времени наработки СИ на МО, соответствующему критическому значению характеристической величины ξ_x . Те многопараметровые ФР погрешностей в течение времени наработки СИ на МО с установленными значениями параметров ФР, при которых экстремальное значение погрешности достигается и соответствует критическому времени наступления МО, и выражают истинные законы изучаемого явления. Согласно [22], данное утверждение принимается за исходное и названо нами вариационным началом или вариационным принципом МН.

Признавая универсальность вариационных принципов физики и сущность понятия «регрессия», предложенный нами метод назван « T -методом динамической нелинейной регрессии», по определяемому параметру. Дадим несколько определений этому методу.

Определение 1

T -метод динамической нелинейной регрессии – это теоретико-экспериментальный метод исследования состояния СИ и его ВФ-модели МО по МХ, полученным при вводе СИ в эксплуатацию и его поверках, основанный на возвратно-поступательном параметрическом приближении ВФ-модели, соответствующей виртуальному будущему*¹, к модели настоящего времени (поверок) и от ВФ-модели, соответствующей текущей поверки в настоящем времени, к реальной модели наработки на МО в будущем.

Определение 2

T -метод динамической регрессии – это совокупность приемов возвратно-поступательного приближения значений параметров формы и сдвига динамической ВФ-модели, характеризующей явление МО СИ, к соответствующим значениям параметров формы и сдвига базовой ВФ-модели, а также приемов оценки достоверности и точности прогнозирования и определения времени наработки на МО по соответствующим уравнениям измерений и уравнениям погрешностей.

Определение 3

¹ т.е. значению прогнозного времени наработки СИ на МО

T-метод динамической регрессии – это совокупность приемов возвратно-поступательного приближения к кривой базовой многопараметровой ФР, являющейся ВФ-моделью МО, кривой новой прогнозной ФР с тем же значениями параметров масштаба и смещения¹, полученных на момент времени присвоения класса точности и ввода СИ в эксплуатацию (первая точка), но с изменяемыми (варьируемыми) при каждой поверке значениями параметров формы и сдвига, обеспечивающая выполнение условия прохождения данной кривой еще через две точки, соответствующие двум значениям погрешности, полученным по результатам текущих (последующей и предыдущей) поверок СИ, а также оценку достоверности и точности прогнозирования и определения времени наработки на МО по соответствующим уравнениям измерений и уравнениям погрешности.

Определение 4 (расширенное)

T-метод динамической регрессии – это совокупность приемов возвратно-поступательного приближения друг к другу прогнозных кривых многопараметровой ФР установленного аналитического вида с неизменными и одинаковыми значениями параметра масштаба и параметра смещения, установленными на момент времени ввода СИ в эксплуатацию (первая характеристическая точка начала кривых)) и обеспечивающая: 1) прохождение базовой кривой прогнозной ФР через ранее экспериментально полученные значения погрешности (точки прогнозной или регрессионной кривой) до априори установленного значения прогнозного времени наработки на МО (последняя критическая точка); 2) прохождение каждой последующей прогнозной кривой ФР того же вида только через три известные характеристические точки: первую и две последующие соседние точки, соответствующие результатам текущих (предыдущей и последующей) поверок СИ; 3) оценку достоверности и точности прогнозирования времени наработки на МО по соответствующим уравнениям измерений и уравнениям погрешностей.

Определение 5 (усеченное)

T-метод динамической регрессии – это совокупность приемов возвратно-поступательного приближения (от будущего к настоящему и опять к будущему) значений параметра сдвига прогнозной многопараметровой ФР к его критическому прогнозируемому значению, заложенному в базовой ФР того же вида, а также приемов оценки достоверности и точности прогнозирования времени наработки на МО по соответствующим уравнениям измерений и уравнениям погрешностей.

Определение 6

T-метод динамической регрессии – это совокупность приемов возвратно-поступательного приближения к значению параметра сдвига базовой ФР с установленными значениями параметров значения параметра сдвига аналогичной прогнозной ФР с поочередно изменяемыми значениями параметров формы и сдвига до выполнения условия прохождения кривой через три характеристические точки, – фиксированную (базовую), соответствующую значению нормируемой погрешности, полученному при присвоении СИ класса точности или ввода его в эксплуатацию, и две текущие прогнозные точки, соответствующих значениям нормируемой погрешности, полученным по результатам предыдущей и последующей поверок, а также совокупность приемов, обеспечивающая оценку достоверности и точности прогнозирования времени наработки на МО по соответствующим уравнениям измерений и уравнениям погрешностей.

Определение 7

T-метод динамической регрессии – это совокупность приемов возвратно-поступательного приближения (от поверки к поверке) к местоположению вершины² кривой базовой прогнозной ФР вершин последующих кривых прогнозной ФР, за счет вариации значений параметров формы и сдвига и выполнения $\Delta\xi$ -критерия согласия или условия прохождения прогнозных кривых через три точки, соответствующие, с некоторой неопределенностью, значениям погрешности измерения образцовой ФВ, полученным при присвоении СИ класса точности или ввода его в эксплуатацию и по результатам текущих (предыдущей и последующей) поверок, а также приемов оценки достоверности и точности прогнозирования времени наработки на МО по полученным уравнениям измерений и уравнениям погрешностей.

Определение 8 (лаконичное)

T-метод динамической регрессии – это совокупность приемов, направленная на реализацию 3ξ -гипотезы и $\Delta\xi$ -критерия согласия проф. Кондратова, а также приемов оценки достоверности и точности прогнозирования времени наработки на МО по полученным уравнениям измерений и уравнениям погрешностей.

T-метод динамической регрессии включает в себя ряд этапов (шагов) прогнозирования (по числу поверок), представляющие определенные части итерационного процесса разработки прогнозов о МО СИ и их вероятности. Они характеризуются своими задачами, целями и результатами. Деление на этапы (шаги) связано со спецификой описания объекта прогнозирования (СИ) посредством ВФ-модели МО, обоснованностью прогнозов, дискретностью операций сбора данных, особенностями построения ВФ-модели, с оценкой достоверности и точности определения значений их параметров и т.д.

Отметим, что решение задач динамического прогнозирования и определения времени наработки на

¹ Параметр смещения – это погрешность измерения на момент времени ввода СИ в эксплуатацию или присвоения ему класса точности.

² Вершина – экстремальная точка кривой, соответствующей моменту времени МО СИ. Она соответствует точки касания или пересечения кривой ФР с прямой, характеризующей верхнюю или нижнюю границу допустимой погрешности измерения.

МО может быть поручено некоторой экспертной системе (ЭС). На нее могут быть возложены функции накопления, анализа и обработки различных статистических данных поверок, выбора и построения ВФ-модели МО СИ, составление графических портретов и т.д. ЭС может содержать полный спектр самостоятельной интерпретации гипотез, форм изменений погрешностей от поверки к поверке, исследовать сценарии вида “что, если ...” и выполнять другие функции.

Основные операции T-метода динамической нелинейной регрессии

В основу T-метода динамической нелинейной регрессии положено выполнение следующей совокупности операций или приемов:

1. Определение характера изменения МХ СИ при нелинейной ФП ИК в течение времени наработки на МО с целью определения вида ФР по статистическим данным поверок СИ;
2. Выбор адекватной ФР (базовой или статической ВФ-модели МО) нормируемых погрешностей для каждого СИ или для группы однотипных СИ.
3. Данная ВФ-модель создается априори по прошлым, давно полученным результатам многократных поверок СИ в течение времени наработки на МО или по результатам теоретических расчетов.
4. Создание графического портрета ВФ-модели МО СИ путем построение кривой ФР в объединенной системе шкал: со шкалами «вероятность метрологического отказа» и «нормированная погрешность» и отдельных или совмещенных шкал – «интервальной шкалы времени» и «шкалы календарного времени».
5. Измерение не установленных, а реальных интервалов времени Δt_{pi} между поверками с учетом возможных погрешностей их определения;
6. n -кратные измерения нормированной по значению ФВ x_0 определенного размера в установленные моменты t_{xi} времени очередных поверок. Постоянство числа n измерений является важным аспектом статистического анализа данных;
7. Статистическая обработка результатов измерений с целью определения изменения во времени, например, нормируемой погрешности СИ или чувствительности ФП ИК в течение всего времени наработки СИ на МО;
8. Приближение значений параметра сдвига ФР к прогнозному значению при определенных условиях прохождения кривой прогнозной ФР через три характеристические точки, соответствующие дискретным значениям погрешности в моменты времени t_{x0} , t_{xi} и t_{xi+1} поверок СИ.

Здесь речь идет о ФР, как о непрерывной функции с дискретно задаваемыми значениями аргумента. Осуществляется параметрическое приближение прогнозной кривой ФР $\xi_x(t_x, T_{но}, k_{\phi}, S_{\xi}, \xi_{x0})$ с одними значениями параметров к ФР того же вида, но с другими значениями параметров, – прежде всего за счет вариации значений $T_{но}$ и k_{ϕ} . Прогнозная кривая проходит наиболее близко не ко всем полученным дискретным точкам (т.е. значениям погрешностей в моменты времени t_{xi} проведения поверок СИ), а преимущественно только к первой («начальной») и к последующим двум соседним (смежным) точкам кривой, исключая «критическую» точку в момент времени $t_{xn} = T_{но}$.

9. Проверка выполнения $\Delta \xi$ -критерия согласия проф. Кондратова;

10. Принятие решения по изменению и окончательному установлению новых значений параметров формы и/или сдвига (времени наработки на МО) при выполнении $\Delta \xi$ -критерия согласия для обеих последних точек, – обеспечение нулевого или близкого к нему значения разности погрешностей, практически и теоретически полученной при значениях параметров ФР, установленных при предыдущей поверке. Другими словами осуществляется возвратно-поступательное параметрическое приближение функций;

11. определение скорости изменения нормируемой погрешности (или суммарной чувствительности) за межповерочный интервал $\Delta t_{pi} = t_{x(i+1)} - t_{xi}$. Скорость изменения нормируемой погрешности определяется по уравнению измерений:

$$v(t_{x(i+1)}) = (\xi_x(t_{x(i+1)}) - \xi_x(t_{xi})) / (t_{x(i+1)} - t_{xi}).$$

Определение скорости необходимо для изучения динамики процесса старения СИ поверяемой группы до момента времени наступления МО;

1. Определение динамики значений скоростей изменения погрешностей, практически полученных по результатам предыдущей и последующей поверок;
2. Принятие решения по построению новой прогнозной ВФ-модели МО по результатам очередной поверки;
3. Определение времени наработки на МО и его неопределенности по соответствующим уравнениям измерений и уравнениям погрешностей.
4. Оценка достоверности, точности и эффективности прогнозирования и определения времени наработки на МО и других показателей МН СИ.
5. Составление полного графического портрета ВФ-модели МО и документирование полученных данных по результатам поверок.

Составление графического портрета ВФ-модели МО СИ и определение времени проведения первой поверки

Как отмечалось в [24], для решения задач МН паспорт на СИ должен содержать документ, представляющий собой графический портрет регрессионной ВФ-модели МО СИ. В нем должны быть указаны аналитическое выражение и кривые прогнозных ФР, основное и соответствующие каждой поверке, значения параметров ФР, календарное время проведения первой поверки, рекомендации по проведению последующих поверок (с указанием или без указания календарного времени), значения интервалов времени между поверками, вероятность МО с указанием доверительных границ и другая информация.

Допустим, что для прогнозирования и определения времени наработки СИ на МО используется регрессионная ВФ-модели МО на основе ФР Кондратова – Вейбулла. Ее разновидности, свойства и функциональные возможности описаны в работах [1-4].

Время наработки на МО СИ определенного типа и класса точности отсчитывается с момента времени t_{x0} ($\{t_{xi}\}_{при i=0} = \{t_{x0}\}$) начала использования СИ до момента времени t_{x+T} наступления (наработки) МО. Подчеркнем, что t_x – это интервальное время, отсчитываемое от момента времени ввода СИ в эксплуатацию или присвоения ему класса точности.

Если время t_{x+T} – прогнозируемая величина, то разница между значениями времени t_{x+T} и t_{x0} , т.е. $\{T_{ноп}\} = \{t_{x+T}\} - \{t_{x0}\}$, представляет собой прогнозируемое значение времени наработки на МО.

Предположим, что в результате теоретических исследований на этапе проектирования СИ и прогнозирования показателей МН СИ установлены следующие прогнозные значения параметров ФР: параметр сдвига (время наработки на МО) $T_{но} = 30$ лет, параметр формы $k_{\phi} = 6$, параметр масштаба $S_{\xi} = 1,5$. По результатам присвоения класса точности и начала эксплуатации СИ на момент времени t_{x0} экспериментально было получено отрицательное значение нормируемой погрешности измерения образцовой ФВ, т.е. $\xi_{x0} = -0,25 \pm 0,015$ (с равноудаленной полосой неопределенности $\pm \Delta_{\xi} = \pm 0,15$), установлены верхняя и нижняя границы симметричных доверительных интервалов $\pm \xi_{нд} = \pm 1,25$, нормированных для данного СИ, при заданном значении коэффициента метрологического запаса $k_{мз} = 6$ (обычно $1 \leq k_{мз} \leq 10$) и значение интервала времени между поверками $\Delta t_{п} = 2,5$ года.

На рисунке приведен индивидуальный графический портрет ВФ-модели МО некоторого СИ, в основу которого положена кривая, описываемая метрологической многопараметровой ФР Кондратова – Вейбулла с указанными прогнозными значениями параметров.

Дополнительно отмечено значение момента времени $t_x = 26,7$ лет опасного для дальнейшего использования СИ (рис. 1, точка T на шкале интервального времени, заштрихованная область в окрестности точки $R1$ на кривой 1 и точку U на шкале вероятностных значений меры, соответствующая значению погрешности

$\xi_{x0} = -1,1 \pm 0,15$ и вероятности МО $P_{мо} = 0,9 \pm 0,1$).

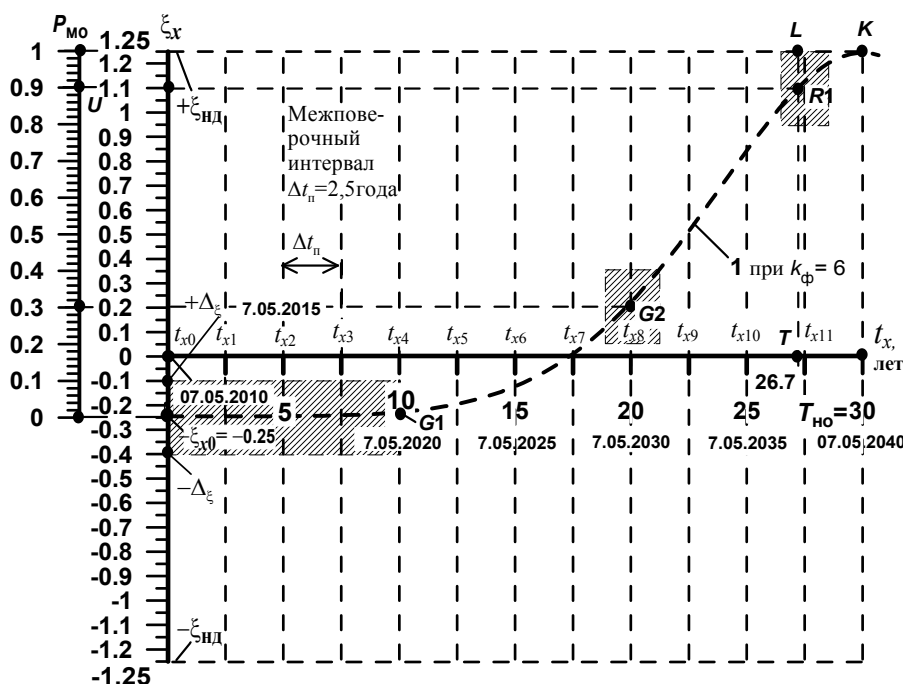


Рис. 1. Графический портрет ВФ-модели МО СИ с использованием ФР Кондратова – Вейбулла

Из приведенной метрологической кривой 1 видно, что в результате получения в момент времени t_{x0} значения погрешности $\xi_{x0} = -0,25 \pm 0,15$ с полосой неопределенности $\pm \Delta_{\xi_0} = \pm 0,15$, МО может наступить уже через 26,7 лет после начала эксплуатации СИ, точнее в интервале времени $\Delta t_{MO} = 30 \text{ лет} - 26,7 \text{ лет} = 3,3 \text{ года}$.

Отметим, что на рисунке приведены все необходимые обозначения в объединенной системе шкал (координат), – со шкалами «вероятность метрологического отказа P_{MO} » и «нормируемая погрешность ξ_x » и отдельными или совмещенными шкалами – «интервальной шкалой времени t_x » и «шкалой календарного времени».

После установления доверительных интервалов $\pm \xi_{нд} = \pm 1,25$ при заданном значении параметра метрологического запаса $k_{M3} = 6$ и определения значения и знака относительной погрешности измерения $\xi_{x0} = -0,25 \pm 0,15$ и одним из известных методов определяется момент времени t_{x1} (при $i = 1$) проведения первой поверки:

$$\{t_{xi}\}_{i=1} = \{t_{x1}\} = \{t_{x(i-1)}\} + \{t_{pi}\}_{\text{при } i=1} = \{t_{x0}\} + \{\Delta t_{п1}\},$$

где $\Delta t_{п1}$ – интервал времени между началом (моментом времени) ввода в эксплуатацию СИ и его первой поверкой.

Различают два подхода к проведению поверок:

1) с равными между собой межповерочными интервалами ($\{\Delta t_{п1}\} = \{\Delta t_{п2}\} = \dots = \{\Delta t_{пи}\} = \dots = \{\Delta t_{пn1}\} = \{\Delta t_{п}\}$), где n_1 – число поверок при первом подходе;

2) с неравными между собой межповерочными интервалами, т.е. при $\{\Delta t_{п1}\} \neq \{\Delta t_{п2}\} \neq \dots \neq \{\Delta t_{пи}\} \neq \dots \neq \{\Delta t_{пn2}\}$, где n_2 – число поверок при втором подходе.

Первый подход используется в тех случаях, когда необходимо определять темп изменения (показатель сравнительной динамики) и скорость изменения нормируемой погрешности. В работе рассматривается первый подход при $\Delta t_{п} = 2,5$ года, хотя целесообразнее использовать межповерочные интервалы, кратные году [24]. Как рекомендуется в [24], поверки целесообразно проводить в одно и то же время года, в один и тот же день и месяц года. Этим учитывается усредненный по году полный природный цикл влияния внешних дестабилизирующих факторов на СИ.

Перед поверителями всегда стоит выбор – сэкономить затраты на поверку или обеспечить высокую точность определения времени наработки на МО и других показателей МН СИ.

Второй подход предусматривает экономию затрат на проведение поверок в целом при разработанных критериях и методов определения первой и последующих поверок. В этом случае устанавливается оптимальное количество поверок $n_2 < n_1$, не снижающих их качество.

Как видно из приведенного выше графического портрета ВФ-модели МО, при указанной прогнозной ФР проведение первой поверки может быть осуществлено не в запланированный момент времени t_{x1} , а, например, в момент времени t_{x4} , т.е. через 10 лет или даже через 20 лет после ввода СИ в эксплуатацию (см. рисунок, точки G1 и G2 на кривой). В первом случае вероятность МО $P_{MO1} \leq 0,1$, а во втором – $P_{MO2} = 0,3 \pm 0,1$ (см. рис. 1, заштрихованные фрагменты полосы неопределенности значений погрешностей).

Предположим, что эксплуатация СИ началась 7.05.2010 года в 12 час. 00 мин. (рис. 1). Следовательно, первая поверка будет осуществлена 7.11.2012 года в 12 час. 00 мин., т.е. через 2,5 года.

Межповерочный интервал времени $\Delta t_{п}$ устанавливается, как правило, с погрешностями:

$$\{\Delta t_{пв}\} = \{\Delta t_{п}\} + \{\Delta t_{пв}\}$$

или

$$\{\Delta t_{пн}\} = \{\Delta t_{п}\} - \{\Delta t_{пн}\},$$

где $\{\Delta t_{пв}\}$ – значение погрешности определения межповерочного интервала времени, характеризующее значение верхней (индекс «в») полуширины полосы неопределенности; $\{\Delta t_{пн}\}$ – значение погрешности, характеризующее нижнее (индекс «н») значение полуширины полосы неопределенности.

Говорить о равенстве значений указанных погрешностей не приходится.

Погрешности измерения времени весьма малы и составляют доли секунды. Запланированное календарное время t_{x1} проведения первой поверки, определяемое в годах или часах, зачастую нарушается по производственным причинам или по халатности поверителей (субъективные составляющие погрешности). Другими словами, поверка может быть проведена позже ($\{t_{xi2}\}_{\text{при } i=1} = \{t_{x12}\} = \{t_{x1}\} + \{\Delta t_{пв}\}$) или раньше ($\{t_{xi1}\}_{\text{при } i=1} = \{t_{x11}\} = \{t_{x1}\} - \{\Delta t_{пн}\}$) запланированного времени, например, до или после майских праздников. В этой связи, под погрешностями $\Delta t_{пв}$ и $\Delta t_{пн}$ будем понимать суммарные погрешности определения интервала времени $\Delta t_{п1}$ до начала проведения первой поверки. В общем случае

они не равны между собой и составляют единицы, десятки и сотни часов или $(0,01-10) \%$ от $\Delta t_{\text{п}}$.

Таким образом, вышеизложенное позволяет сделать вывод о возможности определения времени наработки на МО по результатам нелинейного регрессионного анализа МХ СИ.

Подробное описание T -метода динамической нелинейной регрессии приводится в последующих сообщениях.

Выводы

Теория нелинейного регрессионного анализа включает в себя (с 2010 года) два научных направления, связанных с корректным использованием В-моделей и ВФ-моделей исследуемых явлений или процессов.

Положено начало новому научному направлению в регрессионном анализе, основанному на параметрическом приближении функций распределения нормируемых погрешностей, составляющих основу ВФ-моделей явления метрологического отказа.

Впервые показана возможность использования регрессионного анализа в теории метрологической надежности. Приведены основные понятия и определения, связанные с нелинейным регрессионным анализом.

Сформулирована статистическая 3ξ -гипотеза проф. Кондратова, на основе которой разработан T -метод динамической нелинейной регрессии.

Установлен $\Delta\xi$ -критерий согласия, согласно которому в задачах прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ проверочной статистикой является равенство нулю разности теоретически и практически полученных средних значений погрешности в моменты времени проведения проверок, обеспечивающее проведение прогнозной кривой через три значения погрешностей, полученных в моменты времени t_{x0} , t_{xi} и t_{xi+1} .

Сформулирован вариационный принцип применительно к метрологической задаче прогнозирования и определения времени наработки средства измерения на метрологический отказ, благодаря которому устанавливаются истинные законы изучаемого явления – явления метрологического отказа средства измерений.

Показано, что динамические регрессионные ВФ-модели метрологического отказа представляют собой сочетание возможностей регрессионных моделей, использующих гибкие многопараметровые функции распределения, с возможностью использования динамических (пространственно-временных) условий использования средства измерений, охватывающих разные тенденции изменения значений нормируемых погрешностей и полосы их неопределенности, доверительной вероятности, временных рамок, допустимых граничных условий и т.д.

Динамические регрессионные модели метрологических отказов средств измерений устанавливают взаимосвязи между переменными функции распределения и допускают возможность исследования метрологических задач («сценариев») вида «что, если ...».

Утверждается, что генерация полного набора альтернативных сценариев может помочь метрологам определить эффективную стратегию создания и эксплуатации высоконадежных средств измерений.

В работе представлено восемь определений T -метода динамической регрессии с акцентом на разные его аспекты. Показано, что T -метод динамической регрессии состоит из пятнадцати последовательно выполняемых этапов или шагов.

Утверждается, что решение задач динамического прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ может быть поручено некоторой экспертной системе, на которую могут быть возложены функции накопления, анализа и обработки различных статистических данных проверок, выбора и построения ВФ-моделей метрологических отказов средств измерений, создание графических моделей и т.д.

Впервые приведена совокупность операций или приемов, положенных в основу метода динамической нелинейной регрессии.

Установлены некоторые особенности выбора времени проведения первой поверки.

Работа представляет интерес для метрологов, ученых и аспирантов, изучающих и решающих проблемы и задачи прогнозирования и определения значений параметров и показателей МН СИ.

Литература

1. Кондратов В. Т. Теория метрологической надежности: функция распределения Кондратова – Вейбулла / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2008. – № 3. – С. 101–113.
2. Кондратов В. Т. Теория метрологической надежности: функция распределения Кондратова – Вейбулла и ее основные разновидности / В. Т. Кондратов // Приборостроение: научные труды XI-й Международной научно-технической конференции [«Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики и экономики»]. – М.: МГУ ПИ, 2008. – С. 124–131.
3. Кондратов В. Т. Новая эра развития теории метрологической надежности – функция распределения Кондратова – Вейбулла, ее разновидности, свойства и функциональные возможности / В. Т.

Кондратов // Законодательная и прикладная метрология. – 2009. – № 3. – С. 15– 27.

4. Кондратов В. Т. Расширение функциональных возможностей функции распределения Кондратова-Вейбулла / В. Т. Кондратов // Приборостроение: научные труды XI-й Международной научно-технической конференции [«Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики и экономики»]. – М.: МГУ ПИ, 2008. – С. 138– 145.

5. Кондратов В. Т. Теория метрологической надежности: экспоненциальная функция распределения В.Т. Кондратова и функция распределения Кондратова – Лапласа / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2008. – № 6. – С. 43– 55.

6. Кондратов В. Т. Функции распределения погрешностей в течение времени наработки на метрологический отказ и их свойства / В. Т. Кондратов // Сборник докладов V-й международной научно-технической конференции / [под ред. А. А. Данилова]. – Пенза, 2008. – С. 10– 22.

7. Кондратов В. Т. Теория метрологической надежности: функция распределения Кондратова – Коши / В. Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2007. – № 2. – С. 23– 31.

8. Кондратов В. Т. Функция распределения Кондратова – Коши и ее свойства / В. Т. Кондратов // Приборостроение: научные труды XI-й Международной научно-технической конференции [«Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики и экономики»]. – М.: МГУ ПИ, 2008. – С. 145– 154.

9. Кондратов В. Т. Расширение функциональных возможностей функции распределения Кондратова – Коши / В. Т. Кондратов // Приборостроение: научные труды XI-й Международной научно-технической конференции [«Фундаментальные и прикладные проблемы приборостроения, информатики и экономики»]. – М.: МГУ ПИ, 2008. – С. 154– 160.

10. Кондратов В. Т. Свойства и функциональные возможности экспоненциальных функций распределения нормируемых погрешностей в течение времени наработки на метрологический отказ / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 1. – С. 57– 65.

11. Пат. 90122 С2. Спосіб визначення часу наробітку на метрологічну відмову засобу вимірювання / Кондратов В. Т. – Бюл. № 7, 2010.

12. Пат. 90129 С2. Спосіб визначення калентарного часу проведення першої повірки засобів вимірювання / Кондратов В. Т. – Бюл. № 7, 2010.

13. Пат. 89519 С2. Спосіб визначення коефіцієнта метрологічного запасу та його поточних прогнозних значень / Кондратов В. Т. – Бюл. № 3, 2010.

14. <http://www.wikiznanie.ru/ru-wz/index.php/>

15. [http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title= %D0 %A0 %D0 % B5 %D0 %B3 % D1 % 8 % D0 %B5 %D1 %81 %D1 %8 %](http://www.machinelearning.ru/wiki/index.php?title=%D0%A0%D0%B5%D0%B3%D1%8%D0%B5%D1%81%D1%8).

16. <http://dic.academic.ru/dic.nsf/business/11315>.

17. Живописцев Ф. А. Регрессионный анализ в экспериментальной физике / Ф. А. Живописцев, В. А. Иванов. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 208 с.

18. [http://ru.wikipedia.org/wiki/ %D0 %A0 %D0 %B5 %D0 %B3 %D1 %80 %D0 %B5 %](http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A0%D0%B5%D0%B3%D1%80%D0%B5%)

19. <http://www.eunnet.net/sofia/07-2005/text/0721.html>.

20. Критерий ω^2 Крамера-Мизеса-Смирнова при простой гипотезе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://ami.nstu.ru/~headrd/seminar/ non-parametric/2_1_3.htm](http://ami.nstu.ru/~headrd/seminar/non-parametric/2_1_3.htm)

21. Орлов А.И. О критериях согласия с параметрическим семейством [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.newtech.ru/ ~orlov/krit-sogl.htm](http://www.newtech.ru/~orlov/krit-sogl.htm).

22. Трифонов Е. Д. Вариационные принципы в физике [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.astronet.ru/db/msg/1176656/index.html>.

23. Вариационные принципы механики [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.astronet.ru/db/msg/1172894>

24. Кондратов В. Т. Метроника, вероятностно-физические модели метрологических отказов средств измерений и их графические портреты / В. Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2010. – № 1. – С. 7– 19.

Надійшла 17.9.2010 р.

STABILITY ANALYSIS OF INFRARED CAMERAS IN VIEW OF THEIR APPLICATION IN HEALTH CARE

Наведено застосування техніки теплоспостереження за окремими ділянками людського тіла, де вона стає все більш поширеною. Використання інфрачервоних відеокamer в системі охорони здоров'я, як правило, зосереджено на контролі якості; це найбільш доступний спосіб для визначення різниці температури, а не її точне значення. Оскільки відмінності температури шкіри можуть бути не дуже значимими, тому важливо правильно інтерпретувати теплову карту, отриману в ході випробувань за даними теплоспостережної камери. У зв'язку з великою кількістю інфрачервоних відеокamer наявних на ринку, для порівняльного дослідження необхідно зробити висновок про ефективність цих пристроїв у медичних цілях. Для того, щоб це зробити були відібрані дві відеокamerи і проведений аналіз їх сталої роботи в лабораторних умовах.

The paper presents the application of the thermovision technique in medicine where it becomes more common. The use of infrared cameras in health care is usually focused on quality testing – it is most important to determine the temperature differences rather than the accurate temperature value. Because the differences in skin temperature might not be very significant it is essential to properly interpret the thermal map obtained during the tests with a given thermovision camera. Due to a large number of infrared cameras available on the market a comparative study is needed to conclude about the usefulness of these devices in medical applications. In order to do this two cameras were selected and stability analysis was performed on them in laboratory conditions.

Ключові слова: теплоспостереження, інфрачервона камера

Keywords: thermovision, infrared camera

INTRODUCTION

Thermovision is widely used in many fields of technology – most commonly in mechanical systems where it is applied as a tool to assess thermal performance of machine parts. In this case it is possible to determine which elements dissipate too much heat and, consequently, are likely to operate improperly. Electrical engineering or environment protection are also fields of growing potential use of this technique. Significant area of interest is also the building industry with heat losses being in focus of investigations. An overview of such applications has been given e.g. in [1].

However, infrared technology is also used in medicine. It is a non – contact method of temperature measurement. Moreover, the results are obtained immediately in real time, which is a significant advantage of this technology. In medical applications it is important to determine differences in temperature, which might indicate illness conditions. If small temperature differences occur, a proper interpretation of the results requires the knowledge of the sources of errors, measurement uncertainties and physical fundamentals of the operation of the infrared devices as well as experience in such testings.

There are a lot of infrared cameras on the market and the buyers might be interested in checking whether there is any significant difference in measurement stability between them in view of their use for medical imaging. In order to perform a comparative analysis, two cameras of the same manufacturer were selected – the older model (which will be called in this paper – 1st generation) and the new model (called in this paper – 2nd generation). Naturally, the new model is about two times more expensive and has better parameters, but in this paper only stability analysis will be performed, while the other parameters are intended to be left the same to draw proper conclusions.

OVERVIEW OF THERMOVISION USE IN HEALTH CARE

The infrared technology can be used in medicine. It has been applied in tests for breast cancer and cancers of other organs. This technique enables to detect warmer spots and abnormalities which could then be analysed in detail with different diagnostic techniques.

In sports medicine and rehabilitation, thermovision is useful to determine the level of exhaustion and assessment of rehabilitation effectiveness. Long – term contracted muscle, whose blood vessels are contracted, is colder than the healthy one, which can be detected with an infrared camera. The situation is similar in case of spinal curvature, in which colder areas are located opposite the curvature [2]. Thermography can also be used in knee joints illnesses – Rusch et al [3] proposed a method of dynamic thermography based on a rewarming curve of the skin over the knee joints. By plotting the slope in the logarithmic scale the warming phenomenon in the skin overlying inflamed joints can be determined and further analysed.

Infrared technology is used in surgery and orthopedics to test osteomyelitis, posttraumatic, degeneration and cancerous conditions as well as in the processes of wound and fracture healing [2].

Dental applications can cover, among others, investigations of temperature changes during polymerization of composites thorough measuring infrared emissions from surfaces of resin composite restoration during photocuring [4].

Thermovision method can also be used to detect abnormalities on the skin – for example in bacteria infections, e.g. postoperative *Clostridium perfringens* infection with proximal forearm myonecrosis [5]. In this case it was applied to reveal the full extent of tissue viability in a gas gangrene patient. This technique is also regarded to

be a valuable tool to replace cranial computed tomography (CCT) as a screening method to test shunt function in hydrocephalic patients. It is important, because CCT is associated with radiation and, thus, should not be overused. Thermovision can offer cheap, quick and non – invasive alternative testing. CCT scanning would not be replaced completely, but it seems possible to reduce the number of these investigations [6].

According to [7] infrared measurements seem to be well suited in studies on circulation and metabolism in the hands and feet of diabetes. The tests proved that thermovision revealed abnormalities in the emission patterns from feet and hands for all the investigated diabetic patients. Healthy people showed stronger emissions over the toes' tips and fingers than over the dorsa of feet and hands as opposed to the results in the group of diabetics.

However, thermography should not be regarded as always the best method and needs to be applied wisely. Luk et al [8] compared the reliability of this method with the doppler technique and clinical judgment of the experienced surgeon in the case of the determination of the level of amputation for an ischaemic lower limb. The studied patients had ischaemic lower limbs associated with atherosclerosis, diabetes mellitus or Buerger's disease. The comparison showed that thermography was the least accurate method of those tested. Its application would result in a higher than necessary amputation levels on legs, while the clinical assessment by the surgeon proved to be most accurate in the analysed case.

STABILITY ANALYSIS OF TEMPERATURE READINGS

Temperature determination with the thermovision technique is based on the detection of infrared radiation emitted by every body of temperature above 0 K. The radiation is received by a detector – the most important part of a thermovision camera, and then, after the conversion into a digital signal, is used to calculate temperature values according to the Stefan – Boltzmann law, in which heat flux is a function of emissivity, temperature and a constant. The software of infrared devices also needs to take into account other parameters such as humidity, ambient temperature and temperature of surrounding objects as well as the distance between the observed surface and the camera, because these parameters might influence the temperature readings of the observed object. The operator of a thermovision camera should input their correct values to ensure that the measurements are most accurate.

The infrared measurements are easy in itself, however, there are many sources of errors that might significantly influence the results. The most important one is the incorrect value of emissivity. In laboratory conditions it might be possible to cover e.g. parts of machinery with paints of known emissivity in order to determine their temperature more precisely. Hot objects located nearby can also impact the measurements, especially if the temperature of the observed element is lower than the surroundings. When infrared testing takes place from a considerable distance, atmosphere can influence the readings, because part of the object's radiation can be absorbed. It is particularly important in case of concentrations of carbon dioxide and water vapour in the air [9].

In the experiment two infrared cameras bought from the same manufacturer were used. The first one was equipped with a detector of 240x240 pixels, thermal resolution 0,05– 10 °C and scanning angle 30°x30° (in the next part of this paper called the 1st generation camera) and the other (2nd generation), bought about 2 years later had a detector of 384x288 pixels, maximal thermal resolution 0,08°C at 30°C and the view field of 22°x16°. Naturally, the newer device has better parameters (including smaller measurement error) and more advanced software, but the aim of the project is to compare the stability and reading accuracy of the two (with other parameters kept constant, even the production technology, which should be ensured by testing cameras from the same manufacturer). Similar work has been done at Kielce University of Technology, but the comparison took into account cameras of different producers [10].

The tests were performed on the laboratory stand whose main element was a bakelite plate (part of a vessel) heated by hot liquid from the inside. The outside was kept dry in the air and was open to observation performed by the thermovision cameras. The emissivity of the plate was high, which reduced measurement errors. Figure 1 presents the temperature distributions recorded by the two infrared devices. The temperature of the plate was almost identical in both cases.

As can be seen in Figure 1 temperature is not uniform along the line and changes more significantly for the camera of the second generation. In this case the standard deviation for 55 measurement points was 0,12 °C, while the highest difference between the minimal and maximal readings was 0,46 °C. The first generation camera showed readings of 0,06 °C standard deviation and highest temperature difference of 0,26 °C. In this case temperature was recorded for only 20 points, which results from the fact that the detector of the newer camera is more denser (the measurements were carried out for a similar distance between the experimental stand and the thermovision cameras).

In order to conclude about stability of the cameras it is necessary to consider how temperature changes in time for the same measurement points. Figures 2a and 2b present the temperature distributions recorded for 3 measurements taken shortly after one another.

Generally, the results differ slightly for both cameras – the median of the standard deviation for the 1st generation device was 0,07 °C, while for the 2nd generation 0,12 °C. It is worth noting that this test is more important since in the observation from Figure 1 measurement errors (reflections from the radiation sources located nearby, surface imperfections, random experimental errors) could have contributed to the obtained result, especially that the differences are in the order of magnitude of the thermal resolution.

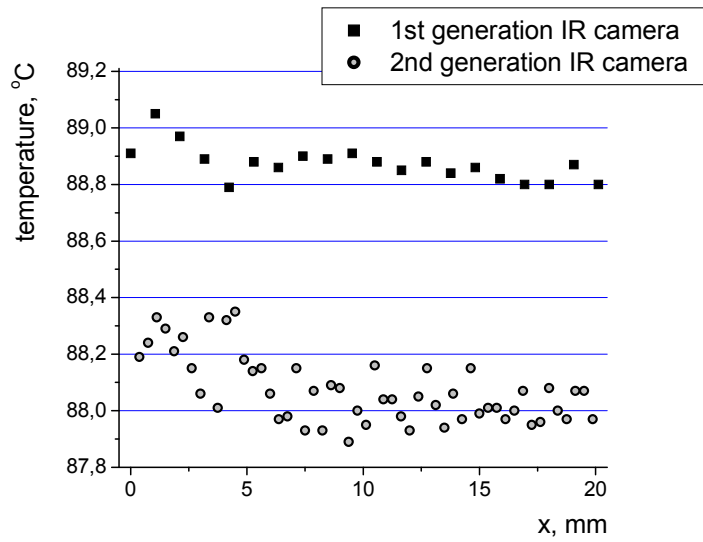


Fig. 1. Temperature distribution along the line for two infrared cameras

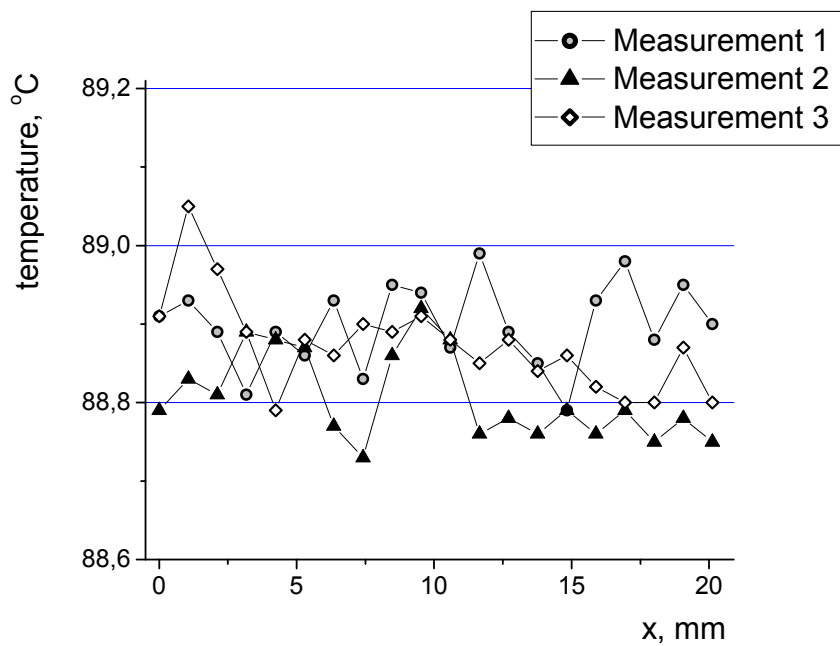


Fig. 2a. Temperature readings for the selected line for 3 consecutive measurements – 1st generation camera

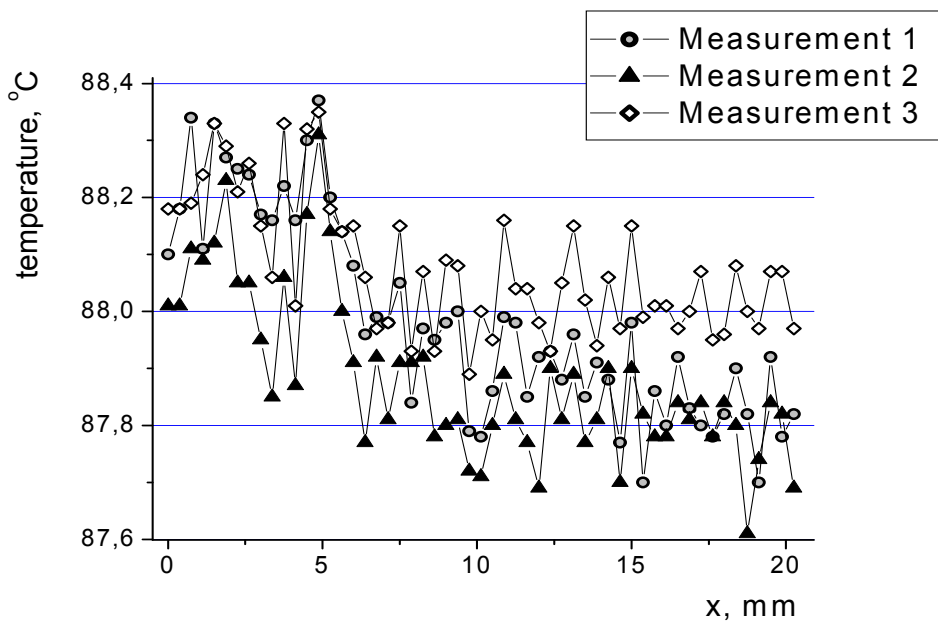


Fig. 2b. Temperature readings for the selected line for 3 consecutive measurements – 2nd generation camera

Further analysis reveals that the most common deviations ranged between 0,04 °C and 0,08 °C for the 1st generation camera and between 0,12 °C and 0,16 °C for the 2nd generation camera, which has been presented in Table 1.

Table 1

Deviation ranges for both cameras in the present test

		Deviation range, °C				
		0– 0,04	0,04– 0,08	0,08– 0,12	0,12– 0,16	0,16– 0,20
Counts, %	1 st generation camera	15,0	50,0	35,0	0	0
	2 nd generation camera	9,1	10,8	31,0	47,3	1,8

Basing on the obtained experimental results, it might be stated that for the analysed infrared cameras from the same manufacturer the 1st generation device performed slightly better than the 2nd generation camera, although the newer device should be more technically advanced in every way. The reason might be the noises of the detector of the 2nd generation device. With the matrix containing more pixels (384x288) it seems to be more challenging to properly design the electronic signal treatment for each pixel. However, the thermal resolution of both the cameras should not exceed about 0,1 °C, so the subtle difference between their deviation ranges is comparable to this resolution.

CONCLUSIONS

Medical applications of thermovision usually require determination of temperature differences rather than accurate values of temperature. The performed stability analysis proved that both tested cameras are able to detect small temperature differences fairly well. The deviations of readings with time were similar for both devices (comparing to the measurement resolution), although a little better for the 1st generation camera. One of the advantages of the second generation is a possibility to obtain more detailed images due to the matrix of 384x288 = 110592 pixels – almost twice more than in the previous generation.

It should be noted, however, that this study was only limited to stability analysis and dealt with cameras from one manufacturer. In order to obtain more information further tests on cameras from other manufacturers might be needed.

Bibliography

- Orman L., Orzechowski T.: Termowizja jako narzędzie do oceny stanu technicznego urządzeń, Proc. of III Polish – Ukrainian Conference „Mechanics and Informatics”, Khmielnicki Technical University, Khmielnicki, s. 39 – 43, 2005.
- Mandura H. (editor), Pomiar termowizyjny w praktyce, Agencja Wydawnicza PAKu, Warszawa, 2004.
- Rusch D., Follmann M., Boss B., Neeck G., Dynamic thermography of the knee joints in rheumatoid arthritis (RA) in the course of the first therapy of the patient with methylprednisolone, Z Rheumatol 59, Suppl 2, II/131– II/135, 2000.
- Hussey D.L., Biagioni P.A., Lamey P.J., Thermographic measurement of temperature change during resin composite polymerization in vivo, Journal of Dentistry, vol. 23, no 5, p. 267 – 171, 1995.
- Saxena A.K., Schleef J, Morcate J.J, Schaarschmidt K., Willital G.H., Thermography of Clostridium perfringens infection in childhood, Pediatr Surg Int 15, p. 75-76, 1999.
- Goetz C., Foertsch D., Schoenberger J., Uhl E., Thermography – a valuable tool to test hydrocephalus shunt patency, Acta Neurochir (Wien) 147, p. 1167– 1173, 2005.
- Brånemark P.I., Fagerberg S.E., Langer L., Säve – Söderbergh, Infrared thermography in diabetes mellitus, a preliminary study, Diabetologia, 3, pp. 529 – 532, 1967.
- Luk K.D.K., Yeung P.S., Leong J.C.Y., Thermography in the determination of amputation levels in ischaemic limbs, International orthopaedics, 10, pp. 79 – 82, 1986.
- Minkina W., Pomiar termowizyjny – przyrządy i metody, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2004.
- Orzechowski T., Zwierzchowska A., Zwierzchowska S., Porównanie możliwości pomiarowych długofalowych kamer termowizyjnych o różnych matrycach, ZN 11, Proc. of Conf. Terotechnology 2008, Kielce – Poland, pp. 221 – 227, 2008.

Надійшла 7.9.2010 р.

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ СТУПЕНЯ РОЗРІЗНЕННЯ ЕХО-СИГНАЛІВ ПРИ РОЗВ'ЯЗАННІ ЗАДАЧ АКТИВНОЇ ТА НАПІВАКТИВНОЇ РАДІОЛОКАЦІЇ НА ОСНОВІ КОРЕЛЯЦІЙНОГО ОЦІНЮВАННЯ КВАДРАТУРНОЇ ФЛУКТУАЦІЙНОЇ СКЛАДОВОЇ

В статті описується метод підвищення ступеня розрізнення радіолокаційних ехо-сигналів на основі оцінювання кореляційних властивостей їх комплексної обвідної з урахуванням амплітудних та кутових флукуаційних складових. В основі розробленого методу покладено алгоритм, який передбачає застосування двох паралельних гілок в схемі детектування – амплітудної та квадратурної, причому на квадратурній виділяється не сам сигнал, а його флукуаційні складові (амплітудна та кутова). За рахунок того, що флукуаційні складові мають випадковий характер, при цьому статистично незалежні між собою, їх комбінація утворює комплексну обвідну з оптимальнішими кореляційними властивостями ніж у комплексної обвідної прямокутного радіоімпульсу.

The article describes a method of increasing the degree distinction radar echo-signals based on an assessment of the correlation properties of the complex envelope of the light fluctuation amplitude and angular components. The basis of the developed method laid algorithm, which provides for two parallel branches in the scheme of detecting – and quadrature amplitude, whereby stands for quadrature signal and not the fluctuation of its parts (and relay). Due to the fact that the fluctuation components have random character, with statistically independent of each other, their combination forms a complex with bypass correlated properties than the complex envelope of rectangular radio pulse.

Ключові слова: радіолокаційні засоби, детектування, роздільна здатність, розрізнення сигналів, амплітудна нестабільність, кутова нестабільність, кореляційна обробка.

Вступ

Аналіз структур сучасних радіолокаційних станцій активного та напівактивного типів показав, що їх прийомопередавачі, незалежно від того цифрова чи аналогова обробка сигналів застосовуються, будуються, як правило [4, 5], за класичною схемою, в якій всі випадкові (флукуаційні) процеси на будь-якому етапі періоду зондування сприймаються однозначно як дестабілізуючі. Відповідно цьому, в структурах та алгоритмах роботи радіолокаційних станцій вживається ряд заходів, направлених на мінімізацію їх впливу. Проте, в роботах [2, 3] автором було показано, що використання флукуаційної складової в зондуючому сигналі шляхом застосування певних узгоджених алгоритмів обробки ехо-сигналів, при реалізації імпульсних методів радіолокації, дає змогу значно підвищити ефективність процесу їх виявлення та розрізнення. Проте, запропонований в цих роботах метод обробки сигналів вимагає застосування двох операцій – визначення форми (часової динаміки) кутової флукуаційної складової в зондуючому сигналі при його формуванні в передавачі та синтез узгодженого цієї форми алгоритму обробки в приймачі. Зважаючи на малий інтервал часу між моментом закінчення випромінювання та моментом початку прийому ехо-сигналів, для реалізації такого підходу необхідно застосовувати швидкодіючі обчислювальні засоби і крім того можливість його реалізації обмежується лише активними імпульсними методами радіолокації.

В даній статті, запропоновано метод обробки радіолокаційних ехо-сигналів з використанням флукуаційної складової в їх комплексній обвідній, що формується внаслідок дії дестабілізуючих факторів у роботі передавача при формуванні зондуючих сигналів, без попереднього дослідження її форми (часової динаміки), що дає змогу реалізувати його в приймачах напівактивних радіолокаційних засобів, а також при застосуванні складних (квазінеперервних) зондуючих сигналів в активних радіолокаційних засобах.

Основна частина

Математична модель зондуючого радіолокаційного сигналу в загальному випадку може бути представлена виразом:

$$u(t) = U(t) \cos(\omega_0 t + \varphi(t) + \varphi_0), \quad (1)$$

де $U(t)$ – модулююча за амплітудою складова зондуючого сигналу, причому в простому випадку це модулюючий імпульс прямокутної форми:

$$U(t) = \begin{cases} U_0, & 0 \leq t \leq \tau_i; \\ 0, & t < 0, t > \tau_i; \end{cases} \quad (2)$$

ω_0, φ_0 – відповідно частота та фаза несучого надвисокочастотного (НВЧ) коливання;

$\varphi(t)$ – кутова модулююча складова зондуючого сигналу (присутня при застосуванні складних зондуючих сигналів).

Таким чином, з урахуванням виразів (1) та (2) і за умови використання зондуючих сигналів без внутрішньої кутової модуляції ($\varphi(t) = 0$) загальна модель зондуючого радіолокаційного сигналу прийме

вигляд:

$$u(t) = \begin{cases} U_0 \cos(\omega_0 t + \varphi_0), & 0 \leq t \leq \tau_i; \\ 0, & t < 0, t > \tau_i. \end{cases} \quad (3)$$

Для прийому саме такої моделі сигналу оптимізуються приймачі радіолокаційних станцій, при цьому можливості по їх розрізненню, а відповідно і можливості радіолокаційного засобу по роздільній здатності визначаються виключно тривалістю та формою модулюючих імпульсів $U(t)$, оскільки база

сигналу $B = \frac{1}{\tau_i} \tau_i = 1$, а форма кореляційної функції зондуючого сигналу визначається їх кореляцією.

Комплексна обвідна такого сигналу визначається як

$$\dot{U}(t) = U(t)e^{j\varphi_0}, \quad (4)$$

а її кореляційна функція з урахуванням (2) буде мати вигляд:

$$B(\tau) = \begin{cases} U_0^2 (\tau_i - |\tau|), & |\tau| \leq \tau_i; \\ 0, & |\tau| > \tau_i. \end{cases} \quad (5)$$

Потенційне розрізнення сигналів з такою кореляційною функцією комплексної обвідної можливе лише у тому випадку (рис. 1), коли вони не перекриваються у часі [4, 5] (на рівні 0,5 основної пелюстки кореляційної функції комплексної обвідної).

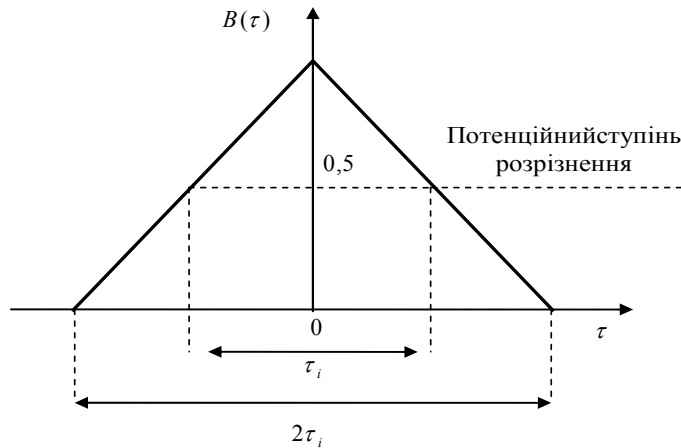


Рис. 1. Кореляційна функція сигналу з прямокутною формою обвідної

Проте, як було показано в роботах [2,3], в наслідок дії ряду дестабілізуючих факторів у передавачі при формуванні зондуючих сигналів [1, 5], математична модель зондуючого сигналу містить ряд флукуаційних амплітудних і кутових складових. При цьому модель сигналу можна записати в наступному вигляді:

$$u(t) = \begin{cases} U'(t) \cos(\omega_0 t + \varphi_0 + \theta(t)), & 0 \leq t \leq \tau_i; \\ 0, & t < 0, t > \tau_i, \end{cases} \quad (4)$$

де $U'(t) = U(t) + \zeta_A(t)$ – модулюючий по амплітуді імпульс з урахуванням амплітудної флукуаційної складової $\zeta_A(t)$;

$\theta(t)$ – кутова флукуаційна складова зондуючого НВЧ сигналу.

Враховуючи випадкову форму флукуаційних складових, реалізувати на їх основі виявлення ехо-сигналів без попереднього аналізу неможливо, оскільки за відсутності апіорної складової в алгоритмі оптимальної обробки її ефективність дорівнює нулю. Тому обробку ехо-сигналів з використанням амплітудної та кутової флукуаційних складових необхідно здійснювати в два етапи:

- 1) виявлення за звичайним алгоритмом;
- 2) розрізнення за квадратурною (амплітудно-кутовою) складовою нестабільності.

На першому етапі, за звичайним алгоритмом (амплітудне детектування) виявляються ехо-сигнали. Момент, коли на виході порогового пристрою формується сигнал, свідчить про наявність ехо-сигналу або суміші декількох ехо-сигналів, а по кореляційній гілці оцінюється їх кількість. Сутність кореляційного оцінювання полягає в тому, що всі ехо-сигнали в суміші за амплітудно-кутовою флукуаційною складовою корелюють між собою, оскільки сформовані одним джерелом, при цьому випадкова форма цієї складової забезпечує низький рівень кореляції (в загальному випадку відсутність кореляції) з іншими завадами та сигналами. Структурна схема приймача, який працює за таким алгоритмом, буде містити квадратурний

детектор і дві окремі гілки обробки ехо-сигналів після детектора – амплітудну і кореляційну (рис. 2).

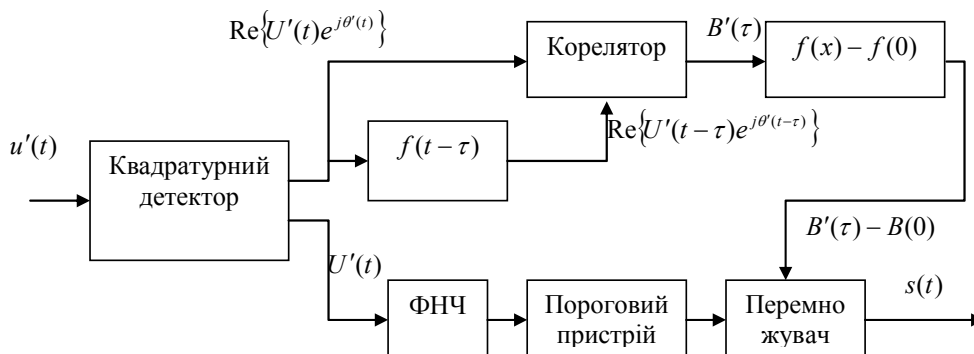


Рис. 2. Структурна схема приймача

За наявності ехо-сигналу тільки від однієї цілі його автокореляційна функція буде містити тільки один пік (за умови шумоподібності флукуаційної складової), який на вході перемножувача компенсується елементом $(f(x) - f(0))$, а відповідно вихідний сигнал $s(t)$ дорівнює нулю. За наявності в суміші двох ехо-сигналів, окрім суми автокореляційних членів кожного із сигналів і завад, будуть присутні два всплески на кореляційній функції, амплітуда яких відповідає рівню взаємкореляції двох ехо-сигналів і т.д.

Математично це можна пояснити наступним чином. Відповідно (4), комплексна обвідна зонduючого сигналу з урахуванням флукуаційних складових може бути виражена виразом:

$$\dot{U}(t) = \begin{cases} U(t)e^{j(\varphi_0 + \theta(t))}, & 0 \leq t \leq \tau_i; \\ 0, & t < 0, t > \tau_i, \end{cases} \quad (5)$$

при цьому, якщо врахувати динамічні в часі складові, вираз (5) можна записати у вигляді:

$$\dot{U}(t) = \begin{cases} U(t)e^{j\theta(t)}, & 0 \leq t \leq \tau_i; \\ 0, & t < 0, t > \tau_i. \end{cases} \quad (6)$$

Кореляційна функція сигналу з комплексною обвідною (6) визначається з виразу:

$$B(\tau) = \int_0^{\tau_i} \dot{U}(t)\dot{U}(t - \tau)dt. \quad (7)$$

Порівнюючи вирази (4) і (6), легко дійти висновку, що кореляційна функція (7) у випадку (6) при $\theta(t) \neq 0$ і (або) $\zeta_A(t) \neq 0$ буде мати оптимальніший вигляд, з точки зору розрізнення сигналів. При цьому, чим більші амплітудні значення цих складових, тим більший вигрaш в розрізненні.

Значний вплив на ширину основної пелюстки та рівень бокових викидів кореляційної функції має форма амплітудної і кутової флукуаційних складових. На рис. 3 наведено приклад зміни кореляційних властивостей радіоімпульсу за наявності тільки кутової складової у формі ламаної лінійної функції (така динаміка кутової складової притаманна радіоімпульсам сформованим імпульсними генераторами НВЧ магнетронного типу).

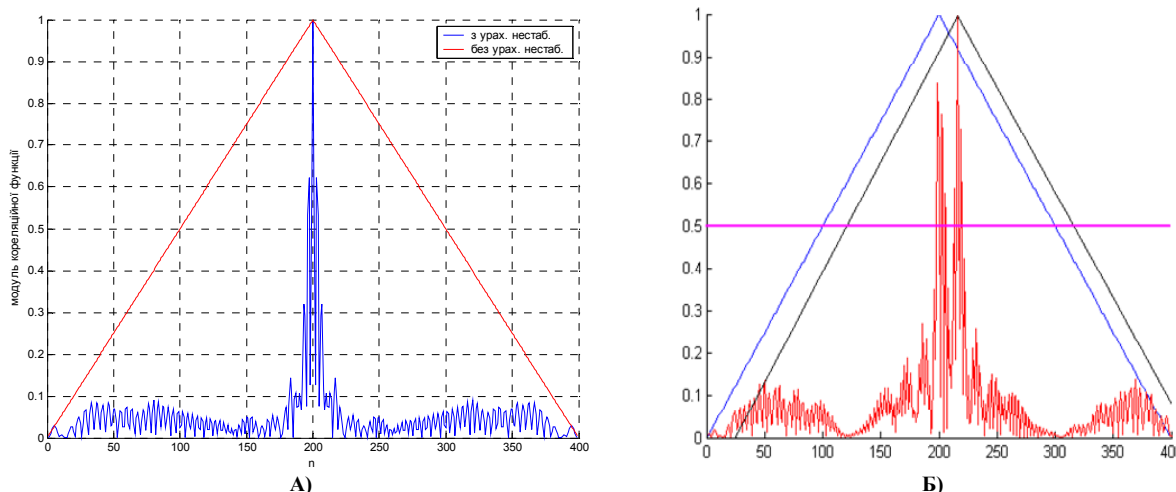


Рис. 3. Зміна форми кореляційної функції імпульсного зонduючого сигналу (а) та порівняльна оцінка ступеня розрізнення сигналів при кореляційній обробці (б)

З рис. 3 видно, що урахування автокореляційних властивостей комплексної обвідної зондуючих сигналів призводить до значного підвищення ступеня їх розрізнення. При різних комбінаціях форм амплітудної та кутової флукуаційних складових може досягатись різний вигравш за розрізненням, навіть при сталих величинах їх амплітуд, а відповідно його величина в різних періодах зондування буде різною, що вимагає застосування статистичних методів для її оцінки.

Висновок

Таким чином, розроблений метод дає змогу без внесення змін в передавач і більш того без попереднього синтезу узгодженого алгоритму в кожному періоді зондування (на відміну від методу наведеного в роботах [1, 2]) досягати значного підвищення ступеня розрізнення ехо-сигналів, а відповідно і роздільної здатності радіолокаційних засобів активного та напівактивного типу. Проте, через виключення з кореляційної функції складової $B(0)$, у випадку прийому одного ехо-сигналу, на виході перемножувача він скомпенсується, відповідно даний метод не може бути використаний самостійно, а тільки як допоміжний засіб до основного алгоритму виявлення та розрізнення.

Література

1. Вамберский М. В. Передающие устройства СВЧ: [учебное пособие для радиотехнических спец. вузов] / Вамберский М. В., Казанцев В. И., Шелухин С. А.; под ред. М. В. Вамберского – М.: Высш. шк., 1984. – 448 с.
2. Чесановський І. І. Обробка радіолокаційних сигналів з урахуванням внутрішньоімпульсних фазочастотних нестабільностей / О. М. Шинкарук, І. І. Чесановський // Зб. наук. пр. Військ. ін-ту Київського нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка. – К.: ВІКНУ, 2009. – Вип. № 17. – С. 89–92.
3. Чесановський І. І. Трансформування функції невизначеності радіосигналів з урахуванням внутрішньоімпульсної фазочастотної нестабільності / І. І. Чесановський // Зб. наук. пр. Нац. акад. Держ. прикордон. служби України ім. Б. Хмельницького. – Хмельницький: НАДПСУ, 2009. – № 50. – С. 58–62.
4. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы: [учебник] / Баскаков С. И. – М.: Высш. школа, 1983. – 536 с.
5. Справочник по радиолокации / [под ред. М. Скольника]. – М.: Сов. радио, 1976. – 456 с.

Надійшла 19.9.2010 р.

УДК 621.391.26

О.М. ШИНКАРУК

Хмельницький національний університет

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ЩОДО ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ГОТОВНОСТІ РАДІОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ У НЕОДНОРІДНИХ ПРОЦЕСАХ

В даній статті розглянуто процедуру перетворення системи диференціальних рівнянь в кінцеві аналітичні функції, що представляють собою моделі готовності радіотехнічних систем у неоднорідних процесах. При цьому показано схему підходу до рішення систем диференціальних рівнянь при використанні нормувальної умови та їх часткового розв'язку при формуванні загального розв'язку лінійного неоднорідного рівняння зі сталими коефіцієнтами

In this article procedure of transformation of the system of differential equalizations is considered in eventual analytical functions which are models of readiness of the radio engineerings systems in heterogeneous processes. The chart of going is thus rotined near the decision of the systems of differential equalizations at the use of condition and them partial decision at forming of general decision of linear heterogeneous equalization with permanent coefficients.

Ключові слова: готовність радіотехнічних систем, неоднорідні процеси, марківська модель, функція готовності, нестационарні ймовірності станів.

Вступ та постановка завдання

Однією з задач теорії та практики експлуатації радіотехнічних систем є виявлення характерних тенденцій процесу зміни їх технічного стану з метою реалізації адаптивних профілактико-відновлювальних заходів, оцінки реального остаточного ресурсу, уповільнення швидкості протікання деградаційних процесів і т.д.. Як правило, будь-яка радіотехнічна система вважається структурно-однорідним об'єктом, і тому в якості методичного апарату побудови математичних моделей готовності може бути використана марківська модель [1, 2] з двома можливими станами, що для загального випадку представлена на рис. 1.

Для технічної системи, граф станів якої представлений на рис.1, функція готовності має наступний вигляд [3, 4]:

$$S(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} \left(1 + \frac{\lambda}{\mu} e^{-(\lambda + \mu)t} \right). \quad (1)$$

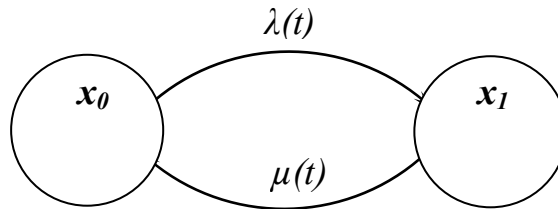


Рис. 1. Граф станів радіотехнічної системи з двома можливими станами

Подібний опис процесу зміни технічного стану радіотехнічних систем є досить узагальненим і не завжди виявляється прийнятним на практиці, що обумовлює необхідність узагальнення подібної моделі на кінцеве число (групу) станів, які пов'язані з відмовами структурних елементів. Потреба в такому узагальненні має місце в двох випадках:

а) коли об'єкт розглядається як система фізично неоднорідних структурних елементів (блоків, вузлів) кожний з яких безумовно необхідний для безвідмовної роботи об'єкта і характеризується індивідуальними показниками λ_i (інтенсивності відмови i -го структурного елемента) і μ_i (інтенсивності відновлення i -го структурного елемента), відмінними від інших елементів;

б) коли об'єкт розглядається як фізично однорідний елемент, але характеризується різними інтенсивностями відмов за видами ремонту (поточний, середній, капітальний) і відповідно різними інтенсивностями відновлення. При цьому процес, що досліджується, може розглядатись як неоднорідний за часом (нестационарний), так і однорідний.

Прикладом першого випадку можуть розглядатись безвідмовні стани блоків і вузлів радіотехнічної системи, прикладом другого випадку можуть розглядатись непрацездатні стани автомобіля, відновлення в результаті виникнення яких можливе шляхом виконання поточного, середнього або капітального ремонтів [5].

Основні результати дослідження

Якщо радіотехнічна система характеризується, окрім працездатного стану n -ю кількістю станів, що переводять її у непрацездатний стан, то отримаємо так званий зоряний граф процесу з $(n+1)$ -и вершинами і $2n$ дугами, що представлений на рис. 2.

Процес, що в графічному вигляді представлений на рис. 2 слід розглядати рівнозначним (рівноймовірним) за станами, що обумовлюють відмову об'єкта. За даним графом ймовірності відповідних станів визначаються з використанням наступної системи диференціальних рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dp_0(t)}{dt} &= -n\lambda p_0(t) + \mu \sum_{i=1}^n p_i(t); \\ \frac{dp_i(t)}{dt} &= \lambda p_0(t) - \mu p_i(t), \quad i = \overline{1, n}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

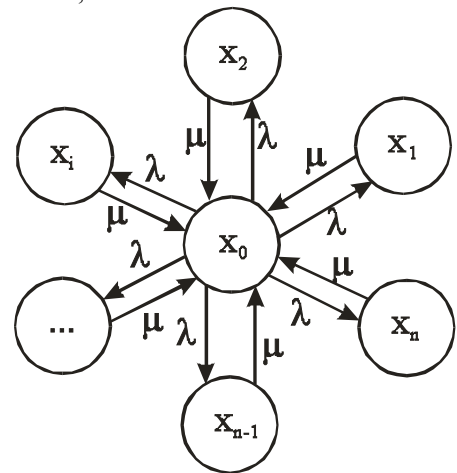
З урахуванням умови нормування $p_0(t) + \sum_{i=1}^n p_i(t) = 1$, вираз (2) прийме наступний вигляд:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dp_0(t)}{dt} &= -(n\lambda + \mu)p_0(t) + \mu; \\ \frac{dp_i(t)}{dt} &= \lambda p_0(t) - \mu p_i(t), \quad i = \overline{1, n}, \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Диференціальне рівняння функції готовності $p_0(t)$ у системі (3) – це лінійне неоднорідне рівняння 1-го порядку. Воно інтегрується одним з методів, які викладені у теорії диференціальних рівнянь: підстановкою, варіацією довільної сталої, застосуванням властивостей розв'язків [6 та ін.]. Оскільки рівняння (3) отримано зі сталим коефіцієнтом при $p_0(t)$, то в даній статті представлено специфічний спосіб вирішення таких рівнянь, сутність якого наочно демонструється у випадку розв'язання рівняння функції готовності 2-го і вищих порядків. З цією метою перше рівняння з виразу (3) перетворимо до наступного вигляду:

$$\frac{dp_0(t)}{dt} + (n\lambda + \mu)p_0(t) = \mu. \quad (4)$$

Тоді рівняння наступного вигляду:

Рис. 2. Граф процесу з одним працездатним і n рівнозначними станами, що обумовлюють відмову об'єкта

$$\frac{dp_0(t)}{dt} + (n\lambda + \mu)p_0(t) = 0, \quad (5)$$

права частина якого дорівнює нулю, представляє собою однорідне лінійне рівняння. Для однорідного рівняння (5) алгебраїчне рівняння:

$$k + n\lambda + \mu = 0 \quad (6)$$

представляє собою характеристичне рівняння, ступінь якого визначається порядком однорідного лінійного диференційного рівняння. У даному випадку вираз (5) має перший порядок, тому вираз (6) є виразом першого ступеня.

При складанні характеристичного рівняння для лінійного однорідного диференційного рівняння зі сталими коефіцієнтами потрібно користуватися простим правилом: похідна n -го порядку замінюється змінною k у n -му ступені, а функція – одиницею. Наприклад, якщо:

$$\frac{d^3 p_0(t)}{dt} + a_1 \frac{d^2 p_0(t)}{dt} + a_2 \frac{dp_0(t)}{dt} + a_3 p_0(t) = 0,$$

то характеристичне рівняння матиме вигляд:

$$k^3 + a_1 k^2 + a_2 k + a_3 = 0.$$

Загальний розв'язок однорідного лінійного диференційного рівняння зі сталими коефіцієнтами залежить від числа коренів характеристичного рівняння, їхнього виду (дійсні чи комплексні) і кратності. Рівняння (6) має один дійсний корінь $k = -(n\lambda + \mu)$, тому його загальним розв'язком є функція:

$$p_0(t)_{\text{одн}} = C e^{-(n\lambda + \mu)t}, \quad (7)$$

де C – довільна стала (параметр інтегрування).

При цьому слід звернути особливу увагу, що вираз (7) – це тільки рішення рівняння (5), але не розв'язок вихідного рівняння (4). Структурна формула загального розв'язку неоднорідного лінійного рівняння з сталими коефіцієнтами (4) виражається рівністю:

$$p_0(t) = p_0(t)_{\text{одн}} + p_0(t)_{\text{част.}}, \quad (8)$$

де $p_0(t)_{\text{част.}}$ – будь-який частковий розв'язок рівняння (4).

Для конкретного рівняння (4) такий частковим розв'язком є функція:

$$p_0(t)_{\text{част.}} = \text{const} = \frac{\mu}{n\lambda + \mu}, \quad (9)$$

яка перетворює рівняння (4) у тотожність:

$$p_0(t) = C e^{-(n\lambda + \mu)t} + \frac{\mu}{n\lambda + \mu}, \quad (10)$$

що є загальним розв'язком диференційного рівняння функції готовності (4).

На декартовій площині Op_0t однопараметричною (C -параметр) функцією (10) визначається незліченна множина інтегральних кривих рівняння (4), якими є характерні тенденції готовності об'єкта, що зміщені паралельно одна відносно іншої вздовж осі ординат. В силу умов $t \geq 0$, $0 \leq p_0(t) \leq 1$ ці характерні тенденції суцільно заповнюють частину площини в першій координатній чверті, яка обмежена ліворуч і знизу координатними осями, зверху прямою $p_0(t)=1$, що паралельна осі Ot , і необмежена праворуч. Для того, щоб на цій множині зробити однозначний вибір, потрібно задати початкову умову процесу – точку на площині Op_0t , через яку умовно має проходити інтегральна крива рівняння (4). У задачах надійності, зазвичай, використовують умову $p_0(0)=1$, з урахуванням якої та використовуючи вираз (10) визначимо:

$$c = \frac{n\lambda}{n\lambda + \mu},$$

що дозволяє представити в аналітичному вигляді функцію готовності СТС в процесі, що розглядається за заданої початкової умови:

$$p_0(t) = \frac{\mu}{n\lambda + \mu} + \frac{n\lambda}{n\lambda + \mu} e^{-(n\lambda + \mu)t}. \quad (11)$$

Підставимо вираз (11) у друге рівняння системи (3) і виконаємо його інтегрування за початковою умовою $p_i(0)=0$, що забезпечує отримання наступного розв'язку:

$$p_i(t) = \frac{\lambda}{n\lambda + \mu} - \frac{\lambda}{n\lambda + \mu} e^{-(n\lambda + \mu)t}. \quad (12)$$

З виразів (11), (12) отримуються коефіцієнт готовності та інші фінальні ймовірності станів, що обумовлюють відмову технічного об'єкту:

$$p_0(t) = \frac{\mu}{n\lambda + \mu}, \quad p_i = \dots = p_n = \frac{\lambda}{n\lambda + \mu} \quad (13)$$

Сумою ймовірностей (12) і фінальних ймовірностей p_i характеризується нестационарна функція простою об'єкта і стаціонарний коефіцієнт простою:

$$\left. \begin{aligned} \bar{p}_0(t) &= \frac{n\lambda}{n\lambda + \mu} - \frac{n\lambda}{n\lambda + \mu} e^{-(n\lambda + \mu)t}, \\ \bar{p}_0(t) &= \frac{n\lambda}{n\lambda + \mu}. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

В даній статті розглянуто процедуру перетворення системи диференційних рівнянь (2) в кінцеві аналітичні функції (11), (12), що представляють собою моделі готовності технічних систем у неоднорідних процесах. При цьому показано схему підходу до розв'язку систем такого ж типу надалі, коли, по-перше, використовується нормувальна умова: $\sum_{i=1}^n p_i(t) = 1$ і, по-друге, використовується частковий розв'язок (9) при формуванні загального розв'язку лінійного неоднорідного рівняння з сталими коефіцієнтами. Зрозуміло, для рівнянь порядку $n \geq 2$ це виходить не настільки очевидно і швидко, але принцип залишається тим же, що показано вище.

Висновки.

Процеси, що протікають в радіотехнічних системах відповідно графу, який представлено на рис. 2, вважаються неоднорідними за часом і станами, що обумовлює збільшення ймовірності відмови всієї системи. Такі процеси слід описувати системою лінійних рівнянь виду (2). Відмінною рисою таких процесів від інших процесів марківського типу є те, що перше рівняння системи містить усі шукані функції $p_i(t)$, $i = 0, n$, а кожне наступне рівняння обов'язкове містить функцію $p_0(t)$ і тільки власну функцію $p_i(t)$, $i \neq 0$. Геометрично ця особливість виражається графіком, який представлений на рис. 2, всі n вершин якого з'єднуються транзитивними (зустрічними) дугами тільки з однією початковою вершиною.

Якщо в системі (2) $\lambda_i(t) = \text{const} = \lambda_i$, $\mu_i(t) = \text{const} = \mu_i$, то процес розглядається як однорідний за часом (стаціонарний) і неоднорідний за станами, що обумовлюють відмову всього технічного об'єкта. При цьому можна знехтувати, чим обумовлена неоднорідність за відмовами: структурною відмінністю елементів об'єкту (і прихованим видом наступного ремонту) чи відмінністю видів ремонту (і прихованою структурною неоднорідністю об'єкта).

На системах виду (2) з числом станів, що обумовлюють відмову об'єкта ($n \geq 2$), потрібно розглядати винятково однорідні за часом і неоднорідні за безвідмовним станом процеси. При цьому акцент зроблений на розробку моделей готовності для нестационарного режиму функціонування виробу. Необхідність у таких моделях пояснюється тим, що значення тільки лише фінальних (при $t \rightarrow \infty$) ймовірностей не рідко виявляються недостатньо інформативними для визначення рівня безвідмовності та довговічності радіотехнічних систем.

Для стаціонарного процесу, неоднорідного за станами, що обумовлюють відмову радіотехнічної системи, задача визначення рівня безвідмовності та довговічності може бути розв'язана застосуванням загального методу інтегрування [7, с.192]. Однак, ілюстрація цього методу в наявній спеціальній літературі на канонічних прикладах істотно далека від реального обсягу неминучих громіздких перетворень і обчислень, які пов'язані з розв'язком задачі вже при $n \geq 2$. Деяких спрощень можна домогтися за рахунок представленої вище нормувальної умови, і це використано в отриманих формулах.

Зазначена вище специфіка рівнянь системи (2) і комбінаторний підхід до розрахунку коефіцієнтів характеристичного рівняння для лінійного диференційного рівняння n -го порядку функції готовності $p_0(t)$ дозволяють значно спростити методіку розрахунку нестационарних ймовірностей станів однорідного за часом процесу для будь-якої кінцевої кількості станів, що збільшують ймовірність відмов радіотехнічних систем.

Література

1. Корольук В. С. Полумарковские процессы и их приложения / В. С. Корольук, А. Ф. Турбин. – К. : Наукова думка, 1976. – 184 с.
2. Корольук В. С. Полумарковские случайные эволюции / В. С. Корольук, А. В. Свищук – К. : Наукова думка, 1992. – 256 с.
3. Шинкарук О. М. Функція готовності відновлювального виробу на моделі лінійно-нестационарного марківського процесу / О. М. Шинкарук, І. В. Гашук, М. М. Каленик // Збірник наукових праць. – Хмельницький : Видавництво Національної академії ПВУ, 2002. – № 20. Ч. II. – С. 62–65.
4. Готовність технічних систем у неоднорідних процесах : [навч. посібник]. – Хмельницький : Видавництво Національної академії Державної прикордонної служби України ім.Б.Хмельницького, 2005. –

5. Шинкарук О. М. Методичні підходи щодо побудови статистико-ймовірнісних моделей безвідмовності та довговічності автомобільної техніки / О. М. Шинкарук, В. А. Карякін, М. М. Каленик // Збірник наукових праць. – Хмельницький : Вид-во Національної академії ПВУ, 2002. – № 21. Ч. II. – С. 80–87.

6. Сигорский В. П. Математический аппарат инженера. / Сигорский В. П. – К. : Техніка, 1975. – 768 с.

7. Коваленко И. Н. Методы расчета высоконадежных систем / И. Н. Коваленко, Н. Ю. Кузнецов – М. : Радио и связь, 1988. – 176 с.

Надійшла 13.9.2010 р.

УДК 621.396.96

Ю.О. БАБІЙ

Хмельницький національний університет

МЕТОД АДАПТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ СИГНАЛІВ В ЗАДАЧАХ РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ВИЯВЛЕННЯ ТА РОЗПІЗНАВАННЯ ЦІЛЕЙ

В статті представлено метод формування радіолокаційних портретів цілей при розв'язанні задач ідентифікації об'єктів радіолокаційного спостереження на основі використання алгоритмів адаптивної фільтрації. На прикладі реалізації адаптивного фільтру на основі методу найменших квадратів показано, що практична реалізація методу є можливою навіть незважаючи на обмежені інтервали часу для адаптації.

In the article the method of forming of radiolocation portraits of aims is presented at the decision of tasks of authentication of objects of radiolocation supervision on the basis of the use algorithms of adaptive filtration. On the example of realization of adaptive filter on bases of least-squares method it is rotined that practical realization of method is possible even not because of limitation time domains for adaptation.

Ключові слова: радіолокаційні засоби, радіолокаційний портрет, ідентифікація, адаптивний фільтр, системна функція.

Вступ

Адаптивні фільтри на сьогоднішній день знайшли застосування в багатьох галузях радіотехнічних і телекомунікаційних систем [1]. Проте, всі способи застосування адаптивних фільтрів, в будь-якому випадку, зводяться до розв'язання задачі ідентифікації, тобто визначення характеристик певної системи. При розв'язанні задач активної радіолокації в якості такої системи цілком можна розглядати об'єкт радіолокаційного спостереження, оскільки він, як і будь-яка інша система, вносить у віддзеркалений сигнал інформацію про геометричну форму своєї поверхні, траєкторію та швидкість руху і т.д. При цьому вся ця інформація закладається у вигляді різних фазових, частотних та амплітудних трансформацій ехо-сигналу. А отже, визначивши під час накопичення та обробки ехо-сигналів форму їх амплітудних, частотних та фазових змін по відношенню до зондуючих сигналів, стає можливим розв'язання задачі ідентифікації цілей в процесі радіолокаційного спостереження.

Основна частина

На основі майже всіх методів радіолокаційної ідентифікації можливе застосування складних зондуючих сигналів з оптимізованими кореляційними властивостями, що необхідні для формування чітких радіолокаційних портретів цілей (РЛПЦ). Так, широке розповсюдження для отримання РЛПЦ знайшли частотно-модульовані (ЛЧМ) зондуючі сигнали [2, 4]. Техніка їх генерації і стиснення на сьогоднішній день дозволяє досягати значень девіації частоти сигналу в сантиметровому діапазоні електромагнітних хвиль порядку 1 ГГц, забезпечуючи при цьому роздільну здатність по дальності на рівні десятків сантиметрів. Дальні портрети отримують також з використанням сигналів частотною маніпуляцією зі ступінчастим законом зміни частоти, при цьому парціальні імпульси можуть бути зімкнутими або розімкненими в часі. В останньому випадку обробка сигналу спрощується і включає оптимальну обробку одиночних гладких імпульсів на різних частотах зондування, а РЛПЦ отримують шляхом зворотного перетворення Фур'є відліків з квадратурних виходів фазового детектора (ФД) в цифровому вигляді [4]. Всі ці методи, як видно з основних підходів їх реалізації, базуються на підвищенні «контрастності» зондуючого сигналу (збільшення роздільної здатності) з метою деталізації геометричної форми об'єктів спостереження. Хоча можливо розв'язати цю задачу й іншим шляхом, визначивши фазочастотні властивості поверхні об'єкту, шляхом аналізу фазових та амплітудних спотворень зондуючого сигналу на різних частотах. Для цього доцільно застосувати алгоритми адаптивної фільтрації в поєднанні з методом обробки радіолокаційних сигналів, наведеним в роботах [2, 3], який дає змогу з достатньою точністю встановлювати фазочастотні характеристики зондуючих сигналів, безпосередньо в кожному періоді зондування. Відповідно, задача отримання РЛПЦ на основі адаптивного фільтру в кожному періоді зондування зводиться до адаптації фільтру в момент прийому (встановлення факту наявності ехо-сигналу) до форми отриманого сигналу і подальшого аналізу отриманої помилки (відхилення ехо- і зондуючого сигналів), яка представляє собою перехідну характеристику адаптивного фільтру після адаптації. Проте, слід зазначити, що для кожної цілі в одному періоді зондування повинен формуватись свій окремий алгоритм адаптивної фільтрації, а отже структура (алгоритм роботи) радіолокаційної станції РЛС повинна бути також адаптивною в межах

допустимої кількості одночасно спостерігаємих цілей.

Із теорії адаптивних фільтрів відомі два варіанти ідентифікації – пряма і зворотня (рис. 1).

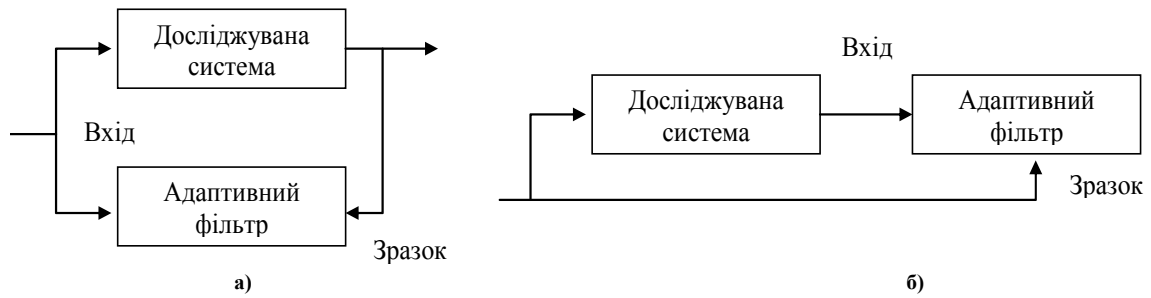


Рис. 1. Варіанти ідентифікації систем за допомогою адаптивних фільтрів: а) пряма; б) зворотня

В першому випадку адаптивний фільтр включається паралельно досліджуваній системі. Вхідний сигнал являється спільним для досліджуваної системи і адаптивного фільтра, а вихідний сигнал системи служить для адаптивного фільтра зразковим сигналом. В процесі адаптації часові і частотні характеристики фільтра будуть наближатись до відповідних характеристик досліджуваної системи. При зворотній ідентифікації адаптивний фільтр включається послідовно з досліджуваною системою. Вихідний сигнал системи поступає на вхід адаптивного фільтра, а вхідний сигнал системи являється зразковим для адаптивного фільтра. Таким чином, фільтр намагається компенсувати вплив системи і відновити вихідний сигнал, усунувши внесені системою спотворення.

Алгоритми синтезу і аналізу адаптивних алгоритмів призначені, в першу чергу, для пошуку точки мінімуму робочої функції (перехідної характеристики адаптивного фільтра) і стеження за нею при прийомі стаціонарних і нестаціонарних сигналів [1]. З точки зору простоти практичної реалізації (і взагалі можливості практичної реалізації в умовах значних часових обмежень) одним із найефективніших є метод найменших квадратів, який представляє собою простий метод корекції вагових коефіцієнтів лінійного адаптивного пристрою обробки. Метод найменших квадратів широко застосовується у всіх видах адаптивних систем. Розглянемо адаптивний фільтр побудований за схемою адаптивного лінійного суматора (рис. 2), який реалізується двома основними способами залежно від того, як подаються вхідні сигнали – паралельно (система з багатьма входами) або послідовно (система з одним входом) [1]. Ці два способи показано на рис. 2. В обох випадках, вихідний сигнал суматора y_k є лінійною комбінацією відліків вхідного сигналу x_k . Відповідно методу найменших квадратів отримуємо вираз для розрахунку помилки:

$$\epsilon_k = d_k - X_k^T W_k, \tag{1}$$

де X_k^T – вектор відліків вхідного сигналу;

W_k – оператори робочої функції фільтра.

Для отримання адаптивного алгоритму можна було б знайти оцінку градієнта помилки $\zeta = E[\epsilon_k^2]$, обчисливши різниці між сусідніми середніми значеннями ϵ_k^2 . Замість цього, в якості оцінки візьмемо саме значення ϵ_k^2 . Тоді на кожній ітерації адаптивного процесу оцінка градієнта:

$$\hat{\nabla}_k = \begin{bmatrix} \frac{d\epsilon_k^2}{dw_0} \\ \frac{d\epsilon_k^2}{dw_1} \\ \dots \\ \dots \\ \frac{d\epsilon_k^2}{dw_L} \end{bmatrix} = 2\epsilon_k \begin{bmatrix} \frac{d\epsilon_k}{dw_0} \\ \frac{d\epsilon_k}{dw_1} \\ \dots \\ \dots \\ \frac{d\epsilon_k}{dw_L} \end{bmatrix} = -2\epsilon_k X_k \tag{2}$$

Частотні похідні помилки ϵ^2 по вагових коефіцієнтах знаходяться безпосередньо з виразу (1).

Маючи таку просту оцінку градієнта, можна визначити адаптивний алгоритм, аналогічний формулі методу найшвидшого спуску. Формула алгоритму за методом найменших квадратів [3, 4] має наступний вигляд:

$$W_{k+1} = W_k - \mu \hat{\nabla}_k = W_k + 2\mu \varepsilon_k X_k \quad (3)$$

Тут, як і раніше, параметр μ визначає швидкість і стійкість процесу адаптації. Оскільки зміни вагових коефіцієнтів на кожній ітерації здійснюються по неточних оцінках градієнта, слід очікувати, що в адаптивному процесі виникає шум, тобто адаптація протікає не по дійсній траєкторії, що відповідає найшвидшому спуску.

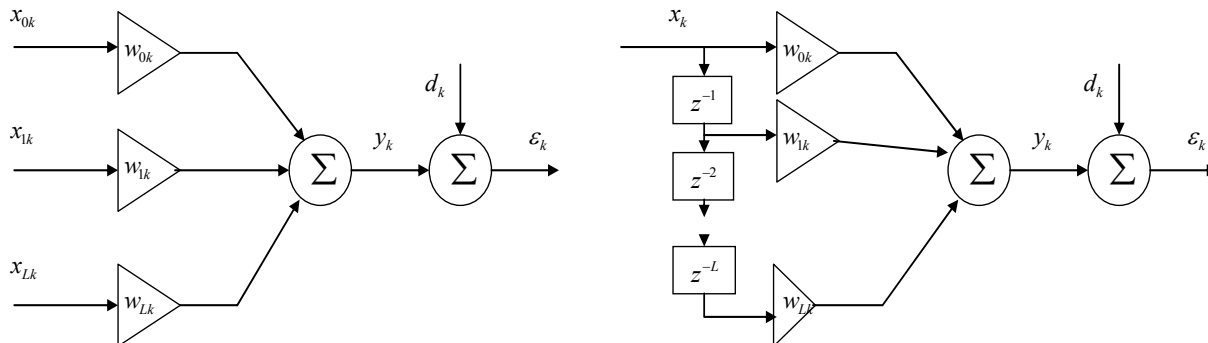


Рис. 2. Загальний вид адаптивного лінійного суматора а) і трансверсальний фільтр б)

Із співвідношення (3) виходить, що метод найменших квадратів можна реалізувати в реальних системах, не проводячи операції зведення в квадрат, усереднення і обчислення похідних, і тому він простий і ефективний. Як зазначено вище, кожен компонент вектора градієнта знаходиться по єдиному відліку даних і без введення приросту у вектор вагових коефіцієнтів. Якщо не приводиться усереднення, то компоненти градієнта обов'язково містять велику складову шуму, але цей шум зменшується самим процесом адаптації з часом, дія якого в цьому відношенні еквівалентна дії низькочастотного фільтру.

Фактично, якщо в якості досліджуваної системи розглядати об'єкт радіолокаційного спостереження, то отриманий таким чином набір векторів системної функції W_k буде в повній мірі відображати фазочастотні властивості поверхні об'єкта спостереження, що при застосуванні зворотного перетворення Фур'є дає змогу отримати часовий (просторовий) портрет поверхні об'єкту. Структура прийомопередавача радіолокаційної станції будується за схемою наведеною на рис. 3.

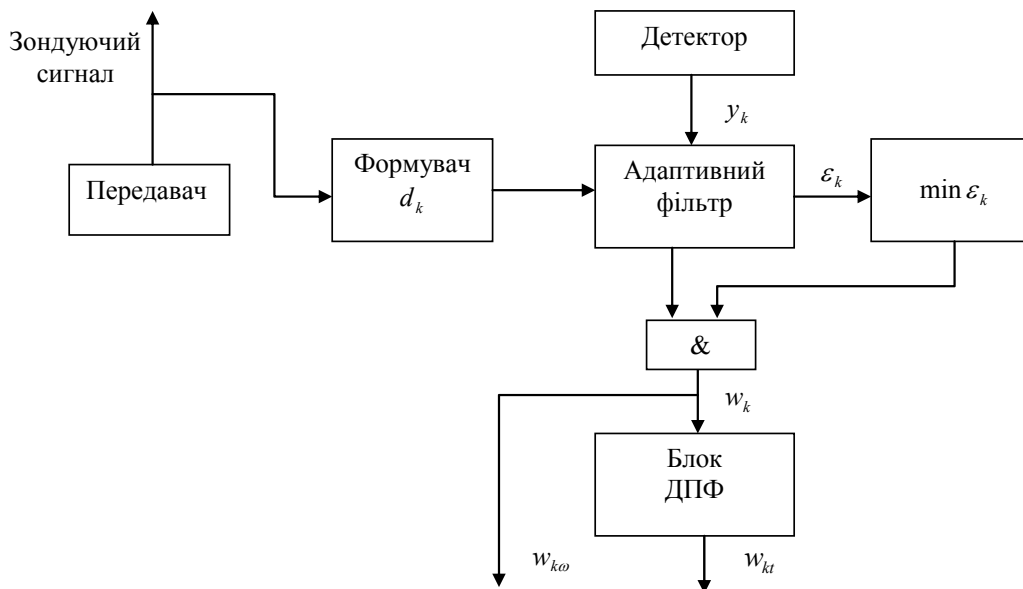


Рис. 3. Структурна схема прийомопередавача радіолокаційної станції для реалізації методу адаптивної фільтрації

В основі роботи схеми покладено використання адаптивного фільтру, який адаптує свою робочу функцію до такого вигляду, щоб максимально компенсувати спотворення сигналу при відбитті від поверхні об'єкта спостереження. При цьому, в момент, коли адаптація фільтру здійснилась до рівня мінімальної помилки, робоча функція фільтру представляє собою обернений фазочастотний портрет поверхні об'єкта спостереження. Для переведення його в часовий (просторовий) вигляд, необхідно здійснити обернене

перетворення Фур'є.

Висновки

Таким чином, розроблений метод дає змогу на базі алгоритму адаптивної фільтрації здійснити ідентифікацію радіолокаційних цілей з використанням швидкого та зручного методу найменших квадратів, який достатньо легко може бути практично реалізованим. Такий же алгоритм може бути використаним при розв'язанні зворотної задачі – відтворення форми зондуємого сигналу після відбиття від об'єктів зі складною геометричною формою поверхні, при здійсненні міжперіодної та міжголядової обробки ехо-сигналів.

Література

1. Уидроу Б. Адаптивная обработка сигналов / Б. Уидроу, С. Сеирнз; [пер. с англ.]. – М.: Радио и связь, 1989. – 440 с.
2. Чесановський І. І. Обробка радіолокаційних сигналів з урахуванням внутрішньоімпульсних фазочастотних нестабільностей / О. М. Шинкарук, І. І. Чесановський // Зб. наук. пр. Військ. ін-ту Київського нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка – К.: ВІКНУ, 2009 – Вип. № 17. – С. 89– 92.
3. Чесановський І. І. Трансформування функції невизначеності радіосигналів з урахуванням внутрішньоімпульсної фазочастотної нестабільності / І. І. Чесановський // Зб. наук. пр. Нац. акад. Держ. прикордон. служби України ім. Б. Хмельницького. – Хмельницький: НАДПСУ, 2009. – № 50. – С. 58– 62.
4. Справочник по радиолокации / [под ред. М.Скольника]. – М.: Сов. радио, 1976. – 456 с.

Надійшла 8.9.2010 р.

УДК 631.521

О.В. КОСТРИБА, І.В. ТРОЦИШИН
Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ КОНВЕРГЕНЦІЇ СУЧАСНИХ ТЕЛЕФОННИХ МЕРЕЖ ТА СИСТЕМ БЕЗДРОТОВОГО ДОСТУПУ

Стаття присвячена детальному розгляду історії та хронології розвитку систем бездротового доступу до телефонних мереж від примітивних аналогових систем до сучасних типу DECT. Детально розглянуто особливості та технічні характеристики цифрових систем на прикладі ринку телефонних послуг у Європі.

Article is devoted to detailed consideration of the history and chronology of the development of systems to wireless telephone systems from primitive to modern analog systems such as DECT considered in detail the features and specifications of digital systems on the example of telephone services market in Europe

Ключові слова: телефонний зв'язок, доступ, цифрові системи, DECT.

Вступ

Одним з напрямків розвитку телекомунікацій могло б стати освоєння нових технологій в області внутрішньо закладного (офісного) зв'язку, що широко застосовуються у світовій практиці. Наприклад, таких як використання зарубіжних розробок провідних фірм-виробників радіотехнічного обладнання (Panasonic, Siemens, Alcatel, Lucent, Samsung та ін) в області бездротового зв'язку на основі стандарту цифрового радіодоступу DECT. Застосування даних технологічних розробок дозволило б середнім і малим підприємствам зміцнити своє становище на ринку і додатково залучити нових клієнтів.

Актуальність представленої роботи визначила наявність у потенційних клієнтів бажання отримати якісний внутрішній зв'язок в орендованих приміщеннях, будинках між керівництвом підприємства і персоналом, можливість оперативного контакту з працівниками, які в силу своїх функціональних обов'язків переміщалися в межах виділеного підприємству приміщення, а також двосторонній зв'язок між співробітниками підприємства з можливістю виходу на міську телефонну лінію.

В якості додаткових умов замовниками висувалися вимоги щодо здійснення телефонізації фірми без трудомісткого і дорогого монтажу (найчастіше неможливого за умовами короткострокової оренди) і можливості оперативного перенесення обладнання на інші площі.

Вищезазначеним вимогам задовольняло обладнання міні-АТС на основі стандарту цифрового радіодоступу DECT [1], що дуже ефективно використовує смугу радіочастот та вирішує завдання щодо забезпечення стійкого високоякісного бездротового зв'язку, захищеного від несанкціонованого доступу зв'язку для дому, офісу та приватних локальних комерційних зон (торгових центрів, банків, бірж та ін.). Стандарт DECT підтримує мовний і факсимільний зв'язок, а також передачу даних. Крім того, він розроблений з урахуванням сучасних телекомунікаційних тенденцій, таких як конвергенція фіксованих і мобільних мереж, інтеграція мовного зв'язку і передачі даних, мультимедійні послуги та одночасний сервіс від декількох операторів. DECT зміцнив свої позиції як глобальний стандарт бездротового доступу – він прийнятий більш ніж в 100 країнах світу.

Разом з тим, маючи значний досвід у наданні послуг з розробки і монтажу аналогових відомчих

АТС керівництву фірми потрібно достатнє економічне обґрунтування економічної доцільності застосування нової технології. Незважаючи на очевидні технологічні переваги існувала думка в економічній непривабливості подібної пропозиції. У зв'язку з досить високою вартістю обладнання стандарту DECT розглядалося припущення про значне перевищення вартості аналогічних за суттю проектів розроблених на базі нової технології над існуючими.

На світовому ринку була достатня кількість пропозицій апаратури, що працює на зазначеному стандарті. Усі найбільш великі закордонні радіотехнічні компанії пропонували значний спектр обладнання, починаючи від кінцевих приймально-передавальних пристроїв (радіотрубок) до великих централізованих АТС, які забезпечують комутацію сотень каналів зв'язку. Вартість запропонованих (найчастіше аналогічних за використання) пристроїв також значно розрізнялася.

Наслідком вищесказаного стала додаткова проблема вибору виробника устаткування, яке найбільш відповідає пропонованим замовниками вимогам і забезпечує прийнятну, конкурентоспроможну ціну.

Враховуючи відсутність вітчизняних аналогів даної продукції потрібно визначити закордонних виробників виходячи з представлених на ринку пропозицій.

Завдання даної роботи:

- розглянути типи бездротових систем зв'язку, що використовуються у світовій практиці;
- визначити переваги стандарту DECT при розробці відомчих систем зв'язку;
- проаналізувати комерційні пропозиції світових виробників бездротових міні-АТС на основі DECT і визначити найбільш ймовірного постачальника зазначеного обладнання;
- на основі аналізу раніше отриманого підприємством прибутку від телефонізації офісу за допомогою аналогової міні-АТС розрахувати очікуваний прибуток аналогічного проекту при використанні обладнання бездротового зв'язку DECT фірми «Eline».

Об'єкт дослідження – технікоеконімічний ефект від діяльності на ринку надання послуг з телефонізації офісів за допомогою установки міні-АТС.

У даній роботі розглянуто основи стандарту DECT, розміщені в мережі ІНТЕРНЕТ пропозиції світових виробників комунікаційного обладнання для побудови мереж зв'язку на основі даного стандарту, проведено вивчення діяльності при наданні послуг з монтажу аналогових АТС.

Значна частина матеріалу отримана за допомогою вивчення ІНТЕРНЕТ-сайтів [1–9], що містять відомості з телекомунікаційного обладнання стандарту DECT, а також відображають комерційні пропозиції провідних світових виробників міні-АТС.

1. Світовий досвід розробки бездротових систем зв'язку

1.1 Типи бездротових систем зв'язку, що використовуються у світовій практиці

З метою докладного розкриття використовуваних в представленій роботі понять і сутності досліджуваних процесів і технологій розглянемо деякі теоретичні аспекти розробки бездротових систем зв'язку, а також ринкові пропозиції провідних світових виробників радіотехнічного обладнання. Більше 125 років пройшло з того моменту, коли Елайша Грей і Олександр Белл незалежно один від одного, але в один і той же день 14 лютого 1876 року, запропонували два різних варіанти пристрою для передачі сигналів людського голосу по проводах, нині відомого нам як телефон [1]. Надана можливість живого спілкування людей на відстані призвела до дуже швидкого визнання корисності цього винаходу, але для широкого розповсюдження такого виду зв'язку був потрібний ще один елемент – телефонний комутатор. Адже саме він забезпечує з'єднання будь-яких двох абонентів телефонної мережі один з одним. І відповідь на цю потребу була блискавичною: всього через півтора року у 1878 р., в Нью-Хейвені (США) вже почала працювати перша телефонна станція. У нашій країні перші міські телефонні станції з'явилися трохи пізніше – в 1882 р., але зате одразу в чотирьох містах: Санкт-Петербурзі, Москві, Одесі і Ризі, і почалася ера телефону.

Повсюдний розвиток телефонного зв'язку дуже швидко виявив доцільність створення та використання як великих (міських) АТС для телефонних мереж загального користування, ємності яких обчислюються тисячами номерів, так і невеликих місцевих (виробничих) телефонних станцій, що обслуговують лише кілька десятків або сотень абонентів.

У нашій країні різні установчі АТС використовувалися теж уже досить давно, проте їх широке розповсюдження у нас почалося тільки близько 10 років тому. А сприяння цьому з'явилося завдяки перебудові величезної кількості невеликих компаній, які стали більше орієнтовані на роботу зі споживачами, ніж вся служба побуту, що колись існувала в СРСР. А «контактувати» з клієнтами без зв'язку – звичайно неможливо.

Дуже до речі опинилися тут і успіхи мікроелектроніки, які дозволили до цього часу суттєво зменшити розміри «малих» АТС і зробити їх здатними тривало і надійно працювати, практично, без будь-якого обслуговування.

Перетворившись на невеликі настінні «скриньки», що живляться від звичайної побутової електромережі і потребують для їх повсякденної експлуатації не більше спеціальних знань, ніж це необхідно для використання телевізора, такі АТС змогли прийти навіть в самі невеликі компанії і допомогти вирішити проблему нестачі телефонних номерів.

Взагалі ж різновидів офісних АТС дуже багато і класифікувати їх можна за різними параметрами. Так, наприклад, залежно від ємності всі станції можна умовно розділити на три класи – малі (зазвичай,

обслуговують до 32 абонентів), середні (до 200 абонентів) та великі, орієнтовані на обслуговування до тисяч абонентів. АТС останнього класу, як правило, відносяться до категорії відомчих (ВАТС). Їх принциповою особливістю є те, що вони з'єднуються з міськими АТС по спеціальних каналах міжстанційного обміну. Станції ж малого і середнього розміру найчастіше використовують для з'єднання з міською мережею звичайні абонентські телефонні лінії і тому відносяться до розряду міні-АТС. Таким чином, УАТС здатні дати кожному абоненту окремих міський номер, а міні-АТС забезпечують спільне використання наявних міських номерів усіма її користувачами.

За типом використовуваної комутації всі існуючі АТС діляться на аналогові, цифрові та гібридні. Аналогові АТС роблять обробку всіх сигналів в аналоговій формі, а цифрові, відповідно, мають справу тільки з цифровими сигналами і, по суті, являють собою спеціалізований комп'ютер.

Гібридні АТС, найбільш поширені зараз на нашому ринку, займають проміжний рівень: комутація сигналів в них проводиться в аналоговій формі, але під управлінням цифрового процесора. Хлинувши до нас на початку 90-х років потік зарубіжних міні-АТС виявився настільки повноводним, що зараз вже дуже складно перерахувати не тільки всі моделі, але навіть і всі фірми-виробники, чия техніка поставлялася в нашу країну. Проте, відкидаючи вироби маловідомих компаній, продукція яких потрапляла до нас епізодично (а нерідко і з різних «сірих» каналів), всіх інших виробників можна розділити на дві групи. У першу – входять компанії з категорії brand-name: «Alcatel», «Ericsson», «Avaya Communications» (колишній «Lucent Technologies»), «NEC Corp.», «Nortel Networks», «Siemens» та ін. Як правило, їхня техніка – це середні і великі АТС високої якості, але й за досить високою ціною.

Другу групу складають компанії, що намагаються випускати продукцію під суперечливим гаслом: «дешево і якісно». Наскільки це їм вдається – судити користувачам, але обсяг пропозицій таких виробів на нашому ринку офісних АТС найбільший. А домінує тут продукція компаній «Panasonic», «LG», «Samsung, Eline».

Стандарти бездротових міні-АТС

На сьогоднішній день бездротові телефони складають близько 40% ринку продажів всіх типів телефонних апаратів. Більшість продажів доводиться на різні моделі «Panasonic» [2]. В Україні дозволені до вільного продажу, без отримання спеціального дозволу Радіочастотнагляду, бездротові телефони трьох частотних діапазонів: 30–39 МГц, 901–914 МГц, 1800 МГц; телефони працюють в інших частотних діапазонах не можуть мати сертифікат Мінзв'язку і заборонені до використання на території країни [1].

Радіотелефони з частотним діапазоном 30–40 МГц

Радіотелефони з частотним діапазоном 30–40 МГц зберігають працездатність в приміщеннях при віддаленні трубки від бази до 50 метрів, до 300 метрів, на відкритій місцевості. Вони дешеві, але в телефонів цього діапазону чимало недоліків. Їм властивий високий рівень перешкод, оскільки у використовуваному ними діапазоні працює вся побутова техніка. А значить, на них легко навести перешкоди, і що важливо - вони самі є їх джерелами. Тому, при купівлі даного типу апаратів слід зупинити свій вибір на сертифікованих моделях. Приклад: модель фірми «Panasonic» KX-TC1070RUB з можливістю підключення декількох трубок (рис. 1).



Рис.1. Модель KX-TC1070RUB з можливістю підключення декількох трубок

Радіотелефони з частотним діапазоном 900 МГц

Радіотелефони з частотним діапазоном 900 МГц відрізняються від 30–40 МГц апаратів більш широким радіусом дії і кращою перешкодозахищеності. Але, як і всі аналогові бездротові телефони, вони слабо захищені від прослуховувань, несанкціонованих підключень. І якщо проблему незаконних підключень вдалося вирішити впровадженням системи кодів безпеки (*id*-коди ідентифікації), то проблема прослуховування телефону по радіоканалу залишається відкритою. Наприклад, в Інтернеті можна зустріти описи сканерів – ширококутових приймачів, що дозволяють приймати сигнал в розширеному діапазоні. Належним чином цей захист забезпечують лише цифрові радіотелефони. Поки ж багатьом виробникам середньочастотний діапазон здається вельми перспективним.



Рис. 2. Модель LG GT9770

Приклад: LG GT9770 (рис. 2).

Представлена модель підтримує мультизв'язок до трьох трубок [5]. В частотному діапазоні 900 МГц працюють також системи зв'язку побудовані на стандарті GSM-900.

У відповідності з рекомендацією СЕРТ 1980 р., що стосується використання спектру частот рухомого зв'язку в діапазоні частот 862–960 МГц, стандарт GSM на цифрову загальноєвропейську (глобальну) стільникову систему наземного рухомого зв'язку передбачає роботу передавачів у двох діапазонах частот: 890-915 МГц (для передавачів рухливих станцій – MS), 935–960 МГц (для передавачів базових станцій – BTS). Система зв'язку, що діє в стандарті GSM, розрахована на її використання в різних сферах. Вона надає користувачам широкий діапазон послуг і можливість застосовувати різноманітне обладнання для передачі мовних повідомлень і даних, викличних та аварійних сигналів; підключатися до телефонних мереж загального користування (PSTN), мереж передачі даних (PDN) і цифрових мережах з інтеграцією служб (ISDN). Основні характеристики стандарту GSM наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Основні характеристики стандарту GSM

Частоти передачі рухомої станції прийому базової станції, МГц	890–915
Частоти прийому рухомої станції та передачі базової станції, МГц	935–960
Максимальна кількість каналів зв'язку	124
Максимальна кількість каналів, організованих в базовій станції	16–20
Максимальний радіус стільника, км	до 35

GSM-1800 (DCS-1800)

Модифікація стандарту GSM-900 порівняно молода і ще не набула широкого розвитку в світі. Цифровий стандарт, діапазон частот 1710 – 1880 МГц

Відмінності GSM-1800 від GSM-900. Фактично – тільки робочими частотами. Наданий сервіс залежить більше від оператора, ніж від діапазону. Проте тут є ряд цікавих моментів:

- із-за більш високої частоти зменшується максимально можливий радіус стільника, а точніше – максимальне видалення абонента від базової станції. Для GSM-900 ця відстань дорівнює 35 км. Для GSM-1800 – близько 10 км на частотах 1800-2000 МГц радіохвилі мають дещо інші проникаючі властивості;
- різкий плюс – куди більший частотний ресурс, тому що цей частотний діапазон не встигли свого часу захопити «компетентні» органи. Крім цього в діапазонах 1800 і 1900 частотне планування виконується гнучкіше в силу більшого числа каналів і меншого радіуса сот.

Максимальна випромінювальна потужність мобільних телефонів стандарту GSM-1800 – 1 Вт, для порівняння у GSM-900 – 2 Вт. Більший час безперервної роботи без підзарядки акумулятора і зниження рівня радіовипромінювання. Високий захист від підслуховування і нелегального використання номера.

В якості прикладу розглянемо міні-АТС побудовану на стандарті GSM фірмою «ECOTEL»:

Сфера застосування: малі офіси / домашні офіси;

- Компанії з високими витратами на мобільний зв'язок.
- Аналогова GSM модель призначена для зниження витрат на послуги зв'язку при з'єднанні абонентів фіксованих і мобільних GSM (900/1800) мереж і служить (залежно від моделі) основою для широкого спектру варіантів застосування.

ECOTEL GSM надає різні можливості: від використання без доступу до фіксованої телефонної мережі до сполук через АТС.

У кожному з випадків ECOTEL GSM пропонує найбільш економічне з'єднання телефону або факсу до GSM мережам.

ECOTEL GSM з модулем TC 35 підключається до міні АТС або аналогової телефонної лінії і мобільної мережі GSM 900/1800.

Базова модель цієї серії - ECOTEL GSM3.

Версії ECOTEL GSM3 L і ECOTEL GSM3 P-моделі без голосових повідомлень і тільки для одного підключення до лінії (L) або до телефону (P).

Системи бездротового зв'язку, що використовують частоту 1800 МГц, представляють собою базовий блок і радіотрубки (1–8 штук). У цьому стандарті реалізована не тільки можливість виходу на міську лінію з кожної трубки та пересилання виклику з трубки на трубку, але і повноцінний телефонний зв'язок між трубками, не займаючи міську лінію. Таким чином, цей стандарт дозволяє організувати ефективні локальні мережі радіозв'язку з радіусом дії 100–200 метрів.

Разом з тим, слід зазначити, що системи внутрішнього зв'язку засновані на стандарті GSM не отримали широкого поширення через високу вартість необхідного для їх розгортання обладнання.

Частка аналогових пристроїв на ринку бездротових міні-АТС також швидко скорочується.

Застарілі аналогові телефони витісняє цифровий стандарт DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications). В даний час частка DECT-телефонів становить 53% (рис.3) у секторі бездротових телефонів у Європі, а в Німеччині ця цифра вже перевищила 80% [9].

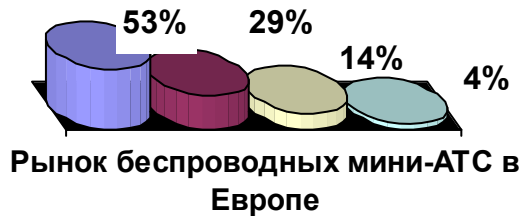


Рис. 3. Ринок бездротових телефонів у Європі

1.2 Переваги стандарту DECT при розробці відомчих систем зв'язку

У 1985 році CEPT (Conference of European Posts and Telegraphs) запропонувала перший стандарт СТ1 на систему бездротових телефонів у смузі частот 900 МГц з 40 дуплексними каналами з частотним поділом [2]. Низька якість зв'язку та відсутність секретності передачі мовних повідомлень стали підставою до розробки систем цифрових бездротових телефонів. Новий стандарт, що одержав позначення СТ2, був розроблений у Великобританії, забезпечував конфіденційність переговорів і краще, ніж СТ1, якість прийому мовних повідомлень. У стандарті СТ2 застосовується діапазон частот 864–868 МГц і організація двостороння з тимчасовим поділом каналів. Стандарт СТ2 був прийнятий за основу при створенні систем Telepoint, призначених для загального доступу абонентів через радіопорти, встановлені в місті, до телефонної мережі загального користування. Протокол радіоінтерфейсу СТ2 був прийнятий ETSI (European Telecommunication Standard Institute) і отримав позначення ETS-300 131.

У 1992 році ETSI прийняв стандарт ETS-300 175 на загальноєвропейську систему бездротових телефонів DECT, призначену для передачі мовних повідомлень в діапазоні частот 1880–1900 МГц.

У США компанією «Belco» розроблена система бездротового зв'язку загального доступу PACS для ділянок діапазонів частот, виділених FCC (Federal Communication Commission) для мереж персонального зв'язку: 1850–1910 МГц і 1930–1990 МГц. За своїм функціональним призначенням PACS є близьким аналогом DECT, але орієнтована на використання в рамках прийнятого в США розподілу спектру частот і концепції розвитку персонального зв'язку, що відрізняються від європейських.

Система бездротового зв'язку, заснована на використанні портативних телефонів, що отримала назву PHS, розроблена й успішно впроваджується в Японії. PHS забезпечує двосторонній бездротовий зв'язок в рамках мікросітьової архітектури мережі. Радіоінтерфейс PHS заснований на часовому поділі каналів і часовому дуплексному поділі режимів прийому та передачі. Робочий діапазон частот 1895–1918 МГц.

Опис стандарту DECT

Стандарт DECT описує технологію радіодоступу для передачі інформації виключно у цифровому вигляді на відстані від 5 м до 10 км. Основна характеристика цієї технології вища, в порівнянні зі звичайними системами стільникового зв'язку, щільність телефонної ємності в радіусі малого радіусу. Це повністю цифровий стандарт, тому він дозволяє надавати всі послуги цифрового зв'язку, включаючи широкосмугові (ISDN). Область застосування DECT – від простого бездротового телефону до системи, що забезпечує різні телефонні послуги в рамках районного телефонного вузла.

Таблиця 2

Технічні характеристики DECT

Робочий спектр	1880–1900 МГц
Кількість частот	10
Рознос частот	1,728 МГц
Метод доступу	TDMA/TDD
Число каналів на одну частоту	12
Тривалість фрейму	10 мс
Метод модуляції	GMSK (BT=0,5)
Стиснення голосу	ADPCM (G.721)
Вихідна потужність	0,01 Вт (середня)

В основі DECT – концепція абсолютної персоналізації зв'язку, яка дозволяє перейти від старого принципу вторинної мережі «телефон кожної сім'ї, квартири, робочого місця» до принципу «телефон кожній людині», що має призвести до корінних змін первинної мережі і, далі, всієї інфраструктури телекомунікацій. DECT, по суті, завершує розвиток систем радіозв'язку другого покоління. У цьому стандарті використовується абсолютна більшість так званих «високих технологій» та аналітичних досягнень телекомунікаційного сервісу, що робить його одним з каменів у фундаменті розвитку систем радіозв'язку третього покоління. Створення систем стільникового рухомого зв'язку (СРЗ) третього покоління здійснюється в рамках міжнародної дослідницької програми RACE. Концепція UMTS (універсальна система рухомого зв'язку) передбачає об'єднання всіх функціональних можливостей існуючих цифрових систем

зв'язку зі стандартизованими послугами рухомого зв'язку (є відомості, що розробка технічних рішень почалася в 1996 р. і мала закінчитися в 1998 р.). Таким чином сформовано мультисистемні телекомунікаційні продукти вторинної мережі.

Під стандартизованими послугами розуміються:

- стільниковий зв'язок в рамках прийнятих стандартів;
- радіодоступ у діапазоні 1800-1900 МГц та його розширення;
- персональний радіовиклик на підставі об'єднаних протоколів;
- міжнародна ССПС (FPLMTS, Future Public Land Mobil Telephone System) з супутниковою підсистемою навігації (введення без супутникової підсистеми в 2000 р., із супутниковою підсистемою – у 2010 р.).

Спочатку виділений під DECT діапазон 1880–1900 МГц забезпечує 10 несучих частот. Друге видання стандарту збільшує смугу до 1937 МГц – під майбутні розширення і для цілей сумісності, коли традиційна область частот недоступна. Розширення до 1910 МГц забезпечить 16, а до 1920 МГц – 22 несучі частоти.

У різних країнах під DECT виділені різні частотні діапазони:

- 1880–1900 МГц – базовий частотний діапазон DECT;
- 1880–1920 МГц – для Європи;
- 1910–1930 МГц – для Латинської Америки;
- 1900–1920 МГц – для основної території Китаю.

Сьогодні, з виробництвом обладнання DECT так чи інакше пов'язані більш 40 фірм. Наприклад, фірма «Kirk» є підрядником «National Semiconductor», а концерн «Debetel» Спеціалізується на OEM-виробництві для «Phillips». На український ринок готові системи поставляють, зокрема, компанії «Ericsson», «Phillips» і «Siemens». Крім того, «Phillips» і «Siemens» активно пропонують електронні компоненти і вузли для складання устаткування, що представляє інтерес для невеликих компаній, що займаються виробництвом подібних систем.

У Європі устаткування DECT в основному використовується в домашніх умовах і в сфері малого бізнесу. DECT продемонстрував свою конкурентоспроможність на ринку недорогих систем і має потенціал для подальшого зменшення вартості. Його основне технічне нововведення – динамічний вибір каналу – виявилось дуже надійним. DECT-системи найбільш ефективні при використанні в офісах і на невеликих промислових підприємствах (з кількістю абонентів до 4–5 тис. на одну установку).

В даний час на етапах розгортання, тестування та комерційної експлуатації знаходиться безліч систем DECT WLL на WRS (Wireless Relay System). Кількість встановлених ліній перевищує 1 млн. (за даними на лютий 2009 р.). Постійно організовуються канали зв'язку на відстані, значно перевищують 5 км, при цьому якість зв'язку залишається відмінною. Тенденції зростання ясно вказують на те, що технологія WLL скоро стане, якщо ще не стала, основним додатком DECT.

Використання DECT як системи зв'язку загального користування розвивається не так швидко, тому не є типовим додатком. Однак розгортаються випробувальні системи, а у Фінляндії така мережа діє на комерційній основі. У Європі основний упор робиться на розвиток мереж рухомого зв'язку стандарту GSM (у цю область вкладені значні інвестиції), тому відношення до мереж рухомого зв'язку загального доступу дещо інше, ніж у Японії і Південно-Східної Азії, де активно надається послуга бездротової телефонії для пішого абонента. Однак є відомості про замовлення на розгортання подібних систем, що стимулює швидкий розвиток і швидкий вихід на ринок спеціальних моделей радіотелефонів DECT, орієнтованих на пішого абонента. Роздрібні ціни невеликі (у Німеччині, наприклад, у 2009 р. вартість як базової станції, так і телефонної трубки становила менше 100 дол.).

Переваги обраного стандарту:

- якість дротової лінії зв'язку – 32k ADPCM;
- найвища швидкість передачі даних серед усіх TDMA-стандартів.

Можливість створення різних систем на основі DECT:

- домашні беспровідні багатотрубні системи, які також підходять для малого офісу;
- мікростільникові бездротові корпоративні системи (офісні та установчі АТС з радіодоступом);
- мікростільникової системи загального користування (ВТМ);
- системи фіксованого радіодоступу (WLL) та ін.

Співіснування різних некоординованих DECT-систем в загальному частотному діапазоні без необхідності частотного планування забезпечує обладнання різних виробників (за наявності GAP).

Забезпечення переходу з соти в стільнику без розриву з'єднання (хендовери)

Можливість обслуговування однієї трубки в різних мережах (приватних та загального користування). Забезпечення великого трафіку – до 10,000 Ерл / км.

Сумісність з іншими радіосистемами.

Відсутність каналу управління – стійкість до радіоперешкод.

Низький рівень випромінювання – безпека для здоров'я.

Документально-аналітична база

Під документально-аналітичною базою стандарту розуміється набір розпорядчих, регулюючих та рекомендаційних документів, які, в кінцевому підсумку, і визначають долю стандарту. Документальна база

DECT в якомусь сенсі знаходиться на особливому положенні. DECT представляє собою стандарт, «той, з кінчика пера»; практично всі технічні та аналітичні рішення були втілені «у залізі» вже після його опублікування. Інші стандарти є наборами відпрацьованих в інших системах (як правило, приватних і військових) технічних рішень та аналітичних прийомів, які пройшли влаштовані розробниками стандарту конкурси.

Мета стандартизації DECT визначається загальним спрямуванням стандартизації в рамках міжнародних союзів. Відповідно з цим напрямком «узгоджені стандарти» готуються на загальноєвропейському рівні та їх прийняття супроводжується відмовою від конфліктуючих з ними національних стандартів.

Зокрема, для стандарту DECT отримана юридична та економічна підтримка ЄЕС і СЕРТ (Конференції європейських адміністрацій пошт та електрозв'язку), що полегшує операторам легалізацію прийнятих технічних рішень. Остання організація наказує виділення під DECT смуги частот 1880–1990 МГц відповідно до директиви Ради 91/287/ЄЕС, де визначається, що DECT визнано пріоритетним стандартом і отримує виняткове право користування означеної смугою. Допускається, що в подальшому може виникнути необхідність у виділенні додаткового спектру частот. З цією метою у другому виданні основних DECT-стандартів ETS300 175 і TBR06 визначені частоти для усього діапазону 1880–1937 МГц, які можна буде використовувати в тих країнах, де основні частоти DECT недоступні.

Основні технічні характеристики обладнання повинні відповідати стандарту ETS 300 175, прийнятому Європейським інститутом стандартів зв'язку (ETSI), але з наступними обмеженнями: середня потужність передавачів не повинна перевищувати 10 мВт на канал, коефіцієнт посилення антен повинен бути не більше 3 дБ, радіус зони обслуговування базового блоку не повинен перевищувати 200 м.

Стандартизація DECT також отримала розвиток у ряді технічних звітів, створених виключно для інформаційних цілей. Вони містять короткі огляди та роз'яснення з приводу специфічних програм та послуг DECT. У цих звітах, зокрема, описано багатосистемність і розраховано на роботу з декількома послугами програми DECT, які дають можливість значно підвищувати ефективність сумісного використання діапазону частот різними програмами та операторами. У Технічному звіті ETSI ETR 310 Робочої групи радіозв'язку і передачі мови проекту DECT описані можливості, які надає динамічний вибір каналу одночасно кільком нескординованих користувачам.

Сьогоднішній варіант стандарту повинен забезпечувати (відповідно до рекомендацій Ради 91/288/ЄЕС) зв'язком і радіодоступом передачі даних по локальних мережах домашнього та ділового абонента, а також абонента мережі загального користування. З технічного боку необхідні можливості множинного доступу – поведження з одного терміналу до різних типів систем і послуг (до приватної (PBX), засновницької, однієї або декількох глобальних мереж) – і підтримки внутрішньосистемного роумінгу для телефонних трубок (хендовери). Узагальнено це називається універсальністю доступу та взаємодії і визначено в «Посібнику зі стандартизації DECT ETR 178».

Європейська Комісія розробила проект поправки до директиви 90/388/ЄЕС з питання конкуренції на ринку послуг електрозв'язку. У ньому DECT визначається як серйозна альтернатива провідникового доступу у вторинних мережах PSTN / ISDN за частини уніфікації спектру послуг, пропонувані операторами фіксованих і рухомих мереж; стверджується, що він дозволить перейти на єдину інфраструктуру фіксованих і рухомих послуг зв'язку.

Одна з основних умов розвитку стандартів DECT – гнучкість додавання нових послуг, що розробляються, це, в основному, гарантується високою надмірністю базового програмного забезпечення. Потрібно з мінімальними зусиллями модернізувати DECT до рівня технологій персонального зв'язку третього покоління, наприклад, апаратно реалізувавши подвійний режим роботи. При цьому другий рівень (наприклад, GSM) оптимізовано для дальніх передач або передач на невеликі відстані, але з високою швидкістю.

МДВР в DECT забезпечує взаємодію DECT з системами, що використовують інші технічні прийоми, що повинно допомогти комплексному розвитку електрозв'язку в майбутньому.

Висновки

Важливим напрямом подальшого розвитку є злиття послуг фіксованого та рухомого зв'язку на основі дерегулювання сфери надання послуг. У DECT це забезпечується різноманітністю профілів надання комбінованих послуг зв'язку в загальній інфраструктурі. Потужна і гнучка структура ідентифікаторів допускає одночасне використання різних видів доступу (до приватних мереж та мереж загального користування) у єдиній інфраструктурі, а також дозволяє організувати приватні мережі рухомого зв'язку у вигляді дочірніх структур мереж загального користування.

Рівень організації системи DECT визначається її можливостями забезпечення платформами існуючих і розроблювальних додатків ISDN, Internet і послуг мультимедіа – як для зв'язку з офісами і житловими районами, внутрішньоофісного бездротового зв'язку, так і для надання загальних послуг рухомого зв'язку.

Література

1. Інтернет-сайт «Електросети.ru» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.electroseti.ru>.
2. Інтернет-сайт компанії Панасонік [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.panasonic.ru>.

3. Інтернет-сайт компанії Еріксон [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.ericsson.com>.
4. Інтернет-сайт компанії Сіменс [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.siemens-mobile.ru>.
5. Інтернет-сайт компанії Самсунг [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.samsung.ru>.
6. Інтернет-сайт компанії Ел-джи Електронікс [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.lg.ru>.
7. Інтернет-сайт компанії Eline [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.e-line.ru>.
8. Інтернет-сайт московської компанії Елст [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.elst.ru>.
9. Інтернет-сайт «DECT Forum» [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.dect.ch>.

Надійшла 17.9.2010 р.

УДК 621.321

Л. В. ТРОЦИШИНА
Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ МЕТОДИЧНИХ ТА ІНСТРУМЕНТАЛЬНИХ ПОХИБОК НА ПРОЦЕС ВИМІРЮВАННЯ ЧАСТОТИ ЦИФРОВИМИ ЧАСТОТОМІРАМИ

Стаття присвячена детальному розгляду механізму утворення методичних та інструментальних похибок вимірювання частоти у цифрових частотомірах. Детально розглянуто отримання виразів для похибок вимірювання частоти. Вказано на методи їх зменшення або усунення.

This article is devoted to detailed consideration of the mechanism of methodological and instrumental errors in measuring the digital frequency. Considered in detail for receiving expressions you often measurement errors. The specified methods for their reduction or elimination.

Ключові слова: Ключові слова: частота, вимірювання, методична похибка, інструментальна похибка.

Вступ

Теоретичні засади задач радіолокації, радіонавігації, радіоастрономії, технологій та засобів телекомунікацій, а також томографії вказують на доцільність вимірювання частоти високочастотних радіоімпульсних сигналів із максимально можливою точністю та швидкодією, а також в умовах невизначеності часу існування такого сигналу. Швидка і якісна ідентифікація об'єкта за значенням частоти відбитого сигналу є однією із задач радіолокації, радіоастрономії, радіонавігації, зокрема систем автопілотування, що дасть можливість вчасно на нього відреагувати і прийняти відповідне рішення, особливо в системах ПРО, де вказані параметри є визначальними.

Проте аналіз вітчизняної та іноземної науково-технічної літератури і патентний пошук показав, що на сьогодні ці задачі вирішуються шляхом модернізації класичних методів цифрового вимірювання частоти, які різними схемотехнічними та математичними методами намагаються зменшити притаманну їм похибку дискретності, яка залежить від часу вимірювання. [1–3, 5, 6, 8].

В той же час існують, інші неklasичні підходи до процедури вимірювання частоти з позицій теорії Фазочастотних вимірювань та перетворень радіосигналів (ФЧВ і ПР), які вказують на принципову можливість значно покращити проблемний параметр: *точність вимірювання × швидкодія вимірювання* саме для частоти радіосигналів [4, 12–14].

Однак, питання інструментальних можливостей роздільної здатності апаратури є тією технічною межею, якої можливо досягнути при реалізації вимірювача частоти за методом коінциденції, потребує більш детального аналізу та дослідження. Незважаючи на величезну кількість методів та способів вимірювання частоти, які здатні забезпечувати як широкий частотний діапазон, так і високу точність вимірювання, питання одночасного підвищення як точності так і швидкодії, для потреб сьогодення не вирішені, навіть такими потужними методами, якими є цифрові [2, 5, 6].

Фактори, що визначають точність часових вимірювань є властивостями та особливостями побудови і роботи електронних схем формування сигналів [3, 8,].

Метою статті є проведення детального дослідження механізмів виникнення та способів усунення методичних та інструментальних похибок притаманних саме класичній цифровій частотометрії.

Об'єкт дослідження є процес цифрового вимірювального перетворення.

Предмет дослідження – аналіз методичних і інструментальних похибок вимірювального перетворення частоти в класичних цифрових частотомірах.

Результати дослідження

Серед цифрових приладів частотно-часової групи електронно-лічильні частотоміри (надалі цифрові частотоміри – ЦЧ) є найбільш поширеними, що пояснюється їх універсальністю, високими метрологічними і експлуатаційними характеристиками.

В основу побудови ЦЧ покладені загальні принципи, що дозволяють реалізувати ряд режимів

роботи приладу для вимірювання кількох величин. Функціонально повні ЦЧ дозволяють вимірювати наступні величини: частоту, період, відношення двох частот (іноді виражене у відсотках), тривалість імпульсу або інтервалу часу, що задається користувачем; передбачаються також режим рахунку подій (імпульсів) і використання ЦЧ як джерела сигналів з відомими (каліброваними) частотами. Режими роботи задаються і вибираються станом низки перемикачів (механічних або електронних) та інших органів управління. У простіших варіантах виконання ЦЧ використовуються для вимірювання меншого числа величин (наприклад, однієї або двох) [3, 5, 6].

У кожному режимі частина структури ЦЧ залишається незмінною і в ній відбувається рахунок числа імпульсів, пропорційного вимірюваній величині. Ці імпульси проходять через електронний ключ ЕК, що знаходиться в замкнутому стані, на лічильник імпульсів ЛІ. Код числа, що утворюється в ЛІ, надходить на цифровий відліковий пристрій ЦВП. До складу ЦВП входить багатodeкадний цифровий індикатор із переміщеннями коми і, як правило, індикатор з позначенням одиниць вимірювання.

Час замкнутого стану ЕК називається часом рахунку ЛІ і визначається родом вимірюваної величини, а його конкретне значення - низкою міркувань, про які буде сказано нижче. Методи вимірювання частоти, які використовуються в сучасних приладах, ґрунтуються на класичному визначенні частоти як величини оберненої до періоду [2]. Структурна схема ЦЧ в цьому режимі роботи наведена на рис. 1.

Напряга частоти f_x , що вимірюється (рис. 1,б) подається на вхід формувального пристрою (ФП), призначення якого - формування сигналів стандартної форми при досить довільній формі вхідного сигналу. Зазвичай, до складу ФП входять підсилювач-обмежувач, що забезпечує задану амплітуду свого вихідного сигналу, і формувач для забезпечення малої тривалості фронту і зрізу імпульсів на виході ФП. Частота цих імпульсів дорівнює частоті вхідного сигналу (рис. 1,в). Ці імпульси подаються через ЕК на ЛІ протягом часу рахунку T_p , яке задається генератором опорної частоти (ГОЧ) і дільником частоти ДЧ. Частота ГОЧ стабілізована кварцовим резонатором. Необхідна величина T_p вибирається перемикачем ЧАС РАХУНКУ. При кожному запуску приладу на виході ДЧ з'являється один імпульс (рис. 1,в), під дією якого замикається ЕК [2, 3].

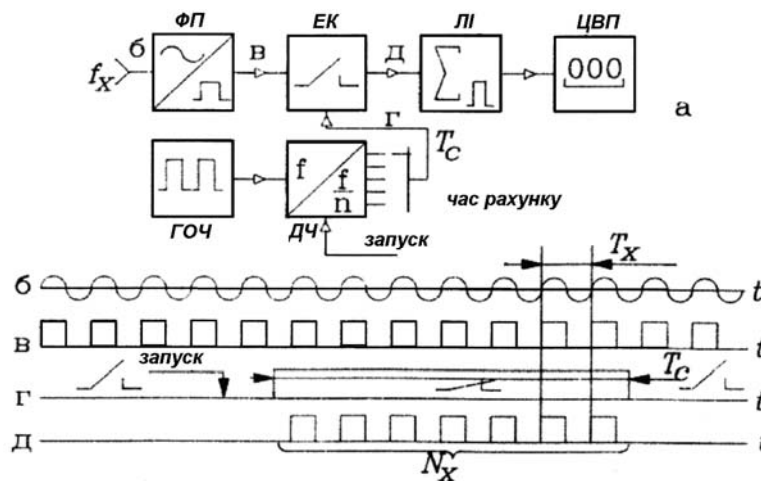


Рис. 1. Структурна схема цифрового частотоміра в режимі вимірювання частоти та часові діаграми в характерних точках

Число імпульсів N_x , що минув на ЛІ, визначається наближеною формулою:

$$N_x = \frac{T_p}{T_x} = T_p f_x, \quad (1)$$

а значення вимірюваної частоти -

$$f_x = \frac{N_x}{T_p}. \quad (2)$$

Вимірювання періоду цифровим частотоміром представлено на рис. 2

Структура ЦЧ в цьому режимі наведена на рис. 2,а. У цьому режимі час замкнутого стану ЕК задається періодом (або n періодами). Вхідний сигнал, період якого T_x вимірюється (рис. 2, б) так само, як і при вимірюванні частоти, подається на вхід ФП. Вихідний сигнал ФП (рис. 2, в) надходить на дільник частоти ДЧ (множник періодів T_x). Число n (зазвичай n - це 1, 10, 10^2 , 10^3 або 10^4) вибирається перемикачем ЧАС РАХУНКУ, тобто, nT_x . При запуску на виході ДЧ з'являється імпульс по тривалості рівний nT_x (рис. 2, г), протягом якого ЛІ підраховує пройдений за цей час імпульси з відомим періодом проходження $T_{\text{такт}}$

(рис. 2,д), які часто називаються «мітками часу» [2]. Число імпульсів N_x і період T_x , наближено визначаються формулами (3) і (4) [2, 5, 6]:

$$N_x = \frac{nT_x}{T_{\text{такт}}}, \tag{3}$$

$$T_x = \frac{N_x T_{\text{такт}}}{n}. \tag{4}$$

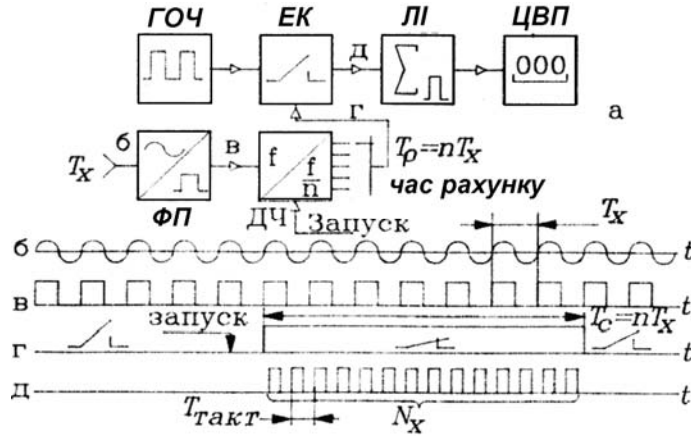


Рис. 2. Структурна схема ЦЧ в режимі вимірювання періоду та часові діаграми в характерних точках

Відомо, що частота f і період T пов'язані формулою [3]:

$$1 = f \cdot T. \tag{5}$$

Тому, через пряме вимірювання однієї з цих величин можна знайти результат непрямого вимірювання іншої.

Розглянемо більш детально похибки вимірювання частоти. У режимі вимірювання частоти протягом T_c підраховуються імпульси, які поступають із вимірюваною частотою f_x (рис. 3).

Для цього випадку маємо:

$$T_{\text{рах}} = N_x T_x - t_1 + t_2 \tag{6}$$

Якщо не докладати спеціальних заходів щодо синхронізації імпульсу $T_{\text{рах}}$ та імпульсів вимірюваної частоти (тобто, якщо не задається примусово певне положення цих імпульсів по відношенню один до одного), то інтервали t_1 і t_2 є незалежними величинами, значення кожної з яких лежить в інтервалі $\{0 - T_x\}$ і тому

$$-T_x \leq -t_1 + t_2 \leq +T_x. \tag{7}$$

Поділивши обидві частини рівняння (6) на добуток $T_c \cdot T_x$, отримуємо:

$$f_x = \frac{N_x}{T_c} \pm \frac{q}{T_c}, \tag{8}$$

з урахуванням того, що

$$f_x = \frac{1}{T_x} \text{ і } q = \frac{-t_1 + t_2}{T_x}, \quad 0 \leq q \leq 1.$$

У режимі вимірювання частоти величина $\frac{1}{T_c}$ є ціною одиниці молодшого розряду лічильника ($C_f = \frac{1}{T_c}$), що має розмірність Герц (с^{-1}). Залежно від вибраного значення T_c будемо мати [3–7]: $C_f = 1\text{Гц}$ ($T_c = 1\text{с}$); $C_f = 10\text{Гц}$ ($T_c = 0,1\text{с}$); $C_f = 0,1\text{Гц}$ ($T_c = 10\text{с}$) і т. д.

Тому формулу (8) можна представити у вигляді:

$$f_x = N_x C_f \pm q C_f. \quad (9)$$

Випадкову складову похибки називають $\Delta_1 = \pm q C_f$ похибкою рахунку (при більш строгому підході у цій похибці виділяють дві складові: похибку дискретності і похибку несинхронізації).

Відносне значення цієї похибки однакове [7]:

$$\delta_1 = \frac{\Delta_1}{f_x} 10^2 = \frac{q}{T_c} 10^2. \quad (10)$$

Причому

$$\delta_{1\max} \leq \frac{1}{T_c} 10^2. \quad (11)$$

Іншим джерелом похибок ЦЧ є відхилення T_c від номінального значення і його нестабільність. У ЦЧ T_c формується з цілого числа періодів коливань кварцового генератора, для якого характерна надзвичайно висока стабільність частоти генерованих ним коливань. Для зменшення впливу температури середовища в ЦЧ застосовується термостатування генератора.

Таким чином, друга складова похибки вимірювання частоти визначається нестабільністю частоти кварцового генератора [7]:

$$\delta = \frac{\Delta f_0}{f_0} 10^2 [\%]. \quad (12)$$

І тому $\delta_{T_c} = \delta_0$. Отже,

$$\Delta_2 = \frac{N_x}{T_c} \delta_0 10^{-2} = f_x \delta_0 10^{-2} \quad (13)$$

і

$$\delta_2 = \frac{\Delta_2}{f_x} 10^2 = \delta_0. \quad (14)$$

Сумарні похибки вимірювання частоти рівні [3, 7]:

$$\Delta_{f_x} = \Delta_1 + \Delta_2 = \pm \left(\frac{1}{T_c} + f_x \delta_0 10^2 \right) [\Gamma\text{Ц}], \quad (15)$$

$$\delta_{f_x} = \pm \left(\frac{10^2}{f_x T_c} + \delta_0 \right) [\%]. \quad (16)$$

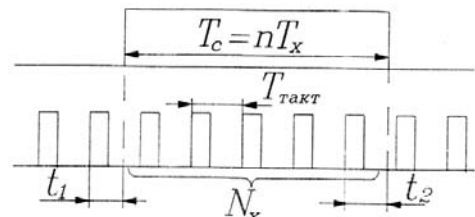


Рис. 4. Пояснення утворення похибки вимірювання періоду

Розглянемо більш детально похибки вимірювання періоду (рис. 4).

При вимірюванні періоду (рис. 4) протягом T_x (або nT_x) на СІ проходять імпульси з відомим періодом проходження $T_{\text{такт}}$ і тому (див. рис. 4,б)

$$T_x = N_x T_{\text{такт}} - t_1 + t_2. \quad (17)$$

Так само, як і в попередньому випадку, $-t_1 \div t_2$ - є випадковою величиною, причому:

$$-T_{\text{такт}} \leq -t_1 + t_2 \leq +T_{\text{такт}},$$

тобто:

$$\Delta_1 = q T_{\text{такт}} = q C_T. \quad (18)$$

При вимірюванні за n періодів маємо:

$$nT_x = N_x T_{\text{такт}} - t_1 + t_2 \quad (19)$$

або

$$T_x = N_x \frac{T_{\text{такт}}}{n} + q \frac{T_{\text{такт}}}{n} = N_x \frac{C_T}{n} \pm q_T \frac{C_T}{n}, \quad (20)$$

що еквівалентно зменшенню ціни одиниці молодшого розряду в n разів.

Період проходження імпульсів $T_{\text{такт}}$ задається тим же кварцовим генератором, і всі попередні зауваження щодо нестабільності T_c повністю справедливі і для цього режиму роботи [2, 7]. Тому:

$$\Delta_2 = N_x T_{\text{такт}} \delta_0 10^{-2} = T_x \delta_0 10^{-2}, \quad (21)$$

$$\delta_2 = \frac{\Delta_2}{T_x} 10^2 = \delta_0. \quad (22)$$

Сумарні похибки (абсолютна і відносна) вимірювання періоду визначаються виразами:

$$\Delta_T = \Delta_1 + \Delta_2 = \pm (T_{\text{такт}} + T_x \delta_0 10^{-2}) [\text{C}], \quad (23)$$

$$\delta_T = \delta_1 + \delta_2 = \pm \left(\frac{T_{\text{такт}}}{nT_x} 10^2 + \delta_0 \right) \cdot [\%]. \quad (24)$$

Узагальнений вигляд залежностей методичних похибок співпадає із аналогічними характеристиками методів послідовної лічби (ЕРЧ), та методу оберненої лічби (*reciprocal*), що показано на рис. 5.

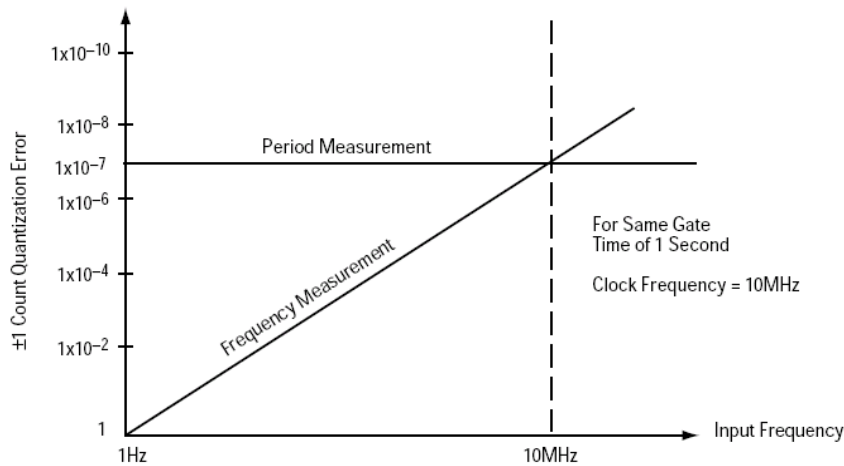


Рис. 5. Графік порівняння ефективності методів послідовної лічби та вимірювання через період

В обох випадках похибка дискретності залежить і від опорної частоти $f_{\text{clock}} = 10\text{МГц}$ та часу вимірювання $T_{\text{measur}} = 1\text{с}$, а при його зменшенні чи невизначенній тривалості похибки у відповідну кількість разів збільшуються, або вимірювання стають неможливими.

Тому для типового випадку сигналу із невизначеним часом доступу (існування) є радіоімпульсний сигнал, а єдиним придатним методом вимірювання є Фазочастотний підхід до поняття частоти і вимірювання за методом коінциденції [2, 7].

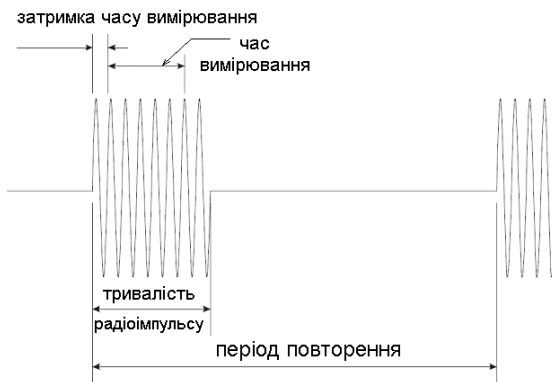


Рис. 6. Радіоімпульсний сигнал

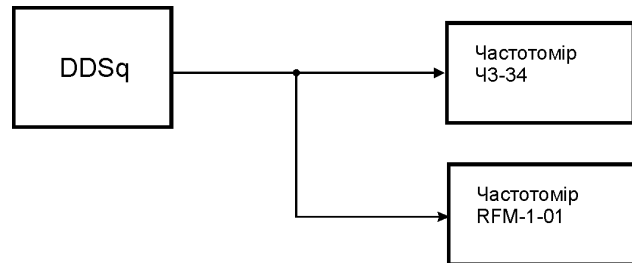


Рис. 7. Схема установки для порівняння швидкодії перебудови та точності вимірювання частотомірів ЧЗ-34 та RFM-1-01

Порівняння ефективності сучасних відомих та розробленого методу і частотоміра коінциденції за критерієм точність x швидкодія

Для знаходження конкретних цифрових значень покращення визначального для випадку вимірювання частоти в РТС і ТКС (сигналу типу радіоімпульс рис. 6) є сенс провести саме порівняння трипараметрової величини, яка пов'язує визначальні параметри для випадку вимірювання частоти цифровими методами. Лише за цих умов, якісні характеристики та переваги методу коінциденції отримані в [2, 7] набувають аналітичної доказової бази і можуть слугувати методичним матеріалом вже для проектування частотомірів коенциденції із наперед заданими параметрами точності та швидкодії вимірювання частоти в РТС і ТКС.

Такими параметрами виступають:

f_{on} – частота опорного генератора (опорна частота вимірювань);

f_x – частота сигналу який підлягає вимірюванню;

$T_c (T_{\text{вим}})$ – час вимірювання, він же час доступу до сигналу;

Δ_f – абсолютна похибка вимірювання частоти (роздільча здатність).

Так відомі методи [3, 5, 6, 9, 10, 11] прийнято оцінювати за узагальненою формулою:

$$f_o \geq 3 \frac{f_x}{\Delta_f T_c} \quad (24)$$

Дана форма запису є незручною для порівняння, тому перепишемо її у вигляді:

$$\delta_{f_x} = \frac{3}{f_{on} T_{вим}} \quad (25)$$

Для методу коінциденції можливо записати систему рівнянь які пов'язують вказані параметри і розглянуті в [12–14].

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{вим} = \frac{N_{on}}{f_{op}} \\ f_x = \frac{N_x}{N_{on}} f_{on} \\ \Delta f_x \cong \frac{f_x}{2^{2n_{on}-2}} \\ \delta_{f_x} \cong \frac{1}{2^{2n_{on}-2}} \end{array} \right. \quad (26)$$

Якщо перші два рівняння відомі і є наслідком методу коінциденції, то третя і четверта формули (досить наближена оцінка) є аналітичним відображенням збільшення густини поділок на шкалі відношень за умови розрядності цифрових значень в двійковій системі n_{on} , а N_{on}, N_x відповідно цифрові значення чисельника та знаменника дробово-раціональної шкали вимірювань.

Із системи рівнянь (26) досить легко можливо знайти всі параметри частотоміра, і необхідний нам для порівняння комплексний параметр, який пов'яже визначальні величини, який можна записати як:

$$\delta_{f_x} \cong \frac{4}{T_{вим}^2 f_{on}^2} = \left(\frac{2}{T_{вим} f_{on}} \right)^2 \quad (27)$$

Звідки вираш методу коінциденції над іншими відомими цифровими методами можливо оцінити як:

$$B = \frac{\delta_{fk_{класс}}}{\delta_{fk_{коинц}}} = \frac{\frac{3}{f_{on} T_{вим}}}{\left(\frac{2}{T_{вим} f_{on}} \right)^2} = \frac{3}{4} \cdot f_{on} T_c = \frac{3}{4} \cdot N_{on} = 3 \cdot 2^{n_{on}-2} \quad (28)$$

Вказаний аналітичний вираз оцінки вирашу у комплексному параметрі (точність вимірювання x швидкість вимірювання) показує таку ж функціональну залежність, яку ми спостерігали досліджуючи кількість поділок на шкалі вимірювання частотоміра коінциденції в залежності від розрядності (значень) представлення результатів у лічильниках чисельника та знаменника [12–14].

Порівняльні характеристики точності та швидкодії вимірювання частоти найкращим із сучасних частотомірів CNT-90 і Fetronics RFM-01-1 та його фото наведено на рис. 8, та рис. 9.

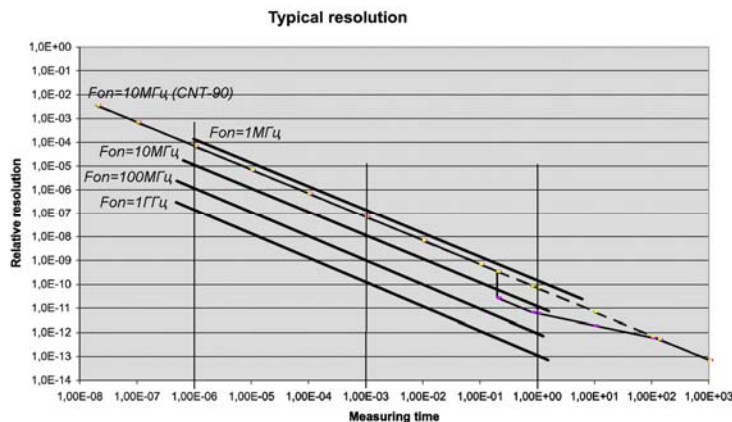


Рис. 8. Порівняння характеристик частотомірів коінциденції із «найкращим у світі» частотоміром CNT-90



Рис. 9. Частотомір FETRONICS RFM-01

Вимірювання частоти радіоімпульсних сигналів за допомогою частотоміра коінциденції

Вимірювання частоти як звичайних (необмежених у часі), так і радіосигналів за схемами підключення не має принципової різниці, але при невиконанні умови, коли час вимірювання є більшим або рівним часу

існування (доступу) до сигналу вірне вимірювання відбуватися не може.

Для практичних досліджень теоретичних висновків та результатів моделювання були проведено практичні дослідження двох зразків вимірювачів частоти за методом коінциденції (рис. 9), які являють собою частотомір FETRONICS RFM-01 (завершений прилад із індикатором), а також швидкодіючий вимірювальний перетворювач у вигляді блока з USB виходом, для підключення до комп'ютера.

Висновки

Встановлено, що в рамках фазочастотного підходу до вимірювання частоти за методом коінциденції (співпадіння) можливо утворити вимірювальну шкалу з розрізняльною здатністю на декілька порядків вищою ніж у існуючих цифрових методів при одночасному зменшенні часу вимірювання [12, 13]. Тільки використання фазочастотного підходу до визначення частоти, і застосування фазочастотних вимірювань, де первинною є повна фаза сигналу, а частота визначається як похідна, принципово вирішує зазначені вище проблеми, підвищуючи одночасно і точність і швидкодію вимірювання частоти. Використання в цифрових вимірювачах фазочастотної моделі вимірювань усуває методичну похибку, залежність від часу вимірювання, і теоретично обмежена інструментальною та розрядною сіткою цифрового представлення результатів вимірювання.

Література

1. Гутников В. С. Фильтрация измерительных сигналов / Гутников В. С. – Л. : Энергоатомиздат. Ленинград. Отд–ние, 1990. – 192 с.
2. Измерения в электронике : справочник / В. А. Кузнецов / [и др.] ; под ред. В. А. Кузнецова. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 512 с.
3. Швецкий Б. Н. Электронные цифровые приборы / Швецкий Б. Н. : [2-е изд. , перераб. и доп.] – К. : Техника, 1991. – 191 с.
4. Троцишин И. В. Новые возможности обработки и измерения параметров радиосигналов на основе фазочастотных методов / И. В. Троцишин // СВЧ-техника и спутниковый прием : материалы 3–й Крымской конф. – Севастополь, 1993. – С. 189–192.
5. Основи метрології та вимірювальної техніки: підручник : у 2т. / [М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник, В. Василюк, Р. Борек, А. Ковальчик]; За ред. Б. Стадника. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2005. – Т. 1. Основи метрології. – 532 с.
6. Основи метрології та вимірювальної техніки: підручник : у 2т. / [М. Дорожовець, В. Мотало, Б. Стадник, В. Василюк, Р. Борек, А. Ковальчик]; За ред. Б. Стадника. – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2005. – Т. 2. Вимірювальна техніка. – 656 с.
7. Троцишина Л. В. Особливості частоти як вимірювальної величини та класифікація методів її вимірювання / Троцишина Л. В., Войтюк О. П., Любчик В. Р., Троцишин І. В. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – Хмельницький, 2007. – № 2. – С. 191–202.
8. А. с. 1191839 СССР, МКИ G 01 R 23/02. Устройство для сравнения частот / В. Е. Брагин, А. В. Макаров (СССР). – опубл. 15. 11. 85, бюл. № 42. – 5 с.
9. A High Frequency Reference Module / Valpey Fisher Corporation // Microwave Journal. – 2005, April.
10. CNT–91 & CNT–90 50ps&100ps Timer/Counter/Analyzers [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.pendulum-instruments.com/pdf/.../12-pd_cnt-90_rev15_200906.pdf.
11. Fundamentals of the Electronic Counters . Application Note 200. Electronic Counter Series. Hewlett-Packard Co. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.Agilent.com>. Agilent Technologies, Understanding Frequency Counter Specifications.
12. Троцишин І. В. Дослідження статичних та динамічних характеристик дробоворазомірної шкали вимірювань за методом коінциденції / І. В. Троцишин, О. П. Войтюк, Л. В. Троцишина // Матеріали IV-ї Міжнародної науково-технічної конференції “Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та приладобудування (СПРТП – 2009)”. – Вінниця, 2009. – С. 86.
13. Троцишин І. В. Вимірювання частоти за методом коінциденції та особливості утворення шкали вимірювального перетворення / І. В. Троцишин, О. П. Войтюк, Л. В. Троцишина // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 3. –Технічні науки. – С. 240–244.
14. Троцишин И. В. Исследование метрологических характеристик шкалы измерителя частоты по методу коинциденции / И. В. Троцишин, О. П. Войтюк, Л. В. Троцишина // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии : материалы 18-ой международной Крымской конференции, Севастополь, 8–12 сентября 2008 г. –Т2. – С. 685–687.

Надійшла 9.9.2010 р.

УДК 687.016.5

О.М. ЛУЩЕВСЬКА, А.Л. СЛАВІНСЬКА, О.М. ТРОЯН

Хмельницький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ СПЕЦІАЛЬНОГО ОДЯГУ

Розроблено функціонально-логічні моделі процесу проектування спеціального одягу для перукарів та визначено проектну ситуацію при розробленні цього одягу. Запропоновано художньо-конструктивне рішення жіночої блузи-фартуха, що забезпечує відповідність проєктованого одягу умовам та характеру праці перукарів.

The functionally logical models of process of planning of the special clothes are developed for hairdressers and certainly project situation at development of this clothes. Artistically structural solution of shirt-waist-apron which provides accordance of the designed clothes terms and character of labour of hairdressers is offered.

Ключові слова: методи моделювання, проектна ситуація, спеціальний одяг для перукарів.

Постановка проблеми

В умовах розвитку ринкових відносин зі значним збільшенням кількості перукарень та салонів краси постає питання забезпечення персоналу підприємств сфери послуг високоякісним спеціальним одягом. Такий одяг, що призначений для захисту працівника від забруднень, повинен відповідати умовам праці перукарів та вимогам існуючих нормативних документів [1, 2]. Розроблення спеціального одягу для перукарів ускладнене різноманітністю чинників, що визначають категорію перукарні за рівнем обслуговування. Розрізняють перукарні вищої, першої та другої категорій [2]. Існують також соціальні перукарні, які надають послуги при лікарнях, місцях позбавлення волі, притулках. Від категорії перукарні залежить якість надання послуги, майстерність фахівців, використання сучасних засобів та обладнання, перелік послуг, а відповідно і час обслуговування клієнта. У відповідності до вимог нормативних документів, обов'язковим під час надання послуг працівниками перукарень першої, другої категорій та соціальних закладів є спеціальний одяг, а для працівників перукарень вищої категорії – фірмовий одяг. Усі ці чинники відображаються на вимогах до спеціального одягу для перукарів та його застосуванні (одноразовий чи змінний одяг). Така різноманітність чинників перешкоджає формуванню вимог до спеціального одягу для перукарів. Тому, з метою виготовлення якісного спеціального одягу для перукарів, необхідною є конкретизація проектної ситуації в ході його проектування, що дозволить забезпечити на виході цілісність його властивостей та надати рекомендації щодо експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Згідно з [3, 4] найвища ефективність процесу проектування одягу досягається при його моделюванні. Використання методів моделювання дозволяє створювати моделі складних систем та виконувати аналіз властивостей систем на основі дослідження їх моделей. Так, автор [3] використовує методи моделювання для передбачення властивостей технічних процесів проектування конструкції одягу. Оскільки технічні процеси проектування конструкції одягу є складною системою, то автор пропонує для вирішення часткових питань використовувати різні види моделей (структурні, ієрархічні, функціональні).

Також відоме [5] використання методів моделювання для декомпозиції процесу модульного проектування одягу на основі використання функціональних моделей, що відображають інформаційний стан досліджуваного об'єкта та процеси змінювання його стану. Згідно з [5] забезпечення цілісності властивостей проєктованого одягу можливе за умови вирішення раціонального розташування проектних процедур в пакеті проектних рішень на кожному етапі декомпозиції процесу проектування. Тому необхідним є розроблення моделей процесу проектування спеціального одягу для перукарів та визначення проектної ситуації при розробленні цього одягу.

Формулювання мети та постановка завдання

Метою дослідження є визначення проектної ситуації при розробленні спеціального одягу для перукарів.

Завдання дослідження:

- розроблення функціонально-логічних моделей проектних ситуацій при проектуванні спеціального одягу;
- визначення проектної ситуації при розробленні спеціального одягу, що буде забезпечувати ефективність процесу проектування;
- оцінювання проектних рішень.

Виклад основного матеріалу

Об'єкти процесу проектування та їхня взаємодія складають єдину інформаційну базу проектування і повністю описуються за допомогою трьох категорій інформації:

- інформації, що описує проект і проектне рішення (Pr);
- інформації, що описує вихідні дані для кожного завдання (D_n);

- інформації, що описує ситуації, які виникають при проектуванні (St).

Множини $Pr \times D_n \times St$ утворюють простір стану Q . Вихідні дані описують вимоги до об'єкта проектування в деталізації, придатній до алгоритмізації. Ситуації розглядають вплив середовища на проєктований об'єкт і описують умови взаємодії об'єктів проектування, середовища та вихідних даних.

Отже, математична модель процесу проектування, як складної системи, в загальному вигляді описується сукупністю відносин і множин [5], що визначають функції, набір ситуацій та вихідних даних на усіх етапах декомпозиції процесу проектування спеціального одягу для перукарів:

$$G_{\text{ПСО}} = (Q^{\text{ПСО}} : \{TЗ\} \xrightarrow{P_{\text{ПСО}}} КД, \quad St^{\text{ПСО}} = \{St_i\}, \quad D_n^{\text{ПСО}} = \{D_{n_i}\}, \quad (1)$$

де $G_{\text{ПСО}}$ – функція проектування спецодягу;

$Q^{\text{ПСО}}$ – простір стану проектування спецодягу;

$TЗ$ – технічне завдання для проектування спецодягу;

$КД$ – конструкторська документація для проектування спецодягу;

$P_{\text{ПСО}}$ – функція переходу від етапу $TЗ$ до $КД$;

$St^{\text{ПСО}}$ – проектні ситуації, що виникають при проектуванні спецодягу;

St_i – проектні ситуації, що виникають на i -му етапі проектування;

$D_n^{\text{ПСО}}$ – вихідні дані для задач проектування спецодягу;

D_{n_i} – вихідні дані для i -ї задачі проектування спецодягу.

Математичні моделі, що відображають інформаційний стан досліджуваного об'єкта та процесу змінювання стану, відносяться до функціональних [3].

Реалізація функції першого етапу допроектних досліджень видів спеціального одягу для перукарів представляє собою результат аналізу пошуку і вибору певного прототипу асортименту (Pr_{MA}) із множин MA можливих видів асортименту $A = \{A_1, A_2 \dots A_m\}$. Дослідження асортименту існуючого спеціального одягу для перукарів дозволило встановити, що множина MA включає підмножину плечових видів одягу (A_1), доповнюючих видів одягу (A_2), об'єднаних видів одягу (A_3) та комплектів (A_4).

Як показав аналіз умов праці перукарів, традиційним змінним спеціальним одягом для перукарів є халат і блуза. Властивості форми цього одягу підпорядковані робочим рухам перукаря в процесі виконання професійних дій. Тобто якісна класифікація спеціального одягу передбачає розподіл за принципом геометричного образу виробу (A_1^0) і відношення його до фігури (A_1^1).

На формування множини MA впливає досягнутий на ринку послуг рівень споживання. Наявність трьох категорій перукарень за рівнем обслуговування: перукарні вищої категорії (A), перукарні першої та другої категорій (B), соціальні заклади (C), – визначає умови формування якості підмножин:

$$Y_{MA} = \{Y_A, Y_B, Y_C\}. \quad (2)$$

Для перукарень вищої категорії структурні елементи підмножин A_1, A_2, A_3, A_4 розглядають як ексклюзив модних тенденцій:

$$Y_{An} = \{Y_{A_1}, Y_{A_2}, Y_{A_3}, Y_{A_4}\}. \quad (3)$$

Тобто це повинні бути адресні моделі спеціального одягу, які передбачають варіанти як одноразового використання, так і змінного використання.

Тоді

$$Y_{A_1} = \{Y_A^1, Y_B^1\}, \quad (4)$$

де Y_A^1 – ексклюзивні моделі;

Y_B^1 – перспективні моделі.

Структурні елементи підмножини A_2 (доповнюючі види одягу) відповідають лише сукупності вимог щодо одягу працівників перукарень категорій B і C , а саме фартуха, який є обов'язковим згідно з існуючими санітарними вимогами та найчастіше використовується працівниками різних категорій перукарень. Тоді

$$Y_{A_2} = \{Y_B^1, Y_B^2, Y_C^1\}, \quad (5)$$

де $Y_B^1 \in K_C$ – сучасні моделі;

$Y_B^2 \in K_p$ – рекомендовані моделі;

$Y_C^1 \in K_i$ – індивідуальні моделі.

Структурні елементи підмножини A_3 , а це об'єднані види одягу, розглядають з позиції використання у перукарнях категорій A і B з урахуванням рівня відповідності таких моделей:

$$Y_{A_3} = \{Y_A^1, Y_B^1, Y_B^2\}. \quad (6)$$

Структурні елементи підмножини A_4 (комплекти) доцільно розглядати для перукарень категорій A , B , але з урахуванням вимог адресності застосування та рентабельності виробів:

$$Y_{A_4} = \{Y_A^1, Y_B^1\}. \quad (7)$$

Для визначення асортименту спеціального одягу, який би відповідав умовам та характеру праці перукарів, проведено анкетне опитування працівників перукарень різних категорій. За результатами опитування конструктивним прототипом спеціального одягу для перукарів обрана блуза.

Множина K включає підмножини типових (K_1), базових (K_2) та модельних конструкцій (K_3):

$$K \supseteq K_1 \cup K_2 \cup K_3. \quad (8)$$

Умовою формування множини K обрано досягнутий рівень якості конструктивних рішень підмножин конструкцій, який визначається сукупністю споживчих (Y_1) та техніко-економічних показників (Y_2). Підмножина типових конструкцій K_1 відповідає всьому комплексу вимог (Y_1, Y_2). Підмножина базових конструкцій K_2 відповідає певній сукупності із комплексу цих вимог:

$$Y_{K_2} = \{Y_{121}, Y_{131}, Y_{141}\}, \quad (9)$$

де $Y_{121} \in Y_{21}$ – показник відповідності призначенню;
 $Y_{131} \in Y_{31}$ – стильова новизна конструкції;
 $Y_{141} \in Y_{41}$ – показник антропометричної відповідності.

Елементи підмножини модельної конструкції K_3 акцентують увагу на наступних показниках:

$$Y_{K_3} = \{Y_{2121}, Y_{2141}, Y_{2241}, Y_{2131}, Y_{2341}\}, \quad (10)$$

де $Y_{2121} \in Y_{121}$ – показник відповідності умовам праці;
 $Y_{2141} \in Y_{141}$ – показник динамічної відповідності;
 $Y_{2241} \in Y_{241}$ – показник ступеня вентилявання;
 $Y_{2131} \in Y_{131}$ – показник конструктивного членування форми;
 $Y_{2341} \in Y_{341}$ – показник зручності користування окремими елементами.

Отже, показники підмножини K_3 дозволяють на етапі вибору конструктивного прототипу більш диференційовано підійти до забезпечення якості проєктованого виробу.

Найбільш ефективною із трьох ситуацій ($St_{11}, St_{12}, St_{13}$) етапу вибору конструктивного прототипу є ситуація St_{13} , для якої конструктивним прототипом є модельна конструкція K_3 :
 $K_3 = \{K_{31}, K_{32} \dots K_m\}$.

Формалізований опис пошуку конструктивного прототипу виглядає наступним чином. Для множин можливих структур конструктивного прототипу $Pr_K = \{Pr_{K_1}, Pr_{K_2}, Pr_{K_3}\}$ обирають такий варіант $Pr_{K_3} \in Pr_K$, для якого значення структурних елементів K_i із множини конструкцій і членувань деталей $TK = \{t_1, t_2 \dots t_n\}$ (чи певна сукупність із них) відповідає значенням окремих критеріїв вектора пошуку \overline{KPr}_{TK} .

В ознаках зовнішнього вигляду виробів спеціального одягу задіяні силует, крій, конструкція застібки, назви вузлів, вид матеріалу.

Проектні ситуації розроблення конструкції спеціального одягу для перукарів розглядають наступні варіанти модифікування конструктивного прототипу: модифікування основних деталей (D_1), запозичення конструктивно-декоративних елементів (D_2), використання типових (D_3) і уніфікованих деталей (D_4) множини D :

$$D \supseteq D_1 \cup D_2 \cup D_3 \cup D_4. \quad (11)$$

Із множини проектних ситуацій розроблення конструкції спеціального одягу для перукарів $St_2 = \{St_{21}, St_{22}, St_{23}, St_{24}\}$ ефективність процесу проєктування будуть забезпечувати лише ті, для яких

трудомісткість перетворення прототипу (T_{MK}) не перевищує трудомісткість розроблення нової моделі (T_M) на всіх етапах проектування. Тобто вибір елементів із множини St_2 повинен відповідати умові $T_{MK} < T_M$. Виконання цієї умови забезпечує застосування сучасних автоматизованих систем проектування одягу.

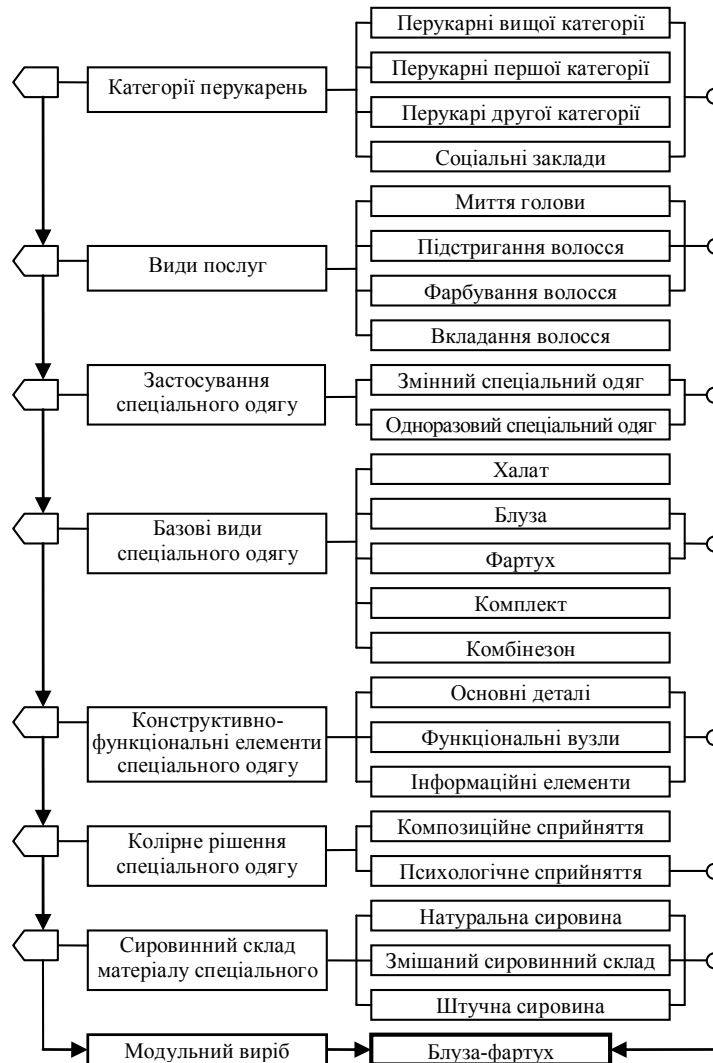


Рис. 1. Структурно-логічна модель визначення проектної ситуації при розробленні спеціального одягу для перукарів

Аналіз проектних ситуацій, що виникають при проектуванні спеціального одягу для перукарів (рис. 1) дозволив встановити, що забезпечення вимог адресності застосування спеціального одягу, а саме для надання послуг миття голови, підстригання та фарбування волосся працівниками перукарень вищої категорії та соціальних закладів дозволить забезпечити модульний вибір, який поєднує в собі найбільш поширені види спеціального одягу для перукарів блузу та фартух.

Відповідно до розробленої функціонально-логічної моделі визначення вектору проектної ситуації, з урахуванням категорії перукарні та необхідних і можливих застосувань одягу, запропоновано структуру модулів інформації для проектування спеціального одягу для перукарів (рис. 2).

Отже, запропоновано модульний вибір – блуза-фартух, в якому об'єднано два базових виробів: блуза, що забезпечує захист верхньої частини тіла та фартух для захисту переду і боків нижньої частини тіла (одягу) працівника. Інформаційними елементами, що визначають особливості застосування спеціального одягу для перукарів, є матеріал для його виготовлення, колірне вирішення та фірмовий знак закладу.

При виборі конструктивного рішення спеціального одягу для перукарів важливим є його максимальна відповідність призначенню та умовам праці, а також спрямованість на забезпечення захисних властивостей. З метою здійснення вибору раціональних конструктивних рішень проведено аналіз 160 сучасних моделей спеціального одягу для перукарів, який дозволив сформулювати базу конструктивних рішень (t_n), обумовлених призначенням цього одягу та умовами праці перукарів (рис. 3). Кольором виділені конструктивні рішення, які найбільш доцільно використовувати при розробці спеціального одягу для перукарів. Отримана база даних є вхідною інформацією для вибору сукупності структурних елементів і членувань деталей типової конструкції проектованого спеціального одягу, що відповідають критеріям вектора пошуку \overline{KPr}_{TK} .

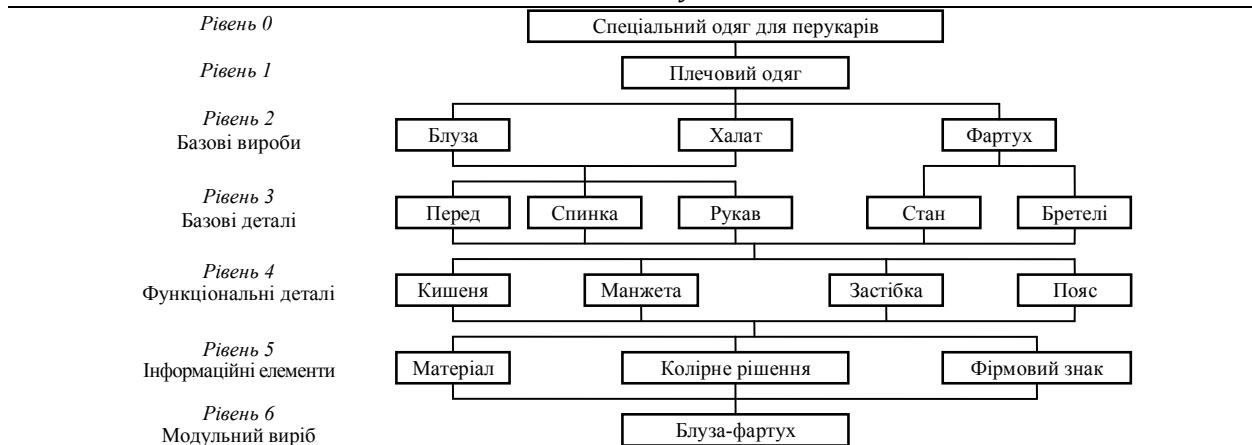


Рис. 2. Ієрархічна структура модулів інформації для проектування спеціального одягу для перукарів

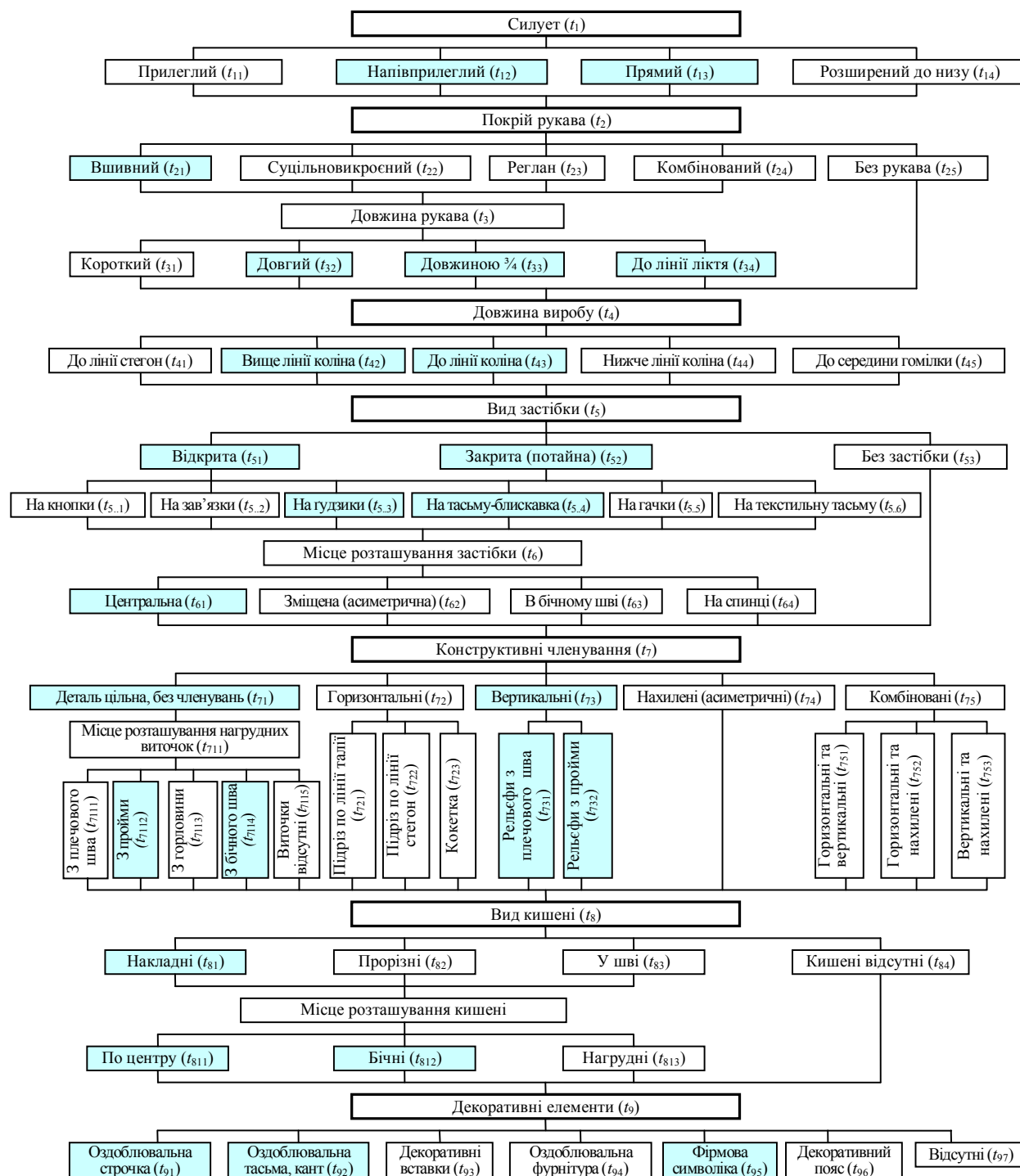


Рис. 3. База конструктивних рішень спеціального одягу для перукарів

Використовуючи ієрархічну структуру модулів інформації (рис. 2) та базу даних (рис. 3) розроблено художньо-конструктивне рішення жіночої блузи-фартуха для перукарів (рис. 4). Блуза-фартух одноразового призначення має прямий силует, вшивний одношовний рукав, суцільний перед довжиною до лінії колін та спинку, довжиною до лінії стегон. Формотворними елементами переду є нагрудні виточки з бічного шва. На деталі переду по центру розташована накладна кишеня. Спинка з розрізом згори від горловини до лінії грудей. Рукав довгий з ліктьовою виточкою. Застібка центральна на текстильну тасьму у верхній частині розрізу спинки; по лінії талії спинки – зав'язки.

Для виготовлення одноразового спеціального одягу для перукарів, обрано нетканий поліпропіленовий матеріал, що дозволяє забезпечити необхідні захисні властивості такого одягу при достатніх показниках гігієнічних властивостей. Рекомендованими колористичними рішеннями блузи-фартуха є одноколірне рішення. Оскільки одним із можливих застосувань одноразової блузи-фартуха є використання його під час надання послуги у перукарнях вищої категорії, необхідним інформаційним елементом є фірмовий знак закладу. Загалом одноразовий спеціальний одяг для перукарів рекомендовано використовувати під час надання послуг у соціальних перукарнях, у перукарнях першої та вищої категорій за бажанням клієнта або за умови економічної доцільності внесення вартості одноразового одягу у вартість надання послуги.

Для використання блузи-фартуха у перукарнях вищої категорії рекомендовано обирати колір або поєднання кольорів у відповідності до фірмового стилю закладу. Також важливим інформаційним елементом цього одягу є фірмовий знак на грудях, який повторює фірмові кольори закладу та робить композиційне рішення виробу довершеним.

Для забезпечення належного захисту перукаря та клієнта від зістриженого волосся рекомендовано використовувати комплект одноразового призначення, що складається з блузи-фартуха для перукарів та пелерини для покриття клієнта, виготовлених з нетканого поліпропіленового матеріалу.

Для використання розробленого спеціального одягу в перукарні необхідним є дозвіл санітарно-епідеміологічної станції, оскільки вся продукція, що використовується в перукарні, згідно з існуючими нормативними документами, повинна бути сертифікованою. Для отримання такого дозволу розроблений одяг був переданий для дослідження у Хмельницьку обласну санітарно-епідеміологічну станцію. За результатами лабораторних випробувань встановлено, що наданий зразок блузи-фартуха для перукарів відповідає встановленим санітарно-гігієнічним вимогам (СанПін № 42– 125– 4390– 87) за вмістом формальдегіду, етилацетату, ацетону, метилового, пропилового, ізопропилового, бутилового та ізобутилового спиртів, гексану, свинцю, кадмію, цинку, міді, кобальту, а також за рівнем напруженості електростатичного поля та може використовуватись за призначенням.

З метою оцінки проектних рішень проведено дослідне ношення розробленого спецодягу, яке згідно з [6], здійснено шляхом визначення працездатності людини в лабораторних умовах та безпосередньо в умовах виробництва. Згідно з методикою [6], перед проведенням дослідного ношення та в кінці кожного циклу робіт виконувалась самооцінка функціонального стану носія, його працездатності, а також виконувалось оцінювання захисних, гігієнічних, ергономічних, естетичних властивостей розробленого одягу. За результатами дослідного ношення встановлено, що розроблений спецодяг не погіршує функціональний стан перукаря, не знижує його працездатність, а за своїм конструктивним рішенням, захисними, ергономічними, гігієнічними, естетичними властивостями відповідає існуючим санітарно-гігієнічним вимогам і може бути використаний як одноразовий спеціальний одяг для перукарів.



Рис. 4. Художньо-конструктивне рішення спецодягу для перукарів

Висновки

Таким чином, розроблені функціонально-логічні моделі допроектних досліджень, що характеризують інформаційний стан проектування спеціального одягу для перукарів, забезпечили створення модульного виробу, який поєднує у собі найбільш поширені види спеціального одягу для перукарів – блузу та фартух. На основі ієрархічної структури модулів інформації та бази конструктивних рішень спеціального одягу розроблено рекомендації щодо художньо-конструктивного рішення жіночої блузи-фартуха одноразового призначення для перукарів, що забезпечують відповідність проєктованого одягу умовам та характеру праці. Рациональність конструктивного рішення блузи-фартуха полягає у поєднанні конструкцій двох базових виробів та забезпеченні захисту верхньої частини, переду і боків нижньої частини тіла та одягу працівника.

Література

1. Державні санітарні правила і норми для перукарень різних типів: ДСПіН 2.2.2.022– 99. – К. 1999.

– 24 с.

2. Послуги перукарень. Загальні вимоги: ДСТУ 4094– 2002. – К.: Держстандарт України, 2002. – 8 с.
3. Славінська А. Л. Основи модульного проектування одягу: [монографія] / Славінська А. Л. – Хмельницький: ХНУ, 2007. – 167 с.
4. Медведева Т. В. Моделирование и оптимизация технических процессов: проектирование конструкций одежды / [учебн. пособ.] / Медведева Т. В. – М., 2008. – 116 с.
5. Славінська А. Л. Наукові основи топологічних процесів модульного проектування одягу: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: спец 05.19.04 / Славінська Алла Людвигівна. – К., 2004. – 44 с.
6. Метод определения работоспособности человека в средствах индивидуальной защиты: ГОСТ 12.4.061– 88. – [Взамен ГОСТ 12.4.061– 79; введ. 1988– 23– 08]. – М.: Изд-во стандартов, 1988. – 14 с.

Надійшла 20.9.2010 р.

УДК 7.012: 001.891

Н.В. ЧУПРИНА

Київський національний університет технологій та дизайну

ПРОГРАМА ПОБУДОВИ ПЕРСПЕКТИВНОЇ КОЛЕКЦІЇ ЖІНОЧОГО КОСТЮМА

Комплексна система проектування викликає необхідність розробки методів функціонального та морфологічного аналізу, проектних класифікацій, виявлення структурних характеристик моделей, визначення найбільш фундаментальних ознак моди.

The complex system of planning causes the necessity of development of methods of functional and morphological analysis, projects classifications, exposure of structural descriptions of models, determination of the most fundamental signs of fashion.

Ключові слова: дизайн-програма, перспективна колекція, модель проектування, базові позиції формоутворення.

Вступ

Роль дизайну у формуванні предметно-просторового оточення змінюється в часі. В наш час дизайн відповідає за все предметно-просторове оточення, а отже, має безпосереднє відношення до стилетворчих процесів, врахування національних традицій, найрізноманітніших процесів художнього формоутворення. Дизайн як посередник між виробництвом та споживачем приділяє увагу, головним чином, узагальненим уніфікованим характеристикам. Будь-яка програма починається з виявлення та обґрунтування проблеми, що підлягає розробці та вирішенню. В системі управління дизайн-програмою має бути й контроль за її реалізацією.

Нові напрямки проектування, що виникають при впровадженні у промисловість перспективних моделей, мають декілька своєрідних рис. Ця своєрідність може бути виявлена шляхом співставлення технічного та художнього проектування, що утворюють єдиний процес раціонального проектування моделей одягу. З метою розробки раціонального підходу до проектування промислових виробів, багатьма авторами створюються окремі методики. Вони, як правило, відрізняються одна від одної, розглядаючи діяльність художника-проектанта з різних точок зору, виділяючи її окремі проблеми та аспекти. У деяких випадках орієнтація на раціоналізацію проектування призводить до недооцінки художньої інтуїції та досвіду спеціаліста.

Постановка завдання

Дизайн-програма – це метод організації проектної діяльності та управління нею. Разом з тим, дизайн-програма – один з етапів проектування. Вибір того чи іншого класу дизайн-програми та розробка конкретної програмної стратегії суттєво залежать від того, з якого роду цільовою програмою у даній конкретній ситуації має справу дизайнер. У зв'язку з цим особливого значення набуває програмно-цільовий підхід до управління, проблема взаємозв'язку дизайн-програм та комплексних програм промисловості.

Результати дослідження

З точки зору системного проектування, між вихідним та кінцевим предметами дизайнерської творчості, між завданням вихідної ситуації та результатом існує не лише принципова різниця, а й певний зв'язок. Вихідна ситуація як така вже відповідає на питання, яким має бути результат. Її структура вказує можливі напрямки перетворень та виявляє недоліки, які необхідно видалити, адже результат проектування повинен знищити ознаки незадовільної ситуації, що існують на сьогодні. Тому, для побудови моделі дизайн-проектування, необхідно розглянути дві стадії дизайнерської діяльності: перетворення вихідної ситуації в об'єкт проектування (аналітичну) та перетворення об'єкта проектування в новий об'єкт – нову проектну ситуацію (синтетичну) [1].

Перша стадія – побудова об'єкта проектування – має на меті виявити, до якої типологічної групи об'єктів належить вихідна ситуація, які елементи та процеси до неї входять, як вони протікають, та як їх можна оцінити з огляду на їх відповідність до потреб споживання. Мета такого аналізу – детальне ознайомлення з ситуацією та побудова її моделі для використання при проектуванні на стадії синтезу. З цієї метою в ході проведеного дослідження було визначено, про який тип одягу йде мова, а отже, уточнено всі необхідні дані про структуру, функції, конструкцію виробів, умови їх експлуатації та ін.

Для цього було використано систематизовані в ході роботи ситуації-аналоги, в яких є необхідні дані як про функціональні процеси та цінності, типові для певного предметного середовища, так і про його морфологічну структуру. В процесі співставлення об'єкта проектування з об'єктами-аналогами було визначено необхідність удосконалення окремих показників, перш за все, естетичних, композиційних та технологічних.

На другій стадії – синтезу – об'єкт проектування було перетворено, з урахуванням включених до нього морфологічних елементів. Процес творчого пошуку було побудовано таким чином, що проаналізовані аксіологічні та морфологічні поля елементів вихідної ситуації було замінено новими, в результаті чого виникла нова морфологічна структура, позбавлена первинних недоліків.

Процес формоутворення передбачає виявлення основоположних функціональних та композиційно-технологічних засад проектування, недотримання яких неминуче призводить до погіршення функціонування виробу, зниження його цінносного рівня. В дизайні одягу процес формоутворення є чи не найскладнішим, бо вихідною моделлю тут є система взаємозв'язку «людина – предмет» [1].

Процес композиційного пошуку являє собою виділення головного та другорядного, досягнення узгодженої єдності частин та цілого (композиційної цілісності), гармонійності та співрозмірності.

Безпосередній зв'язок композиційного пошуку з процесом формоутворення проявляється, перш за все, у використанні форм, обумовлених функцією та конструкцією. Функція визначає об'ємно-просторову структуру виробів, конструкція – тектоніку форми. Тому типові для різних груп виробів об'ємно-просторові та тектонічні структури формуються з основних формоутворюючих засобів композиції, відображають логіку ритмічної побудови, пропорційної співрозмірності частин та цілого, врівноваженості та співузгодженості елементів [2].

Отже, серед нових варіантів морфологічних структур необхідно виявити найкращі, такі, які мають в аксіологічному полі переваги над іншими.

При проектуванні одягу масового споживання виробники та споживачі майже однаково впливають на розвиток форм одягу різного призначення. Основними структурними етапами створення такого одягу масового виробництва у системі “колекція” можна визначити:

- формування концепції перспективної моди на основі прогнозу;
- розробка перспективної колекції одягу;
- розробка програми перспективного планування, з урахуванням прогнозу моди, попиту, науково-технічного розвитку;
- розробка промислових колекцій, з урахуванням концепції моди, асортименту та попиту;
- пропаганда нової моди серед споживачів.

В табл. 1 наведено модель зв'язку між суб'єктом та об'єктом перспективного промислового проектування одягу.

Таблиця 1

**Модель проектування в рамках безперервного зв'язку
системи перспективного промислового виробництва одягу**

Етап	Сутність процесу
1 етап	Вивчення та прогноз попиту
2 етап	Прогноз моди
3 етап	Розробка перспективної колекції костюму
4 етап	Розробка базової промислової колекції одягу
5 етап	Комплексна підготовка виробництва
6 етап	Виготовлення експериментально-дослідних партій
7 етап	Тиражування та розподіл продукції
8 етап	Споживання продукції

При проектуванні виробів, орієнтованих на перспективну моду, необхідно враховувати ряд принципів, які є також об'єктивною передумовою для оцінки якості промислових виробів, а саме:

- принципи формування естетичних якостей – образність (відповідність форми та художнього змісту), комунікативність (відповідність форми та духовних потреб і можливостей людини), тектонічність (взаємозв'язок форми з внутрішньою структурою), організованість (взаємодія форми та засобів просторової організації – композиції);
- принципи формування утилітарних якостей – ефективність, технологічність (вибір раціональних методів обробки, обладнання), конструктивність (взаємозв'язок та відповідність конструкції та засобів просторової організації форми), ергономічність (взаємозв'язок між виробом та людиною, пристосованість та простота конструкції, що забезпечує надійність);
- принципи злиття двох якостей, які є специфічними для художнього проектування – єдність утилітарних та естетичних функцій.

Художньо-композиційне вирішення має бути новим та відрізнитись від аналогів, відповідати естетичним вимогам, мати художню та інформаційну виразність, цілісність, раціональність форми, а також задовольняти потреби промислового виробництва при економічно доцільних витратах, використанні прогресивних матеріалів та промислових технологій виготовлення. Художньо-композиційне рішення,

реалізоване в певному виробі, в процесі його виробництва чи експлуатації повинно давати позитивний ефект, під яким розуміють суспільно корисний результат.

На етапах формування концепції перспективної моди (на основі прогнозу) та розробки перспективної колекції одягу проектують різні типи колекцій. Тип системи “колекція” може бути класифіковано залежно від її призначення [2].

Це можуть бути:

- перспективні колекції, що визначають провідну концепцію моди, з метою методичної підготовки фахівців до наступного етапу впровадження моди;
- промислові базові колекції, що визначають концепції асортименту, призначеного до безпосереднього впровадження на промислових підприємствах;
- творчі авторські колекції, які відображують потенційні творчі можливості проєктанта, та нові творчі ідеї.

Всі перераховані типи колекцій можна розділити за такими ознаками:

- за призначенням;
- за асортиментом одягу;
- за сезонністю.

При створенні кожної з цих колекцій враховують певні вимоги до них.

Системний підхід до побудови колекції одягу, незалежно від її типу, здійснюють за такими послідовними фазами:

Вихідна фаза – формування концепції колекції, яка залежить від призначення та задач (при проектуванні колекції одягу різного функціонального призначення використовують загальний принцип об'єднання моделей в колекцію). Гармонійну цілісність та концепцію колекції відображують в:

- ідеї узагальненого пластичного символу-форми, що проходить через всі асортиментні групи колекції;
- тотожному конструктивно-технологічному рішенні всіх форм (втіленні конструктивної ідеї як композиційного рішення);
- нюансному розвитку пропорційних відношень у вирішенні форм різних блоків колекції;
- гармонійному кольоровому вирішенні блоків колекції;
- використанні матеріалів подібних структур та визначених прийомів оздоблення.

Отже, основна ідея побудови системи “колекція” може бути різною. Наприклад, в концепції перспективної колекції узагальнена форма-символ може підсилюватись колористичним рішенням, акцентуванням змістового центру композиції, використанням творчого джерела, трактуванням образу всієї колекції.

1. Базова фаза побудови колекції передбачає розробку матриці-програми, яка визначається концепцією, асортиментом, призначенням колекції. Програма системи «колекція» може пронизувати всі асортиментні групи одягу в будь-якій послідовності. Промислові колекції розвиваються у рамках якогось одного асортименту, пропонуючи варіації матеріалів, композиційних рішень, колористичних розробок.

2. Заключна фаза – композиційна побудова колекції, яка залежить, перш за все, від конкретного призначення, типу колекції, відображення її основної ідеї.

Структура та комбінаційна побудова перспективної колекції залежать від загальних закономірностей композиції та засобів гармонізації костюма. Оскільки сучасна структура колекції – блокова, то кожний блок, зазвичай, об'єднано своєю темою, в межах якої співіснують моделі визначених форм та колористичної гами.

Виходячи з проведеного в ході даного дослідження аналізу передпроектної ситуації та з визначених структурних характеристик моделей одягу, головними принципами побудови перспективної колекції жіночого костюма мають бути такі:

- за асортиментом це, переважно, повсякденне позасезонне вбрання для молоді;
- костюмної та сукняно-костюмної груп;
- відповідає сучасним напрямкам моди;
- має чітко окреслену силуетну форму, виразний художній образ;
- відрізняється якістю виконання;
- з використанням, переважно, натуральних матеріалів;
- з довершеністю тональної колористичної гами;
- за типом ця колекція має бути перспективною, з урахуванням прогнозу розвитку структури основних силуетних форм на певний період часу.

Костюм, як будь-яка побутова річ, має утилітарні та естетичні функції. Утилітарні функції відповідають призначенню одягу, а отже, утилітарний зміст костюма обумовлює його форму. Завдання художнього проектування полягає у створенні художнього образу костюма та пошуку естетичного засобу виконання цього призначення. Використання прогнозних розрахунків структурного формоутворення при розробці базових позицій колекції безпосередньо пов'язане з підвищенням не тільки естетичної, а й утилітарної функції костюма. Тема традиційного та перспективного не нова та, разом з тим, завжди актуальна в будь-якому виді мистецтва, в тому числі й у костюмі.

Перспективний проектний образ, в якому функціонально узгоджені та підпорядковані всі деталі,

підказує варіанти рішень одягу різного призначення. Принципи композиційної побудови, точність форм, ліній, продумана конструкція, відповідність матеріалу та форми призначенню є зразком дизайнерського підходу до проектування сучасного одягу.

Використання розрахункових значень структурного формоутворення у створенні перспективного костюма безпосередньо залежить від його призначення, оскільки специфікою їх застосування при проектуванні є весь комплекс заходів, що обумовлюють виготовлення одягу. Асоціативні уявлення є важливим фактором при створенні костюма, вони дозволяють досягти розмаїття образів, нових рішень, оскільки надзвичайно важливим є вміння знайти емоційно виразну форму предмету. Творча трансформація надбання минулих років сприяє розвитку, оновленню, збагаченню сучасного костюма, створенню в ньому своєрідного художнього колориту [2].

Згідно з системним підходом до побудови колекції, при проектуванні сучасного костюма на основі моделювання базових позицій формоутворення, у вихідній фазі побудови колекції було встановлено гармонійну послідовність розвитку узагальнених геометричних та пластичних форм-символів, що пронизують всі блоки та теми колекції, визначено єдине конструктивне рішення основних силуетних форм, розроблено нові сполучення пропорційних відношень, проведено акцентування композиційно-конструктивних поясів, визначено їх змінюваність та розвиток в межах кожного з блоків колекції.

Головні принципи побудови колекції визначено на основі проведених наукових досліджень:

- ретельного вивчення та систематизації конструктивно- композиційного устрою жіночого костюма ХХ ст.;
- обробки як якісної, так і кількісної результатів багатоетапного визначення стабільних характеристик формоутворення в костюмі;
- прогнозування та розрахунку розвитку форм жіночого костюма на певний перспективний період часу.

Основним композиційним принципом побудови структури даної колекції є спільність закономірностей композиційного розвитку костюма та колекції в цілому, яку визначає підпорядкованість всіх частин колекції, її блоків, а також підпорядкованість елементів в межах блоків, за наявності чітко визначеного композиційного центру та ритму, пропорційності та колористичної гармонії, що є однією з основних умов цілісного сприйняття.

Такий обсяг вихідної інформації зробив можливою, у базовій фазі, розробку програми побудови колекції, відображеної в табл. 2.

Таблиця 2

**Програма побудови перспективної колекції жіночого костюма
(за результатами проведеного дослідження)**

Характеристика	Параметри колекції	
Тип	Перспективна колекція жіночого костюма	
Призначення	Повсякденний одяг	Одяг для відпочинку
Стиль	Діловий	Романтичний
Сезонність	Демісезонний, позасезонний одяг	Позасезонний одяг
Асортиментна група	Костюмна	
Асортимент	Пальта-костюми, костюми,	Сукні-костюми, костюми-плащі
Силует	Напівприлягаючий, прямий	
Крій	Вшивний рукав	
	Зі зниженою проймою	З прямою проймою
Колористична гама	Тепла, нюансна	
Властивості матеріалів	Декоративна фактура	
		Малюнок на поверхні матеріалу

Основними засобами об'єднання моделей в колекції є пропорційні відношення та ритміка первинних елементів силуетних форм та їх складових частин. Зв'язок силуетних форм утворюється на основі первинних композиційних елементів та їх властивостей, з використанням відношень між ними (пропорцій частин, різних видів ритміки, повторювань, симетрії, або врівноваженої асиметрії). Беручи до уваги, що не все в колекції може бути пов'язане за допомогою первинних композиційних елементів (це може призвести до одноманітності) та не всі засоби зв'язку можна застосовувати в однаковій мірі, колекцію сучасного костюма доцільно проектувати, використовуючи різні види зв'язків системи.

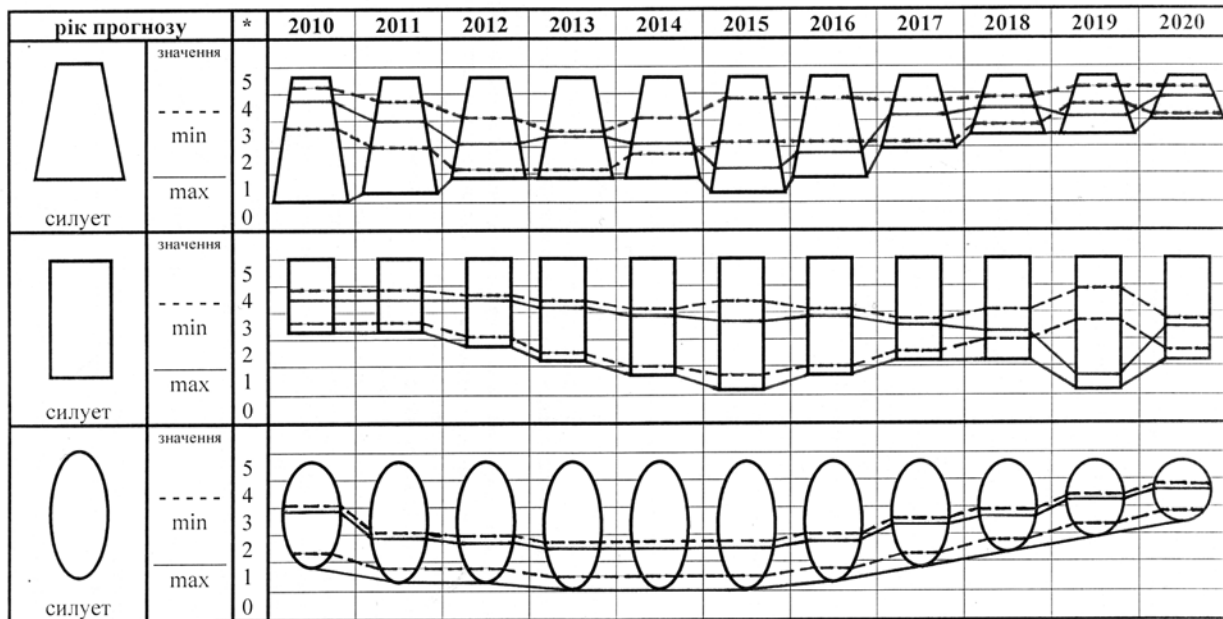
У табл. 3 подано схему колекції сучасного жіночого костюма, яка є основою розвитку всіх тем та блоків, створюючи різноманітні варіації композиційного та колористичного її вирішення. Структурна схема побудована за принципами розвитку головних морфологічних характеристик структури форми: довжини та рівня ліній горизонтального членування форми.

Для визначення динаміки розвитку колекції, підсилення її головної ідеї та основної теми, застосовано один з найважливіших засобів організації композиції – ритм. Характер його застосування

спричиняє різний ступінь динаміки в побудові частин колекції, а отже сприяє гармонійному цілісному її сприйняттю.

Таблиця 3

**Структурна схема перспективної колекції жіночого костюма,
побудована за принципами моделювання базових позицій формоутворення**



Висновки

В ході творчого аналізу вихідних даних було визначено та узагальнено базові геометричні символи основних силуетних форм, знайдено композиційне вирішення оптимальних варіантів конструктивних рішень у сімействі моделей, що проектуються, використано сучасні як традиційні, так і нові, науково обгрунтовані, методики проектування костюма. Структуру колекції, що проектується, побудовано таким чином, що всі її елементи знаходяться у гармонійній взаємній підпорядкованості, її характер єдиний в кожному блоці, тобто розвивається за однаковими принципами, єдиними як для композиційної структури, в межах кожного блоку, так і для композиційного зв'язку між блоками.

При розробці колекції використано один з методів перспективного проектування, який полягає в послідовному гармонійному розвитку прогнозного вихідної форми-символа, на єдиних естетичних композиційних засадах. Максимальну варіантність форми досягнуто за рахунок вільного заповнення базової структури мобільними елементами, що забезпечує естетичну якість композиційного рішення, технологічну доцільність, конструктивну довершеність, функціональність та економічність колекції.

Література

1. Козлова Т. В. Основи теорії проектування костюма: [підручник] / Козлова Т. В. – М.: Легпромбытиздат, – 1988. – 352 с.
2. Чупріна Н. В. Методологія сучасних наукових досліджень: [навч. Посібник] / Чупріна Н. В. – К.: КНУТД, – 2009. – 246 с.

Надійшла 10.9.2010 р.

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПРОЕКТИРОВАНИЯ КОЛЛЕКЦИИ МОДЕЛЕЙ ПО ПРИНЦИПУ ТРИПТИХА РАППОРТНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

В данной статье проанализирована роль декоративных свойств в организации поверхности формы одежды. Разработана структура заполняемости декоративными элементами базовой формы моделей. Сформирована концепция триптиха раппортных композиций и методы аффинного преобразования элементов орнамента на плоскости. Для нанесения рисунка предложен способ «холодный батик».

The role of decorative properties in the organization of the clothes form surface is analyzed in this article. The structure of the fallibility of the basic form of models with decorative elements is developed. The conception of triptych repeat compositions and methods of affine transformation of pattern elements on the flatness is formed. The method "cold batik" was suggested for the patterning.

Ключевые слова: раппортная композиция, триптих, холодный батик.

Постановка проблемы

С ростом технического уровня промышленности, все большая роль отводится эстетическому аспекту качества одежды. На сегодняшний день достаточно внимания уделяется конструкторской и технологической проработке швейных изделий, однако в наш стремительный век, век развития науки и техники, потребителям недостаточно просто пользоваться качественными изделиями. Актуальное значение имеет эстетическая сторона модели. Для придания изделию или коллекции «настроения» используют орнаментацию, выполненную различными способами и непосвященный потребитель сразу понимает это «настроение».

Анализ последних исследований и публикаций

Представления о красоте неотделимы от понятия гармонии. Мера, эстетический идеал, понятие гармонии в разные исторические эпохи были тесно связаны с человеческой личностью и проявлялись в costume, который обозначал принадлежность к коллективу и личные качества человека. Поэтому создание одежды всегда требует высокого мастерства. У каждого художника идея новой модели зарождается по-своему. В модель-идею автор вкладывает свое творческое мастерство, талант художника, свой почерк создателя по-новому решенной, порой уникальной, неповторимой вещи.

Коллекция – это серия моделей определенного или различного назначения, построенная на основе единого решения, стиля, конструкции, базовой формы, структуры материала [3]. Модели-идеи коллекции более трудоемки по сравнению с обычными моделями, в них может присутствовать значительная часть ручной работы (например, батик). Поэтому при разработке новой идеи художник должен видеть форму в целом задолго до того, как определится конструкция.

Гармония выявляет общую логику развития, единство формы и содержания. В широком смысле гармония – это обобщение законов композиции, в более узком – грамматика, правила построения, координации элементов. Гармония фиксирует наиболее характерные черты стиля или высшую стадию его развития. В основе гармонии лежит идеальное или каноническое представление об образе человека. Гармонические принципы отбирались различными поколениями людей и складывались в канонические и модульные системы [2].

Основной принцип гармонии – это известный принцип «золотого сечения». Золотое сечение рассматривается как феномен структурной гармонизации объектов искусственного или естественного происхождения, т.к. наблюдается в самых различных сферах приложения: растительные и животные организмы; пропорции тела и отдельных органов; биоритмы головного мозга человека; строение почвенного слоя; планетарные системы; энергетическое воздействие элементарных частиц и др. Применяя золотое сечение в искусственно создаваемых системах (в том числе предметах прикладного искусства), мы обеспечиваем ситуацию равновесия, резонанса.

Суть золотого сечения выражается следующей формулой: меньшая часть целого так относится к большей, как большая к целому. Золотая пропорция соответствует числу 1,6180339 и выражает соразмерность, красоту природных объектов, а также шедевров искусства и архитектуры. Принцип «золотого сечения» получил популярность благодаря Леонардо да Винчи (1452-1519), а рассчитал «идеальное» число Леонардо Фибоначчи, который жил на 250 лет раньше да Винчи. Именно он установил закономерность: каждое последующее число равно сумме двух предыдущих, т.е. получается ряд: 1,1,2,3,5,8,13,21,34..., названный рядом Фибоначчи. Этот ряд обладает удивительным свойством: если начать делить одно число этой последовательности на предыдущее, мы будем приближаться к числу 1,618039, выражающему пропорцию золотого сечения, но никогда его не достигнем. Однако разница будет столь мала, что ею можно пренебречь. Поэтому число 1,618 называют числом Фибоначчи, обозначают *phi* и считают его соответствующим пропорции золотого сечения [5].

Первым заметил проявление законов золотого сечения в пропорциях человеческого тела А. Цейзинг. Он установил закономерность, согласно которой деление общей высоты человека в отношении

золотой пропорции проходит через естественные членения тела.

Оказывается, и строение костных структур нашего организма основано на элементах золотой пропорции, которые представляют собой оптимальную систему. Их геометрия соответствует максимальной несущей способности при минимальном расходе материи, образующей кости, в полном согласии с законами науки о сопротивлении материалов. Расположение клеток губчатых частей костей соответствует схемам графостатики, обеспечивающим восприятие наибольших нагрузок. На рис. 1 хорошо видно: размеры тела человека (за единицу измерения выбрана голова) относятся как 1: 2: 3: 5: 8 и составляют ряд Фибоначчи [1]. Стоит подчеркнуть, что пропорция *фи* обнаруживается во всей скелетной системе. Она обычно отмечается в тех местах, где что-то сгибается или меняет направление. К примеру, длины костей пальцев находятся в соотношении *фи* друг к другу. Первая фаланга находится в соотношении *фи* к второй фаланге, вторая фаланга находится в том же соотношении с третьей. Если соотнести длину предплечья с длиной ладони, то получится пропорция *фи*, как и длина плеча к длине предплечья. Это также применимо к костям ног и стоп. Например, отношение длины голени к длине стоп и длины бедра к длине голени.

Итак, основа всех живых существ одна – геометрическая.

Постановка задачи

Целью статьи является изучение гармонического построения раппортных композиций на текстильном материале и дальнейшего использования их в проектировании новых коллекций моделей. Для решения поставленной задачи требуется рассмотреть аффинные преобразования объектов на плоскости, создание каталога масштабирования элементов орнамента и расчет площадей изоморфем каждого декоративного элемента. За основу выбран принцип «триптиха».

Изложение основного материала

В результате аналитической работы выявлена интересная закономерность: конструктивные и декоративные линии в одежде соотносятся с линиями золотого сечения [3].

Рассмотрено гармоничное заполнение базовой формы моделей на примере коллекции под девизом «Цветочный ритм».

Существует несколько видов раппортного построения текстильных рисунков, например, линейное или сетчатое, в нашем случае выбрана комбинация этих видов раппортов. Комбинированный, или смешанный раппорт используется в производстве купонных и каймовых тканей. Он предпочтителен и для проработки в коллекции моделей, поскольку модуль цветка рассматривается как раппорт. Композиция строится на одном и том же мотиве, но в различных раппортах.

Различают три композиционных варианта статического равновесия фигур на плоскости: фигуры ориентированы на центральную часть; фигуры сдвинуты в верхнюю часть; фигуры располагаются в нижней части [2].

На рис. 2 обращает на себя внимание повторяющийся цветок лилии в различных ракурсах.

Основная, самая выразительная часть орнамента на центральном платье (модель А) приходится на грудной пояс изделия. Тальевой и бедренный пояс заполнены, но в меньшей степени.

Заполняемость элементами орнамента на следующем платье (модель В) находится не плечевом и грудном поясе фигуры. Небольшие части рисунка расположились на рукаве. Тальевой пояс заполнен меньше, на уровне бедер орнамент отсутствует.

Модель С привлекает внимание орнаментом, расположенном на уровне бедер. Именно на этот конструктивный пояс приходится композиционный центр рисунка.



Модель В

Модель А

Модель С

Рис. 2. Заполняемость моделей элементами орнамента

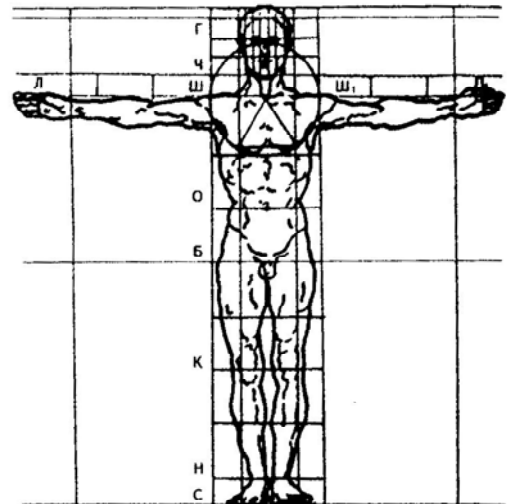


Рис. 1. Пропорции человека

Если обратить внимание на эскиз коллекции, то можно заметить, что орнамент расположен по

принципу купонного рисунка.

Следовательно, из выше сказанного, в заданных моделях, построенных на единой конструктивной основе, расположение орнамента базируется на принципе асимметрии и принципе «золотого сечения». Линии золотого сечения совпадают с основными линиями сетки членения одежды. Это конструктивные линии груди, талии и бедер.

Следующим этапом является создание каталога масштабирования элементов орнамента и их преобразования на плоскости. Для того, чтобы получить точные расчеты каждого элемента орнамента, требуется целое разделить на части.

Модуль цветка проработан в сетке размеров базовой основы женского платья. Проработка выполняется в три этапа:

На первом этапе разработаны изоморфологические иконы.

Для научной и в особенности для художественной деятельности языковое изобразительное мышление имеет большое значение. Мысли можно выразить с помощью изобразительного языка более или менее точно и кратко.

Описание изобразительного графического языка – это языковой анализ, т.е. последовательное дробление целого на части до тех пор, пока не будут получены самые мелкие элементы. На этом пути мы получаем множество конкретных единиц изобразительного языка от целого изображением через интериконы, иконы, изоморфемы, графемы к аллографам [3].

Икон является минимальной ячейкой костюмографической иконотеки.

Иконообразование – это особый механизм, создающий новые иконы. Механизм иконообразования имеет иерархическую структуру: на самой низшей ступени находится иконопроизводная пара, ступенью выше – иконообразовательный тип, еще выше – иконообразовательный ряд, еще выше – иконообразовательный класс, а на вершине – иконообразовательный механизм. Иконообразование имеет несколько функций: продуктивную, интегративную и вариативную.

Внутренняя форма икона иначе называется мотивировкой иконического значения икона, его иконообразовательной и смысловой структурой.

Форма костюма мотивирована формой фигуры носителя – человека.

Рукав, лиф, юбка, брюки и соответственно икон рукава, лифа, юбки, брюк сохраняют внутреннюю форму и их иконологическое значение понятно.

На втором этапе проанализированы изоморфемы по сочетанию иконов.

Изоморфема выступает как составная часть икона. Функция изоморфемы по отношению к икону является конструктивной и строительной. В иконе можно заметить стыки между изоморфемами. Изоморфема является строительным материалом не только икона, но и иконосочетания и интерикона. По отношению к изоморфологии изоморфемы выполняют две функции: конструктивную и интегративную. Изоморфема объединяет однотипные формы иконов в классы форм и тем самым участвует в формировании графических категорий как реальных языковых единств графического значения.

На примере изображения цветка лилии можно увидеть такие точки соприкосновения, как головка цветка и стебель, стебель и листья и т.п.

Иконы в своей массе являются структурными единицами сложносоставного характера и могут быть расчленены на изоморфемы, а изоморфемы являются наименьшими единицами языка, членение которых на более мелкие элементы невозможно без потери их значения [3].

Передача конструктивной информации иконообразования связана с такими преобразованиями симметрии, как изгиб, излом, растяжение, сдавливание, кручение и т.п.

На третьем этапе выполнена трансформация исходного рисунка способом пропорционирования в масштабной сетке конструкции платья.

Для того, чтобы проследить преобразования конфигурации цветка нужно произвести расчеты с помощью метода масштабирования, наложением масштабной сетки с определенным шагом.

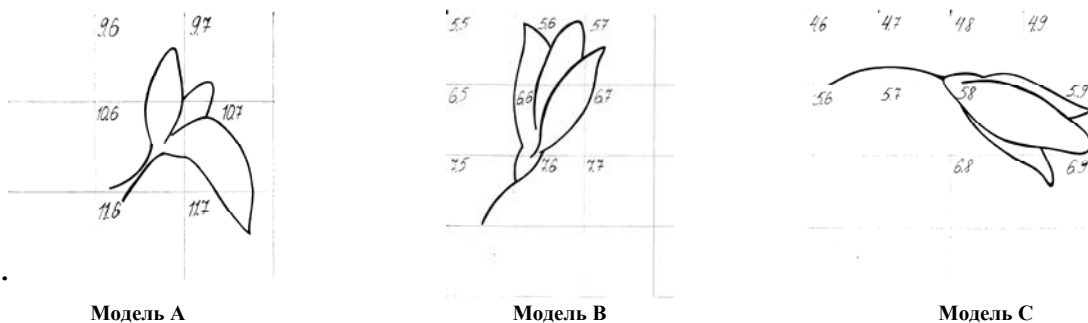


Рис. 3. Преобразования фрагмента орнамента (бутона)

Базовым шагом ячеек выбрано 5 сантиметров. Для дальнейшей автоматизации процесса необходимо каждую ячейку закодировать, присвоить ей соответствующий числовой код. Полученная сетка накладывается на цветочные орнаменты трех платьев. Все элементы орнамента вписываются в ячейки и

возможно проследить их преобразования (рис. 3).

Трансформация отдельной части цветка рассмотрена на примере бутона [4].

Начнем с цветка центральной модели А. Бутон располагается на следующих ячейках: 9.6; 9.7; 10.6; 10.7; 11.7. Основная часть цветка, около 50 % приходится на квадрат 10.7, на 20 % заполнена ячейка 10.6, квадраты 9.6, и 11.7 заполнены на 10 %, самая маленькая часть цветка расположилась в квадрате 9.7 и составляет всего 5 %. По цветовому заполнению каждой ячейки другие процентные показатели, например, квадрат 10.7 наиболее заполнен, степень его заполнения цветом составляет 85 %.

В модели В произошло аффинное преобразование бутона на плоскости методом **растяжения** и **сдвига**. Бутон видоизменился и приходится на ячейки с другими числовыми характеристиками: 5.6; 5.7; 6.6; 6.7 и 4.6. По масштабным соотношениям на квадрат 6.6 приходится 55 % всей фигуры, на 23 % заполнен квадрат 5.6, по 10 % приходится на ячейки с числовыми значениями 5.7 и 4.6 и незначительная часть около 2 % находится в ячейке 6.7. По степени заполненности цветом квадрат 6.6 заполнен на 90 %, квадрат 5.6 на 85 % и т.д.

Следующий орнамент располагается на полочке модели С. На данной модели цветок повернут под углом, значит целесообразно говорить о таком частном случае аффинного преобразования, как **поворот**. Бутон находится на ячейках масштабной сетки со следующими числовыми значениями: 4.7; 4.8; 5.7; 5.8; 5.9; 6.8 и 6.9. Около 50 % орнамента находится в квадрате 5.8, 35 % в квадрате 5.9, по 5 % приходится на квадраты 6.8 и 6.9, и наконец, 3 % и 2 % поместились в квадратах с числовым значением соответственно 4.7 и 5.7. По заполняемости площади цветом такие процентные соотношения: квадрат 5.8 заполнен на 90 %, 5.9 на 85 %, остальные ячейки заполнены менее, чем на 10 %.

Далее следует разработать размерный ряд мотива раппорта в рисунке по принципу триптиха.

Рассматривая рисунок лилии как геометрически подобную величину на детали, ориентировочные исходные размеры для элементов цветка можно определить по формуле:

$$S_n = L_n * h \quad (1)$$

где S_n – площадь натурального участка детали полочки;
 L – длина участка полочки;
 h – ширина участка полочки;

$$S_p = L_p * h_p \quad (2)$$

где S_p – площадь изоморфемы цветка на рисунке;
 L – длина участка изоморфемы;
 h – ширина участка изоморфемы;

$$K = S_p / S_n \quad (3)$$

где K – масштабный коэффициент в пропорционировании детали.

Изоморфемы цветка лилии:

1. Головка цветка;
2. Чашечка цветка;
3. Лист 1.1;
4. Лист 1.2;
5. Лист 1.3;
6. Бутон;
7. Стебель (состоит из суммы четырех отдельных изоморфем).

Площадь изоморфемы стебля цветка рассчитывается отдельно и вносится впоследствии в таблицу.

Так как стебель наиболее криволинейная часть цветка, то его следует разбить на участки (изоморфемы), соответствующие числовой кодировке нанесенной на цветок сетке.

Изоморфемы стебля:

- а) квадраты 6.5– 7.5;
- б) квадраты 8.6– 9.6;
- в) квадраты 10.6– 11.6– 12.6;
- г) квадраты 13.7– 13.9; 14.7– 14.9;

$S_a = 10 * 1,7 = 17$ кв. см; $S_b = 9,8 * 2,6 = 25,48$ кв. см; $S_c = 15 * 1,5 = 22,5$ кв. см; $S_d = 14 * 9,5 = 133$ кв. см.

Сумма площадей всех участков стебля является общей площадью стебля цветка. $S_p7 = S_a + S_b + S_c + S_d = 17 + 25,48 + 22,5 + 133 = 197,98$ кв.см.

Результаты расчета каждого элемента лилии представлены в табл. 1.

В данной таблице дан расчет цветка лилии центральной модели А, остальные расчеты производятся аналогично.

Таким образом, во всех моделях использовано математическое описание расчета орнамента лилии.

Все модели коллекции отвечают задумке автора и являются своеобразными холстами, сформировавшими триптих (от лат «triptychum» – сложенный вдвое) [5].

Центральная модель – прообраз центрального произведения триптиха, эта модель самая выразительная, концентрация идеи художника. На центральном платъе изображен цветок лилии в полном расцвете. Модель, находящаяся слева от центральной, представляет полураспустившийся бутон. Последняя модель находится справа от центральной, на ней изображен цветок увядающий, но не менее прекрасный. Орнамент на моделях выполнен способом «холодный батик».

Размерный ряд параметров рисунка лилии в триптихе моделей женского платья

№	Площадь изоморфемы, S , кв. см	Площадь детали полочки, S_n , см	Масштабный коэффициент, K
1	$Sp1 = 28*25 = 700$	$Sn = 96*62 = 5952$	$Kp1 = 700/5952=0,11$
2	$Sp2 = 3*4 = 12$	5952	$Kp2 = 12/5952 = 0,002$
3	$Sp3 = 12*8,5 = 102$	5952	$Kp3 = 102/5952 = 0,017$
4	$Sp4 = 9,5*4 = 38$	5952	$Kp3 = 38/5952=0,006$
5	$Sp5 = 11,5*8 = 92$	5952	$Kp5 = 92/5952 = 0,015$
6	$Sp6 = 9,5*5,5 = 52,25$	5952	$Kp6 = 52,25/5952 = 0,008$
7	$Sp7 = 197,98$	5952	$Kp7 = 197,98/5952 = 0,03$

Выводы

Таким образом, при создании коллекции «Цветочный ритм» соблюдена концепция триптиха и математически просчитано расположение раппортных композиций и их аффинные преобразования.

Литература

1. Белько Т. В. Костюм XX века как информационная биооболочка человека / Т. В. Белько // Текстильная промышленность: научно-технический и производственный журнал. – 2003. – № 11– 12. – 86 с.
2. Пармон Ф. М. Рисунок и графика костюма: учебник для вузов / Ф. М. Пармон, Т. П. Кондратенко; под ред. Ф. М. Пармона. – М.: Легпромиздат, 1987. – 208 с.
3. Козлова Т. В. Основы теории проектирования костюма: [учеб. пособие] / Козлова Т. В. – М.: Легпромиздат, 1988. – 347 с.
4. Пореев В. Г. Компьютерная графика: [учеб. пособие] / Пореев В. Г. – СПб: БХВ – Петербург, 2002. – 428 с.
5. www.slovoko.ru/t/triptih-7011/html

Надійшла 7.9.2010 р.

УДК 687.13 (09)

Ю.Б. КОКОЯЧУК, О.М. ТРОЯН
Хмельницький національний університет

ФОРМЕНИЙ ОДЯГ СКАУТСЬКИХ ОРГАНІЗАЦІЙ: ВИНИКНЕННЯ ТА РОЗВИТОК

У статті досліджено розвиток форменого одягу скаутських організацій світу та України з часів зародження до сьогодення. Виділено основні чинники, що зумовили появу і розвиток даного виду одягу.

The article shows a development of scout organizations uniform of Ukraine and other countries of the world from times of origin to present-day. Basic factors which stipulated appearance and development of this type of clothes are selected.

Ключові слова: формений одяг, скаутські організації, «Пласт», пластуни, скаути.

Вступ

Із розвитком громадянського суспільства в Україні значна увага приділяється молодіжним і дитячим громадським організаціям. Їх діяльність спрямована на розвиток і виховання молодого покоління в спортивному, релігійному, мистецькому, патріотичному та інших напрямках. У своїй діяльності деякі з цих організацій використовують формений одяг (ФО). Найбільш активними його споживачами в Україні є скаутські організації: «Пласт – Національна скаутська організація України» («Пласт»), Всеукраїнська громадська організація «СПОК», «СКІФ» та інші.

Постановка проблеми

Досвід вітчизняних та закордонних скаутських організацій свідчить, що використання ФО має важливе значення для їх власників і організації в цілому, а саме: засвідчує належність до організації та підтримання її принципів; дозволяє легко ідентифікувати члена організації; дисциплінує; об'єднує членів організації; інформує про вміння і заслуги його власника; стимулює до праці над собою; служить «рекламою» організації.

Оскільки скаутські організації України входять до складу різноманітних всесвітніх скаутських організацій та періодично представляють Україну на скаутських таборах і зустрічах у різних країнах світу, наявність у них ФО є обов'язковою умовою. У зв'язку з динамічним розвитком і популярністю скаутського руху в Україні, постає питання забезпечення членів скаутських організацій якісним ФО. А цього неможливо досягти без аналізу зародження та розвитку цього одягу та без наукового обґрунтування вимог до нього. На сьогодні дитячий ФО для громадських організацій недостатньо досліджений, а проектування ФО скаутських організацій взагалі не є об'єктом дослідження науковців галузі легкої промисловості.

Саме тому актуальним є дослідження ФО скаутських організацій України та світу на всіх етапах його існування (визначення ролі цього одягу в діяльності скаутських організацій, виявлення основних чинників, які вплинули на його виникнення та розвиток), що дозволить з'ясувати характерні особливості скаутського ФО та врахувати їх в процесі проектування нового ФО для скаутських організацій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

В останні роки спостерігається підвищення уваги до скаутських організацій з боку держави [1, 2], засобів масової інформації та науковців, про що свідчать дисертаційні дослідження в галузі історичних [3, 4], педагогічних [5, 6], психологічних [7] наук, фізичного виховання та спорту [8]. Російські вчені також займаються дослідженням діяльності скаутських організацій [9].

Науковий інтерес дослідників до діяльності скаутських організацій зумовлений потребою змістовного наповнення дозвілля дітей та молоді; постійним збільшенням кількості членів скаутських організацій; активізацією уваги громадськості до діяльності вищезгаданих організацій. Варто зазначити, що наукових досліджень стосовно вивчення та проектування ФО скаутських організацій досі не проводилось.

У роботі [3] автор А. Сова називає ФО молодіжних організацій, що діяли в Україні в 1894–1939 рр., «одностроєм» і розглядає його як один з найважливіших елементів їх символіки. О. Тисовський описує правила використання та зберігання ФО організації «Пласт», так званого «пластового однострою», а також дає стислу характеристику пластових нашивок та значків (відзнак) [10]. Ю. Старосольський вказує на моральні аспекти використання пластового ФО та відзнак [11]. Опис зовнішнього вигляду пластового ФО і рекомендацій щодо його використання надано у внутрішніх організаційних документах «Пласту» [12, 13], останній з яких датується 1975 роком.

Для Організації українських скаутів (ОУС) наведено лише перелік елементів скаутського ФО [14].

Отже, інформації щодо сучасного ФО українських скаутських організацій недостатньо, оскільки увага науковців зосереджена на окремих аспектах діяльності цих організацій, без ґрунтового аналізу їхнього ФО або обмежена хронологічними рамками.

Об'єкти та методи досліджень

Об'єктом даного дослідження є процес формування, зародження та розвитку ФО скаутських організацій. З огляду на значні часові рамки (період з 1907 р. до теперішнього часу) та недостатність інформації щодо ФО скаутських організацій України та світу, для дослідження ФО скаутських організацій, окрім аналізу письмових документів, нами опрацьовано іконографічні зображення з офіційних сайтів скаутських організацій та матеріалів Музею-архіву пластового руху (м. Львів) та Галереї українського військового однострою (м. Львів), Музею етнографії та екології Карпатського краю (м. Яремче).

Формування мети і постановка завдання

Метою дослідження є систематизація інформації про виникнення та розвиток ФО скаутських організацій. Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання: визначити статус та роль скаутських організацій серед громадських організацій України; дослідити процес виникнення та розвитку ФО скаутських організацій та виявити основні чинники, що вплинули на генезис цього одягу.

Виклад основного матеріалу

Відповідно до Закону України «Про молодіжні і дитячі громадські організації України» членами дитячих і молодіжних громадських організацій України можуть бути особи 6–18 та 14–35 років відповідно. За даними Міністерства Юстиції України на державному рівні в Україні зареєстровано більше 100 молодіжних і дитячих громадських організацій, крім того значна частина таких організацій зареєстрована в обласних і міських управліннях Міністерства юстиції України. Відомі спроби класифікації молодіжних та дитячих громадських організацій за такими чинниками:

- «статутні завдання»: політичні, соціально зорієнтовані, професійно спрямовані, виховні, релігійні, пацифістські, спортивні, мистецькі, екологічні та інші об'єднання [8];
- «характер діяльності»: молодіжні філії політичних партій, громадсько-політичні організації молоді, релігійні організації, фахові об'єднання, організації за інтересами [15].

Оскільки скаутські організації поєднують декілька «характерів» діяльності, а «за статутним завданням» діють відповідно до скаутських принципів та (або) позиціонуються як скаутські, вони не можуть бути віднесені до жодної з груп згідно з відомими класифікаціями. Враховуючи те, що на сьогодні в Україні на державному рівні зареєстровано 8 скаутських організацій зі значною чисельністю членів (наприклад, «Пласт» – близько 10 000, «СПОК» – близько 4 000, «СІЧ» – до 1 500 осіб), а також той факт, що саме ці організації найактивніше використовують ФО у своїй діяльності, доцільно виділити скаутські організації в окрему групу. Скаутські організації займають важливе місце серед дитячих та молодіжних громадських організацій України [5–7]. Тому, ми пропонуємо класифікацію молодіжних і дитячих громадських організацій України, що враховує і «статутні завдання», і «характер діяльності».

У розробленій класифікації, наведеній на рис. 1, яка є результатом дослідження даних Міністерства юстиції України та офіційних сайтів скаутських організацій України, останні виділені в окрему групу, це дозволяє зосередити подальші дослідження ФО для громадських організацій на ФО скаутських організацій як найбільш активних споживачах цього виду одягу.

Скаутський рух в Україні діє з 1911 року, коли відомі українські громадські діячі О. Тисовський, П. Франко та І. Чмола [3, 5, 11] заснували скаутську організацію «Пласт». Термін «пласт» є відповідником англійського scouting (розвідка). Слово «пласт» походить від назви кубанських козаків-пластунів, які

повзали по-пластунськи і виконували функції розвідників в козацькому війську [16].

Мета «Пласту» – сприяти всебічному, патріотичному вихованню та самовихованню української молоді як свідомих, відповідальних громадян та лідерів у всіх сферах життя [16]. Основними засобами виховання в організації є праця в гуртках, таборах та мандрівках, стройові вправи («впоряд») тощо. Особливих навичок члени організації набувають у таборах різного спрямування: навчальних, морських, авіаційних, військових, мистецьких, спортивних та інших.

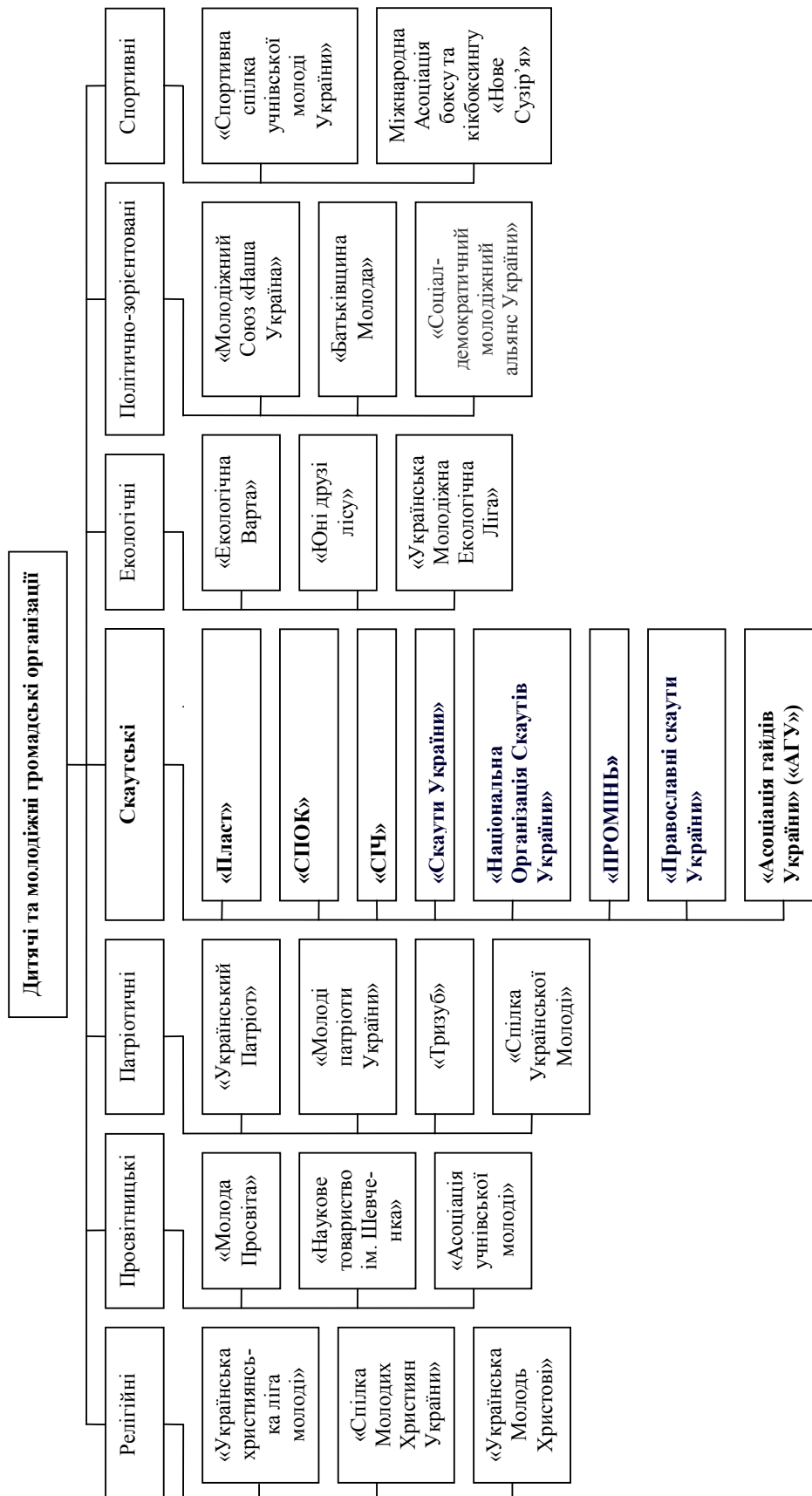


Рис. 1. Класифікація дитячих та молодіжних громадських організацій України

У цілому специфіка діяльності інших скаутських організацій України схожа до «Пласту». Проте саме «Пласт» об'єднує найбільшу кількість дітей та молоді, має найдавнішу історію, традиції та найактивніше використовує ФО у своїй діяльності. Тому подальші дослідження ФО для скаутських організацій України доцільно виконувати на базі організації «Пласт».

Прототипом «Пласту» та інших скаутських організацій світу була організація Boy Scouting, заснована в Англії в 1907 р. національним героєм Англії, відомим громадським діячем, офіцером Робертом Стівенсоном Смітом Байден Павеллом. Вона швидко поширилась у всьому світі й зараз налічує близько 38 млн осіб у 216 країнах. У системі виховання скаутів обов'язковим є використання ФО. Різноманітні збори, наради, зустрічі, святкові події, табори, відвідання храмів члени організації проводять у ФО. Забороняється використовувати ФО під час комерційної, політичної чи ідеологічної діяльності [17].

Автором першого ФО для хлопчиків скаутів був Байден Павелл, який розробив скаутський ФО за аналогією одягу вояків південно-африканської поліції початку ХХ ст [18]. Без сумніву, походження та військова спеціальність засновника організації вплинули не лише на систему виховання скаутів, але й на їхній ФО. Цей одяг швидко розвивався і поширився саме в Англії та її колоніях. Тому ми прослідкували найбільш помітні етапи розвитку зовнішнього вигляду ФО скаутських організацій на прикладі Англії і США (рис. 2).



Рис. 2. Зовнішній вигляд скаутського ФО

Перший скаутський ФО виготовлявся з вовняної тканини кольору «хакі» і складався з сорочки, шортів, гетрів, крилатого капелюха та хустки, що зав'язувалася на шиї (рис. 2, а). Проте вовняний матеріал, з якого виготовляли цей ФО, був недостатньо комфортним, особливо в літню пору року. Слід зазначити, що такий одяг суперечив моді того часу. Але завдяки свободі рухів і зручності, які забезпечував одяг, він набув великої популярності серед хлопчиків (скаутський одяг почали використовувати навіть у школі) [17].

Подібний ФО з незначними особливостями швидко поширився у всій Європі та на інших континентах. Наприклад, релігійна організація Boys Brigade (Шотландія) на поч. ХХ ст. використовувала одяг, що нагадував військову форму, а згодом члени організації почали одягати синю сорочку і штани або шорти (окремі підрозділи використовували спідниці з тканини в клітинку, щоб підкреслити шотландське походження).

ФО молодіжної організації Hitler Jungent (Німеччина) складався з коричневої сорочки і чорних штанів.

Слідом за організацією Boy Scouting у 1912 р. заснована дівоча організація Girl Scouting (Англія), яка базувалася на скаутських принципах. Перший ФО дівчат скаутів був синього кольору, а в 1914 р. був вперше серійно виготовлений ФО кольору хакі. Сьогодні їх одяг набув значно сучаснішого вигляду: коротка

спідниця (або штани) та блузка блакитного чи синього кольору (залежно від вікової групи). Організація дівчаток Camp Fire (США) використовує сині жилети і спідниці або шорти з блакитними гетрами, білу сорочку і червоний шарф [17].

Організацією, що об'єднувала хлопчиків і дівчаток у СРСР, була «Піонерська організація», заснована Н. Крупською за моделлю світового скаутингу у 1922 р. ФО піонерів складався з блакитної сорочки та синіх штанів або шортів (для хлопчика) чи синьої блузки та спідниці (для дівчинки), червоного галстука та білих гетрів (в святкових випадках). Піонери колишньої Югославії мали синій ФО, що символізував море. ФО польської скаутської організації «Харцерство» виготовлявся за зразком скаутського ФО інших країн світу з тканини кольору хакі для хлопчиків та сірого кольору для дівчаток (блузка світло-сірого та спідниця темно-сірого кольору).

Сьогодні кожна національна скаутська організація має ФО з певними особливостями. Зокрема, це стосується кольору: світло-бежевий (Ангола), хакі (Аргентина, Беліз), синій (Бельгія, Аргентина); наявності штанів (США, Беліз, Ангола), а також різних головних уборів (капелюхів, беретів, бейсболки). Найбільш сталим елементом ФО скаутів завжди була і залишається нашійна хустка, яку вони носять під коміром або поверх нього.

Світові війни зумовили поширення воєнізованого стилю в одязі населення більшості країн світу, зокрема в ФО скаутів. Наприклад, одяг американських скаутів в 1940–50-х рр. був майже точною копією військової форми (рис. 2, б.) Американські скаути переважно відмовились від шортів, обираючи довгі штани, які офіційно затверджені в європейських країнах лише в 1969 р. Починаючи з 1965 р. ФО почали виготовляти з бавовняної тканини (рис. 2, в). У 1972 р. були запроваджені також червоні берети як альтернатива крилатим капелюхам (рис. 2, г). Колір одягу змінювався від коричневого до хакі та оливково-зеленого [17].

У 1981 р. відомий американський модельєр Оскар де Ла Рента розробив ФО для американських хлопчиків скаутів, який поєднував сорочку бежевого і шорти зеленого кольорів (рис. 2, д). Модельєр запропонував також використовувати бейсболку, гетри кольору хакі з червоними смугами у верхній частині та червоні петлі, що одягались на погони [17]. Перелічені особливості були характерні лише для ФО американської скаутської організації, що робило цей одяг оригінальним і впізнаваним. Оскар де Ла Рента зробив ФО більш модним і зручним завдяки об'ємним накладним кишеням на шортах. Останні зміни в ФО скаутів США відбулись у 2008 р. (рис. 2, е), коли ФО почали виготовляти з новітніх матеріалів трьох видів:

- Cotton Rich Poplin (67 % бавовна, 33 % поліефір) – для виготовлення сорочок, матеріал має високі гігієнічні показники та здатність опиратись зминанню;
- Cotton Rich Canvas (67 % бавовна, 33 % поліефір) – для виготовлення штанів та шортів, матеріал має високі показники зносостійкості та брудовідпірності;
- Supplex Nylon – для виготовлення сорочок, шортів і штанів, м'який бавовняний матеріал з вологоконтролем, який швидко висихає та гарантує захист від сонця.

У цьому ФО також запропоновано: штани-трансформери, в яких нижня частина відстібається за допомогою застіжки «блискавка», утворюючи шорти; сорочку з накладною кишенею на рукаві і патюю, що дозволяє регулювати довжину рукава [19].

Ці нововведення зробили ФО скаутів значно популярнішим, зокрема, наявність штанів дозволила залучити до організації підлітків, які вважають шорти надто дитячими. На сьогодні ФО американських скаутів з точки зору конструктивно-технологічних рішень та завдяки використанню високоякісних матеріалів є найбільш сучасним, порівняно з іншими країнами світу. Але відмінність соціально-економічних, кліматичних умов, національних та психологічних особливостей дітей в Україні від США не дозволяє використовувати однаковий одяг і вимагає окремого дослідження та проектування ФО українських скаутських організацій.

Завдяки систематизації зображень скаутського ФО в хронологічній послідовності (рис. 2), з'явилась можливість не тільки візуалізувати його на різних етапах розвитку, але й виявити внутрішню єдність елементів одягу скаутів різних періодів. Ми вважаємо, що саме традиційність ФО, яка дозволяє розпізнати скаутів серед пересічних дітей, є обов'язковою умовою при його проектуванні.

Таким чином, ФО скаутів розглянутих країн (рис. 2) пройшов декілька етапів свого розвитку. Спочатку він суперечив моді свого часу, згодом підпорядковувався моді воєнного та післявоєнного періоду, і лише з 80-х рр. XX ст. цей одяг почали виготовляти з урахуванням вимог часу та напрямків моди.

Проект першого українського скаутського ФО був розроблений для організації «Пласт» П. Франком (сином І. Франка) за англійським зразком у 1913 р. Перший пластовий ФО складався з сорочки та шортів синього кольору, гетрів сірого кольору і крилатого капелюха кольору хакі. У 1914 р. колір сорочки та шортів змінився на «сиво-попелястий» а також дозволялось використовувати штани для зимового періоду [3]. У 20-х рр. XX ст. почали виготовляти ФО кольору хакі. Як вказує А. Сова, кожен пластун обов'язково намагався мати всі елементи ФО, а у дітей, що не входили в організацію, одяг пластуна викликав велике захоплення [3].

У 1926 р. організація «Пласт» затвердила «Припис про пластовий однострій» (Припис) [12]. У ньому висувались основні вимоги до форми, кольору і наявності конструктивно-декоративних елементів ФО та відзнак. Згідно з Приписом, ФО пластуна виготовлявся з вовняної тканини кольору хакі і складався з сорочки, шортів і плаща (для хлопчиків) та блузки, спідниці, шароварів довжиною вище колін і куртки з

бічними накладними кишнями (для дівчаток), а також хустки, гетрів, капелюха, светра та взуття.



Рис. 3. ФО організації «Пласт». Україна, 1975 р.

Із початку 30-х рр. XX ст. «Пласт» зазнав переслідувань з боку влади, що зумовило тимчасове зупинення розвитку ФО. Лише в 1975 р. відбулися серйозні зміни в ФО, які зафіксовані в «Правильнику про пластовий однострій і відзнаки» (Правильник), який діє до сьогодні [13]. Зовнішній вигляд пластового ФО згідно з Правильником зображено на рис. 3. Він виготовляється з бавовняної тканини, колір елементів ФО визначається номером відповідно до палітри DMC ниток для вишивання. ФО для хлопчиків складається з сорочки (з довгим чи коротким рукавом, залежно від сезону), гетрів та шортів (в зимовий період дозволено використовувати довгі штани). У штанях і шортах на передніх половинках є дві кишені з відрізним бочком, а на задніх – дві кишені з листочкою. ФО дівчаток складається з блузки, яка за формою і конструктивно-декоративними елементами схожа до сорочки хлопців; і шестиклинової спідниці з бічними кишнями з відрізним бочком і фігурним входом в кишеню (в певних випадках дозволяється використовувати шорти-спідницю та штани). Інші скаутські організації України («СКІФ», АГУ, ОУС та ін.) розпочали свою діяльність у 90-х рр. XX ст. Відповідно історія розвитку їх одягу значно коротша. На основі аналізу ФО цих організацій виявлено, що вони керувались загальними тенденціями ФО скаутських організацій світу. Вимоги до скаутського ФО ОУС вказують на військовий тип сорочки. На відміну

від пластової, сорочка ОУС в нижній частині оброблена пришивним поясом і одягається поверх шортів чи спідниці. АГУ (членами організації є переважно дівчатка) використовує зазвичай лише сорочки бежевого кольору та хустки різних кольорів. В організації «СПОК» виявлено ФО двох видів: перший – сорочка насиченого зеленого кольору та нашійна хустка (різних кольорів), другий – сорочка, шорти (для хлопчиків) чи спідниця, блузка (для дівчаток) та обов'язковий елемент – нашійна хустка. Інші скаутські організації України часто обмежуються використанням лише хусток. Це можна пояснити відсутністю розробленої моделі ФО.

Висновки

У результаті дослідження вперше розроблено класифікацію дитячих та молодіжних громадських організацій та виділено скаутські організації в окрему групу, що дозволяє зосередити дослідження форменого одягу для громадських організацій на форменому одязі скаутських організацій як найбільш чисельній та соціально-активній групі споживачів.

Встановлено, що українські скаутські організації («Пласт», «СПОК», Асоціація гайдів України та ін.) як знаковий елемент використовують у своїй діяльності формений одяг.

Найчисельнішою скаутською організацією України, в якій формений одяг активно використовують з 1913 р., є «Пласт», проте за останні 35 років суттєвих змін в одязі цієї організації не відбувалось.

Завдяки аналізу зображень зовнішнього вигляду форменого одягу скаутських організацій світу в хронологічній послідовності прослідковано його розвиток і виявлено внутрішню схожість та традиційність даного виду одягу, що забезпечує найкращу «рекламу» організації та об'єднує скаутів усіх країн світу.

З огляду на постійне збільшення чисельності членів скаутських організацій, зростаючий інтерес до них зі сторони держави, громадськості, засобів масової інформації та науковців, а також відсутність наукової бази для створення скаутського форменого одягу, актуальними є подальші дослідження форменого одягу скаутських організацій та розробка рекомендацій щодо його проектування.

Література

1. Указ Президента України «Про заходи щодо сприяння розвитку пластового (скаутського) руху в Україні» 279/2008 від 28.03.2008 р [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.zakon.rada.gov.ua>
2. Угода про співпрацю між Міністерством освіти і науки України та Молодіжною організацією «Пласт – Національна скаутська організація України» від 15.12.2009 р [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.plast.org.ua/files/files/users/10701/Uhoda_Plastu_i_MON~0.pdf
3. Сова А. О. Символіка українських молодіжних організацій «Сокіл», «Січ», «Пласт та «Луг» у Галичині (кінець XIX століття – 1939 р.): дис. ... канд. іст. наук: 07.00.06 / Сова А. О. – Львів, 2008. – 240 с.
4. Окаринський В. М. Український скаутський рух (1911– 1944 рр.): автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. іст. наук: спец. 07.00.01 / Київський нац. ун-т ім. Тараса Шевченка / В. М. Окаринський – К., 2001. – 14 с.
5. Жданович Ю. М. Організаційно-педагогічні засади виховного процесу у скаутській організації Пласт: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. пед. наук: спец. 13.00.07 / Ін-т прбл. виховання АПН України / Ю. М. Жданович – К., 2004. – 24 с.
6. Ярова Л. О. Виховання дітей та підлітків в системі скаутингу: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. пед. наук: спец. 13.00.07 / Ін-т прбл. виховання АПН України / Л. О. Ярова – К., 2000. – 18 с.

7. Євдокимова Т. О. Розвиток екологічної свідомості підлітків – учасників скаутського руху: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. псих. наук: спец. 19.00.07 / Ін-т психології ім. Г. С. Костюка АПН України. – К., 2007. – 23 с.
8. Мартин П. М. Організаційно-педагогічні особливості фізичного виховання старшокласників у сучасних молодіжних організаціях: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. наук з фізичного виховання і спорту: спец. 24.00.02 / Волин. держ. ун-т ім. Лесі Українки / П. М. Мартин – К., 2007. – 23 с.
9. Мальцева Э. А. Детская общественная организация как пространство социального воспитания подростков: дис. ... д-ра пед. наук: 13.00.01 / Э. А. Мальцева – Ижевск, 2006. – 427 с.
10. Тисовський О. Життя в Пласті: посібник для українського пластового юнацтва: вид. IV / Тисовський О. – Торонто: Українська друкарня «Тризуб», 1997. – 551 с.: іл.
11. Старосольський Ю. Велика гра: гутірки про ідею й методу пластування / Юрій Старосольський. – Вінниця: Просвіта, 1979. Вид. II – 79 с.: іл.
12. Припис про пластовий однострій. Записки українського пластуна: ч. 7. – Львів: Багаття, 1926. – 13 с.
13. Правильник про пластовий однострій і відзнаки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.plast.org.ua/files/files/users/10701/Pravylnyk_odnostrojiv_1.pdf
14. Скаутський однострій [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://ukrscout.wordpress.com/scouts/uniforms>
15. Кулик В. Сучасний організований молодіжний рух в Україні як об'єкт наукового дослідження [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.politika.org.ua/?p=103>
16. Офіційний сайт Пласту [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.plast.org.ua>
17. Wagner C. Historical Boys' Uniforms: [Електронний ресурс] / Chris Wagner // Historical Boys' Clothing – Режим доступу: <http://histclo.com/Youth/youth/intro.htm>
18. Байден Павелл. Пластування для хлопців / Байден Павелл оф Гілвел, О. Кульчицький; [пер. з англ.]. – Івано-Франківськ: Лілея-НВ, 1999. – 300 с.
19. BSA_newuniform [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://thehobbyshopofwilson.com/DSA_newuniform

Надійшла 21.9.2010 р.

УДК: 677.075: 687.3

К.В. ДРАГАНЧУК, Т.Д. ТЕРЕЩЕНКО
Хмельницький національний університет

ВИБІР ВИДУ ПЕРЕПЛЕТЕННЯ ТРИКОТАЖНОГО ПОЛОТНА МЕТОДОМ ОЦІНЮВАННЯ ФОРМОСТІЙКОСТІ

Проаналізовано трикотажні полотна, які рекомендуються для виготовлення верхнього одягу. Виготовлено 5 зразків комбінованих полотен на основі двуластик. За характеристиками властивостей деформації та релаксації при одноразово прикладених навантаженнях менше розривних було обрано вид переплетення, який є найбільш формостійким та який може бути рекомендованим для виготовлення жіночого класичного костюма.

Knittings linens which are recommended for making of outerwear are analysed. 5 standards of the combined linens are made on the basis of "dvulastik". After descriptions of properties of deformation and relaxation at the non-permanent enclosed loadings the less bursting was select type of interlacing, which is most form-creating things and which can be made to order for making of womanish classic suit.

Ключові слова: формостійкість, формоутворення, трикотаж, переплетення, деформація.

Трикотажні вироби користуються значним попитом завдяки високим показникам гігієнічних та експлуатаційних властивостей. Останнім часом особлива увага приділяється виготовленню верхніх трикотажних виробів [1]. Враховуючи новітні технології виготовлення переплетень трикотажних полотен і купонів стає можливим створення структури трикотажного матеріалу, який здатний відповідати вимогам, що висуваються до костюмної групи тканин [2], а саме формотворення та формозакріплення. До того ж проектування одягу з урахуванням властивостей формостійкості матеріалу є особливо актуальним для трикотажу, що володіє високою здатністю до формотворення [3]. Моделі жіночого ділового костюму виготовлені з подібних матеріалів відповідають основним вимогам трикотажних виробів, здатні конкурувати і навіть мають переваги перед костюмами виготовленими із тканини. Проаналізувавши властивості трикотажних матеріалів нових переплетень, можна зробити висновок, що характеристики нових переплетень трикотажних полотен підтверджують їх формостійкість, стійкість до стирання та понижену повітропроникність, що дозволяє використовувати їх для виготовлення виробів верхнього, в тому числі костюмного асортименту одягу [2].

Було виготовлено 5 видів полотен на базі двуластик, переплетення яких рекомендуються для виготовлення одягу костюмної асортиментної групи (Рис. 1).

З'ясовано, що найбільш вагомими факторами, які впливають на властивості формотворення та формостійкості трикотажу, є вид переплетення полотна та здатність матеріалу до деформації і релаксації.

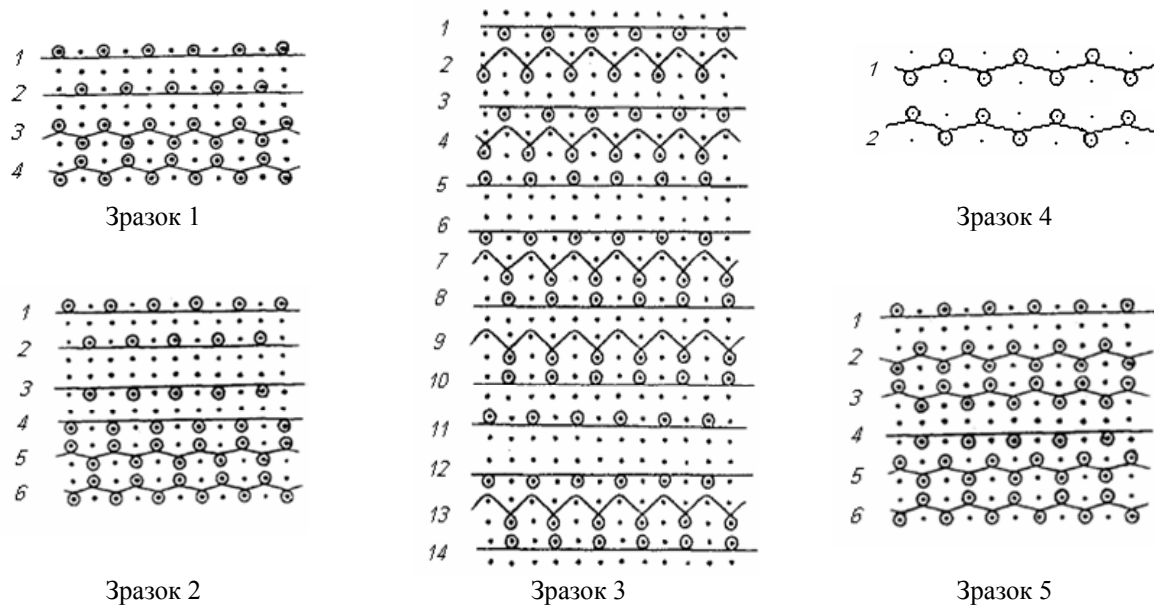


Рис. 1. Зразки комбінованих переплетень на основі двуластику

Оскільки під поняттям формостійкості трикотажних полотен переважно розуміють здатність трикотажних полотен приймати попередній стан після зняття зовнішніх впливів, то її можна оцінювати за величиною повної деформації та її складових частин [4, 5].

В основу визначення умов проведення дослідів трикотажних полотен покладено метод одноциклового розтягу, із заданим навантаженням з наступним розвантаженням та відпочинком зразка та фіксацією в ході досліду змін величини його деформації. Величина деформації, яку отримує зразок в кінці першого напівциклу, є повною деформацією, а її складові компоненти визначаються залежно від обраного режиму та часу останнього заміру деформації під час відпочинку.

Повна деформація текстильних матеріалів зазвичай складається з трьох компонентів: пружної, еластичної та пластичної деформації.

Релаксаційний характер деформації пояснюється наявністю еластичної деформації. Пружна та еластична деформації являються зворотними, пластична – незворотна частина повної деформації.

Чим більша частка пружної та еластичної частин повної деформації матеріалу, тим краще виріб з цього матеріалу зберігає розміри та форму. Переважання пластичної (залишкової) частини повної деформації матеріалу призводить до швидкої зміни розмірів та форми швейного виробу в процесі носіння.

В трикотажі зовнішні зв'язки визначаються силами тертя та зчеплення, що виникають між нитками петель. Завдяки петельній будові трикотажу його зовнішні зв'язки слабкі та рухомі. В порівнянні з тканиною для зміни цих зв'язків вимагається прикласти менше зусилля. Внутрішні зв'язки обумовлені силами тертя та зчеплення між волокнами та силами міжмолекулярних зв'язків у волокнах. При прикладанні зусилля до трикотажу відбувається зміна його структури, змінюється форма та розміри петель, окремі ділянки нитки в петлях випрямляються, інші вигинаються, як показано на рисунку 2 на прикладі будови гладі. При прикладанні зусиль розтягування в напрямленні петельних стовпчиків (рис. 2, а) відбувається зменшення петельного кроку A та збільшення висоти петельного ряду. При прикладанні зусиль розтягування в напрямленні петельних рядів (рис. 2, б), навпаки, відбувається збільшення дуг та протяжок і відповідно петельного кроку A та зменшення розмірів петельних паличок, тобто висоти петельного ряду B .

Тобто подовження трикотажу в перший період розтягування відбувається головним чином через зміни його грубої петельної структури. Та лише при значному подовженні при навантаженнях, що близькі до розривних, починається подовження ниток. Тобто деформація на початковому етапі обумовлена змінами в макроструктурі матеріалу [6].

Таким чином, трикотаж відрізняється складною будовою, яка в значній мірі впливає на його деформаційні властивості та прояв пружної, еластичної та пластичної деформації. Та виділити ці частини в матеріалі під час дії навантаження як при релаксації деформації, так і в період умовно встановленої рівноваги неможливо, так як всі три складові повного подовження під час дії навантаження виявляються та розвиваються одночасно.

Повну деформацію зразків трикотажних полотен та її складові частини при одноразовому прикладанні навантаження вивчали за допомогою релаксометра «Стейка» [7].

Для визначення експериментальної величини навантаження було досліджено розривні характеристики трикотажного матеріалу. Дослідження проводили на розривній машині РТ-250 згідно з

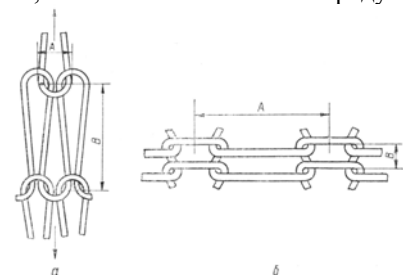


Рис. 2. Зміна будови переплетення гладі при розтягуванні: а – вздовж петельних стовпчиків; б – вздовж петельних рядів, де A – довжина петельного кроку, B – висота петельного ряду

ГОСТ 8847-64. Було розраховано величину зусилля для одноразово прикладених навантажень, менше розривних, яка складає 5 % від розривного навантаження (табл. 1).

Таблиця 1

Величина навантаження 5 % від розривного

Вид полотна		Середнє розривне зусилля, даН	Величина зусилля 5 % від розривного, даН
1	2	3	4
1	вздовж пет. ст.	66,7	3,335
	вздовж пет. рядів	39,7	1,985
1	2	3	4
2	вздовж пет. ст.	79,3	3,965
	вздовж пет. рядів	59,7	2,985
3	вздовж пет. ст.	38	1,9
	вздовж пет. рядів	53,3	2,665
4	вздовж пет. ст.	53,7	2,685
	вздовж пет. рядів	36	1,8
5	вздовж пет. ст.	35,3	1,765
	вздовж пет. рядів	27,3	1,365

Після визначення необхідних величин навантаження, аналізували повну деформацію та її складові частини при одноразово прикладених навантаженнях, менше розривних. Поведінку зразків трикотажних полотен досліджували на релаксометрі «Стійка».

Отже, результати вимірювань зразків обробляли в такій послідовності:

1. Умовне значення пружної деформації ε_y , % визначали за формулою:

$$\varepsilon_y = \frac{L_1 - L_2}{L_0} \cdot 100,$$

де L_0 – початкова довжина зразка;

L_1 – довжина зразка при дії навантаження протягом донієї години;

L_2 – довжина зразка після зняття навантаження.

2. Умовне значення відносної еластичної деформації ε_e , % визначали за формулою:

$$\varepsilon_e = \frac{L_2 - L_{3(180)}}{L_0} \cdot 100,$$

де $L_{3(180)}$ – зміни довжини зразка при релаксації протягом трьох годин.

3. Умовне значення відносної залишкової деформації ε_n , % визначали за формулою:

$$\varepsilon_n = \frac{L_{3(180)} - L_0}{L_0} \cdot 100.$$

4. Значення повної відносної деформації розтягування зразка ε , % визначали за формулою:

$$\varepsilon = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \cdot 100.$$

Результати розрахунків повної деформації та її складових частин представлено в табл. 2.

Таблиця 2

Результати розрахунку величин деформації трикотажного матеріалу

Вид полотна	Середні значення довжин зразків									ε_y	ε_e	ε_n	ε
	L_0	L_1	L_2	$L_{3(5)}$	$L_{3(30)}$	$L_{3(60)}$	$L_{3(120)}$	$L_{3(180)}$					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	вздовж пет. ст.	150	263	227	210	203	195	191	190	24	24,7	26,7	75,4
	вздовж пет. рядів	150	293	233	221	209	200	196	194	40	26	29	95
2	вздовж пет. ст.	150	262	235	230	226	218	212	208	18	18	39	75
	вздовж пет. рядів	150	316	288	265	252	246	235	233	19	37	55	111
3	вздовж пет. ст.	150	236	211	208	206	204	203	201	16,7	6,7	34	57,4
	вздовж пет. рядів	150	240	220	215	211	209	206	205	13,3	10	36,7	60

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
4	вздовж пет. ст.	150	235	216	212	208	206	205	204	13	8	36	57
	вздовж пет. рядів	150	266	239	236	233	230	229	228	18	7	52	77
5	вздовж пет. ст.	150	228	186	179	170	162	160	158	28	19	5	52
	вздовж пет. рядів	150	245	209	203	197	192	189	186	24	15	24	63

Графічне зображення результатів вимірювань деформації зразків представлено на рисунках 3 та 4.

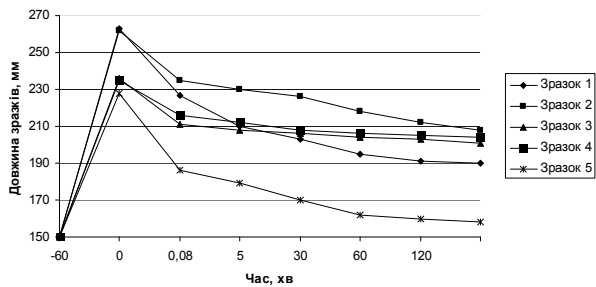


Рис. 3. Результати вимірювання зразків вздовж петельних рядів

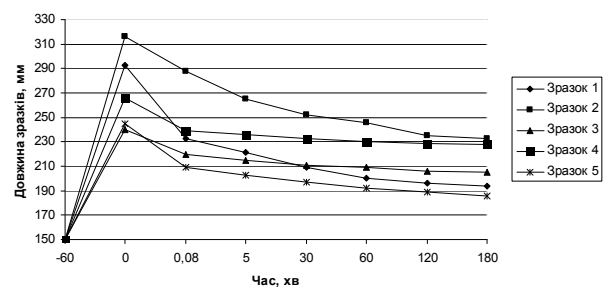


Рис. 4. Результати вимірювання зразків вздовж петельних стовпчиків

Якщо говорити окремо про кожну складову частину деформації та повну деформацію, то з таблиці 2 та з графічних зображень результатів вимірювань зразків видно, що найменший відсоток пружної деформації вздовж петельних стовпчиків має зразок під номером 4, а вздовж петельних рядів – зразок під номером 3. Еластична деформація найкраще проявляється вздовж петельних стовпчиків у зразка 3, а вздовж петельних рядів – у зразка 4. Проте і третій і четвертий зразки мають дуже високий відсоток пластичної деформації та у підсумку – значний відсоток повної деформації. Зразок під номером 5, в свою чергу, має трохи вищі значення пружної та еластичної деформації, проте пластична частина повної деформації складає найменший відсоток порівняно з іншими зразками.

Тобто після зняття навантаження під час відпочинку матеріал прагне повернутись у початковий стан. Внаслідок виникнення пружної та еластичної частин деформації зразок вкорочується по довжині. Через певний час релаксація деформації вповільнюється та майже припиняється. В свою чергу, пластична деформація виявляється в матеріалі як наслідок порушення зовнішніх та внутрішніх зв'язків. Таким чином, найбільш вагомим показником є пластична, залишкова деформація, яка не зникає. Це служить достатньою підставою для висновку, що кращим є зразок, якому відповідає найменший відсоток пластичної деформації, тобто зразок під номером 5.

Порівняльну характеристику співвідношення величин повної деформації зразків зображено на діаграмі, яку представлено на рис. 4.

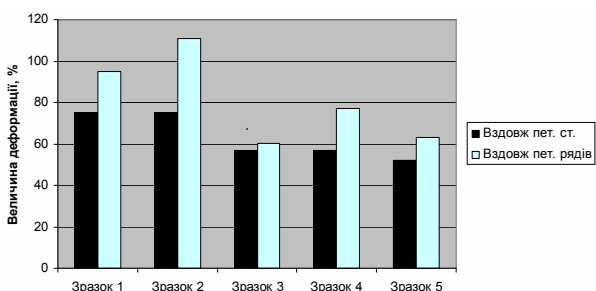


Рис. 5. Порівняльна характеристика величин повної деформації запропонованих зразків трикотажних матеріалів

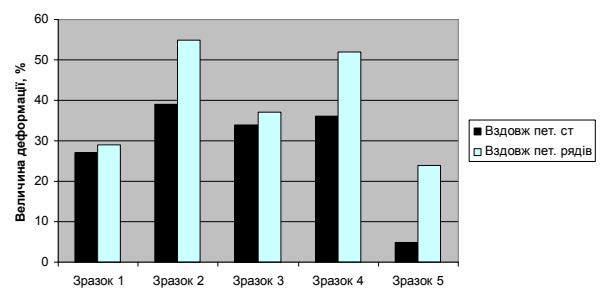


Рис. 6. Порівняльна характеристика величин пластичної деформації запропонованих зразків трикотажних матеріалів

Зважаючи на висновок, зроблений вище, та порівнюючи його з даними діаграми (рис. 5), можна сказати, що величина повної деформації недостатньо виразно показує результат релаксаційного процесу. Трикотажний матеріал за рахунок своєї петельної структури, порівняно з тканиною, краще піддається деформаціям розтягування. Проте, трикотаж так само швидко та якісно відновлює певний відсоток свого початкового положення, також дякуючи незвичайній структурі переплетення ниток. Тому вважається доцільним робити висновки, виходячи із результатів порівняння величин пластичної деформації, яку представлено на рис. 6.

Висновок

Проаналізувавши трикотажні полотна було обрано зразок, переплетення якого із запропонованих дозволяє найкраще зберегти форму. Отже, з порівняльної характеристики видно, що пластикна частина повної деформації в матеріалі, яка утворюється внаслідок необоротної зміни (порушення) зовнішніх та внутрішніх зв'язків, найменше проявляється у зразка 5 (рисунок 1). Тобто, зразок 5 краще зберігає свою початкову форму за інші запропоновані зразки, так як є більш формостійким.

Література

1. Флерова Л. Н. Промышленная технология поузловой обработки верхних трикотажных изделий // Л. Н. Флерова, Л. В. Золотцева. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 167 с.
2. Зиновьева В. А. Трикотажные полотна новых переплетений для верхних изделий // В.А. Зиновьева, М. А. Попова // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – 2006. – № 4. – С. 61– 63.
3. Сурикова Г. И. Проектирование одежды из трикотажа с учетом его формовочных свойств // Г.И. Сурикова, Л. М. Голубева, В. В. Веселов // Известия ВУЗов. Технология легкой промышленности – 1979. – № 5. – С. 101– 104.
4. Полотна и изделия трикотажные. Методы определения разрывных характеристик и растяжимости при нагрузках меньше разрывных: ГОСТ 8847-85. – [Введ. 01.01.87]. – М.: Издательство стандартов, 1986.
5. Изделия трикотажные. Методы определения разрывных характеристик и растяжимости при нагрузках, меньше разрывных: ГОСТ 19712-89. – [Введ. 01.01.91]. – М.: Издательство стандартов, 1989.
6. Модестова Т.А. Материаловедение швейного производства / Т. А. Модестова, Л. Н. Флерова, Б. А. Бузов. – М: Изд-во «Легкая индустрия», 1969. – 472 с.
7. Бузов Б.А. Лабораторный практикум по материаловедению швейного производства: учеб. пособие для вузов / [Бузов Б. А., Алыменкова Н. Д., Петропавловский Д. Г. и др.]. – М: Изд-во «Легкая индустрия», 1979. – 360 с.

Надійшла 22.9.2010 р.

УДК 685.34

О.А. МИХАЙЛОВСЬКА, А.Б. ДОМБРОВСЬКИЙ, В.П. ЛИБА
Хмельницький національний університет

ПРОЕКТУВАННЯ КОЛОДОК ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДИТЯЧОГО СПЕЦІАЛЬНОГО ВЗУТТЯ ДЛЯ СПОРТИВНИХ ТАНЦІВ

Визначено основні етапи проектування раціональних колодок для виготовлення дитячого спеціального взуття для спортивних танців. Запропоновано формули для визначення геометричного образу поверхні колодки за координатами точок поверхні умовно середньої стопи та її динамічними змінами.

The basic design stages rational lasts for manufacturing children's special footwear for sports dances are certain. Formulas for definition of a geometrical image of a surface last from coordinates of points of a surface arbitrarily average foot and its dynamical variations are offered.

Ключові слова: спеціальне взуття, спортивні танці, умовно середня стопа, раціональна внутрішня форма, відеоплантограма, слід, поперечні перетини.

Постановка проблеми

Однією з характеристик якості взуття є його зручність, яка значною мірою характеризує відповідність форми і розмірів внутрішньої поверхні взуття формі і розмірам стопи. Особливо даний показник є важливим для спортивного взуття, що дуже часто експлуатується в специфічних і досить важких умовах.

Внутрішня форма взуття визначається розмірами та формою взуттєвої колодки, на якій виготовляється взуття. На сьогоднішній день дитяче спеціальне взуття для занять спортивними танцями виготовляється на колодках, призначених для побутового дитячого взуття, і, звичайно, не враховує антропометричних особливостей стоп дітей-танцюристів та особливостей їх роботи в процесі виконання танцювальних рухів.

Таким чином, створення раціонального дитячого взуття для занять спортивними танцями неможливе без створення (раціональної) колодки, форма і розміри якої відповідатимуть антропометричним даним стоп дітей-танцюристів та враховуватимуть зміну форморозмірів стоп та особливості їх роботи в процесі виконання спортивних танців.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Процес проектування колодок є досить складним та багатограничним.

Традиційно нові еталони взуттєвих колодок завжди розроблялись від зразка колодки до її креслення. При цьому нова форма колодки передбачала значну частку суб'єктивізму модельєра-

колодочника [1].

Цілий ряд останніх робіт [2, 4, 5] присвячений розробці методів проектування колодок, що протилежні традиційному. На перший план виступив етап теоретичного опрацювання поверхні колодки в проєкційному кресленні на основі аналітичної та геометричної інформації про умовно середню стопу, даних про біомеханіку та фізіологію стопи, положень естетики та дизайну, а на другий план перемістився етап виготовлення еталону колодки за кресленням з використанням програмовано-керованого обладнання.

Усі вище згадані роботи охоплюють свій, певний контингент людей, серед якого немає дітей, які займаються спортивними танцями.

Формулювання цілі статті

З метою створення раціональної внутрішньої форми та конструкції дитячого спеціального взуття для занять спортивними танцями необхідно створити колодку, форма і розміри якої відповідатимуть антропометричним даним стоп дітей-танцюристів з врахуванням зміни форморозмірів стоп та особливостей їх роботи в процесі виконання спортивних танців.

Виклад основного матеріалу

Пропонуємо проектування раціональних колодок для виготовлення дитячого спеціального взуття для спортивних танців здійснювати за такими основними етапами:

- визначення основних параметрів колодок (вихідного номера, повноти, висоти піднесеності п'яткової і носкової частин, довжини сліду, ширини в пучках, п'ятки, обхватів у пучках та прямому підйомі, зсуву устілки в п'ятковій частині) на основі даних антропометричних та біомеханічних досліджень стоп спортсменів-танцюристів;

- розробка основних перерізів експериментальної моделі колодки і сліду колодки;
- виготовлення експериментальної моделі колодки по її перерізах;
- виготовлення дослідних зразків взуття на експериментальних колодках;
- експертна оцінка взуття колективом спортсменів-танцюристів, які займаються спортивними танцями та відповідна експериментальна підгонка взуття.

Визначення основних параметрів раціональної колодки

Параметри внутрішньої форми дитячого спеціального взуття для занять спортивними танцями визначались у відповідності до методики проектування раціональної колодки [1], що передбачає визначення поперечних параметрів внутрішньої форми взуття на основі відповідних параметрів умовної середньої стопи (УСС) [7]. Параметри УСС визначались за результатами даних обробки сіткової моделі стоп дітей-танцюристів, представленої на рис. 1.

До контрольних поперечних розмірів колодки, відповідно з вимогами ГОСТ 3927, належать: периметри похилих перетинів 0,55 Дст і 0,68/0,72 Дст, ширина сліду в перетинах 0,18 Дст і 0,68 Дст (ці основні поперечні розміри визначають повноту взуття), а також розміри перетинів 0,68/0,72 Дст, 0,55 Дст і 0,18 Дст за шириною, а перетинів 0,55 Дст і 0,68/0,72 Дст – за висотою.

Периметри відповідних перетинів колодки визначалися за формулою [2]:

$$O_k = \frac{O_{ст} (1 - 0,01\varphi) k_p}{0,95(1 + 0,01\varepsilon)}, \quad (1)$$

де $O_{ст}$ – периметр відповідного перетину стопи;

φ – відносна деформація стопи,

ε – відносна деформація системи матеріалів верху взуття: $\varepsilon = 1,014 \div 1,016$ [2];

k_p – коефіцієнт, що враховує зміну розмірів стопи в результаті її росту за півроку: $k_p = 1,012$ – для хлопчиків; $k_p = 1,028$ – для дівчаток [4].

Співвідношення (1) характеризує залежність периметрів перетинів взуттєвої колодки від однойменних перетинів босої стопи, що враховує зміни розмірів стопи та взуття в результаті їх силової взаємодії, а також усадку матеріалів верху після того, як взуття знімалося з колодки [2].

Ширина та висота перетину колодки визначалися за допомогою аналогічних формул:

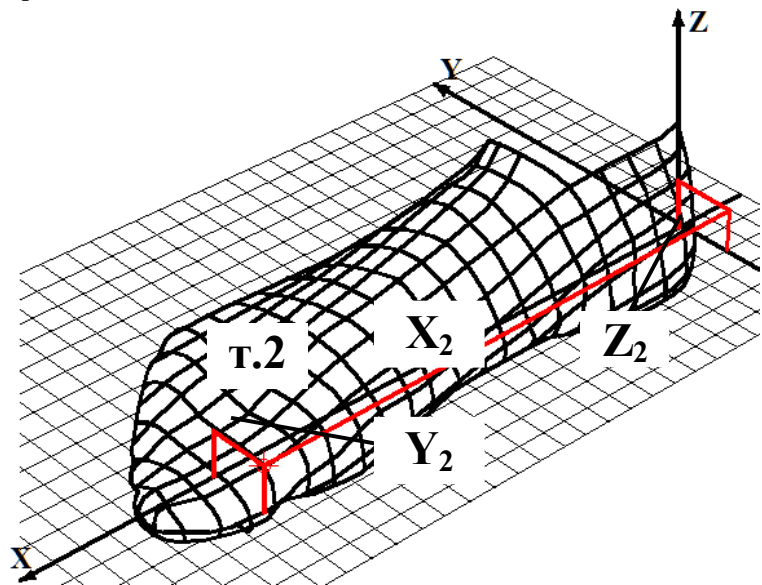


Рис. 1. Сіткова модель УСС дівчат, які займаються спортивними танцями

$$Ш_k = \frac{Ш_{ст}(1 - 0,01K_{ш}\varphi)k_p}{0,95(1 + 0,01\varepsilon_{ш})} \quad (2)$$

$$B_k = \frac{B_{ст}(1 - 0,01K_{в}\varphi)k_p}{0,95(1 + 0,01\varepsilon_{в})} \quad (3)$$

де $Ш_{ст}$ і $B_{ст}$ – ширина і висота однойменного перетину стопи;

$K_{в}$ і $K_{ш}$ – коефіцієнти, величини яких залежать від ділянки стопи і виду деформації.

Співвідношення (2) і (3) за фізичним змістом ідентичні співвідношенню (1). Вони дають можливість визначати розміри взуттєвої колодки за відповідними розмірами стопи та деформаціями стопи і верху взуття в результаті їх силової взаємодії.

Визначення геометричних параметрів перетинів раціональної колодки

Проектування контурів поперечно-вертикальних перетинів закритого типу раціональної колодки починається із викреслювання контурів аналогічних перетинів умовної середньої стопи [2]. Враховуючи залежності (1–3) і той факт, що координати $X^{кол}$, $Y^{кол}$ будь-якої i -ї вузлової точки кожного j -го поперечно-вертикального перетину тильно-бокової поверхні раціональної колодки змінюють своє положення за тим же принципом, визначимо їх значення за відповідними значеннями поточних координат $X^{ст}$, $Y^{ст}$ вузлових точок геометричного образу УСС спортсменів-танцюристів:

$$\left. \begin{aligned} X_{ij}^{кол} &= \frac{X_{ij}^{ст}(1 - 0,01K_{ш}\varphi)k_p}{0,95(1 + 0,01\varepsilon_{ш})}; \\ Y_{ij}^{кол} &= \frac{Y_{ij}^{ст}(1 - 0,01K_{в}\varphi)k_p}{0,95(1 + 0,01\varepsilon_{в})}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Отримані точки кожного j -го поперечно-вертикального перетину апроксимуються параметричним сплайном, а через найбільш віддалені точки носкової та п'яткової частин проводиться проекція осі (нейтрального базису МТІЛП [1]) колодки на горизонтальну площину.

Контури перетинів сліду колодки проектується таким чином. За відеоплантограмою стопи дівчинки, яка займається спортивними танцями, і параметри стопи якої близькі до параметрів УСС (рис. 2), будується контур проекції сліду колодки, що повинен проходити посередині між контурами відбитка і габариту стопи [1] (рис. 3). Потім цей контур апроксимують параметричним сплайном, а через найбільш віддалені точки носкової та п'яткової частин проводять проекцію осі (нейтральний базис) колодки на горизонтальну площину.

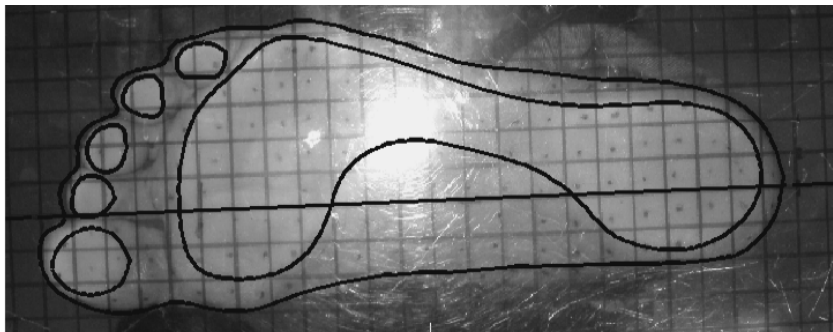


Рис. 2. Відеоплантограма стопи дівчинки, яка займається спортивними танцями, і параметри стопи якої близькі до параметрів УСС

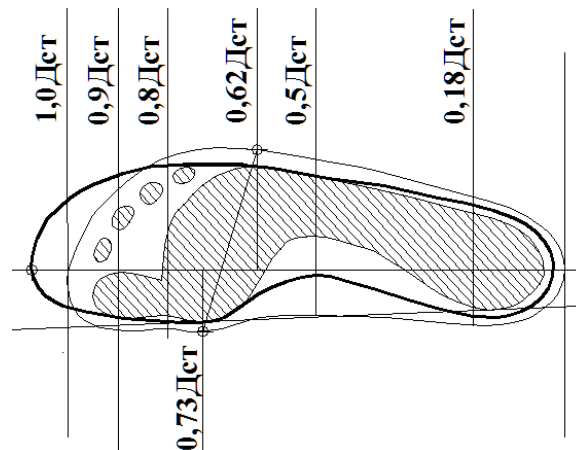


Рис. 3. Відбиток стопи і контур сліду колодки

Довжина сліду колодки дитячого взуття для спортивних танців розраховується за відомою формулою [1]:

$$D_{\text{сл}} = D_{\text{ст}} + P_1 + P_2 + P_3 - S_n, \quad (5)$$

де $D_{\text{сл}}$ – довжина сліду колодки, мм;
 $D_{\text{ст}}$ – довжина середньо-типової стопи спортсменів, які займаються спортивними танцями, мм;
 P_1 – припуск, що враховує динамічні зміни по довжині стопи під час виконання танцювальних рухів по відношенню до її антропометричного положення, мм;
 P_2 – припуск по довжині стопи на приріст стопи дітей за рік, мм;
 P_3 – припуск, що залежить від форми носкової частини взуття, мм;
 S_n – зсув стопи в п'ятковій частині взуття, мм.

Збільшення опорної поверхні стопи в процесі виконання танцювальних рухів у спеціальному взутті для спортивних танців, відбувається, в основному, за рахунок деякого розпластування стопи в плеснофаланговому зчленуванні та розвороту пальців зі збільшенням площі їх контакту з опорою.

За даними біомеханічних досліджень роботи стоп дітей-танцюристів 10–12 років припуск P_1 для дівчаток-танцюристок становитиме $5,0 \pm 0,2$ мм. Такий припуск забезпечить в достатній мірі вільний простір у спеціальному взутті для спортивних танців, що необхідний для подовження стопи під час виконання танцювальної програми.

Взуття для виконання спортивних танців діти-спортсмени використовують, в основному, як мінімум, один рік. Звичайно, що припуск P_2 (щорічний приріст стопи по довжині) повинен враховуватися при розрахунку довжини колодки для взуття, під час експлуатації якого стопа спортсмена-танцюриста буде рости. За даними [5, 7] рекомендується значення припуску P_2 для дівчаток, рівне 6,0 мм.

Припуск P_3 визначається графічно за плантограмою умовної середньо-типової стопи спортсмена-танцюриста з урахуванням естетичних вимог. Значення припуску P_3 становить для дівчаток 10,0 мм. Зсув устілки S_n в п'ятковій частині колодки визначається за формулою [7]:

$$S_n = \Delta - \sum T \cdot K_y, \quad (6)$$

де Δ – відстань між найбільш виступаючою точкою п'ятки та початком відбитка стопи за відеоплантограмою УСС спортсмена, мм;
 $\sum T$ – сумарна товщина пакету деталей заготовки в п'ятковій частині взуття, мм;
 K_y – коефіцієнт спресування.

Відстань між найбільш виступаючою точкою п'яточного заокруглення та початком відбитка стопи у дівчаток-танцюристок становить 9,5 мм. Сумарна товщина пакету матеріалів деталей заготовки верху в п'ятковій частині взуття з урахуванням коефіцієнта спресування для дівчаток, які займаються спортивними танцями, дорівнює 1,8 мм. Отже значення S_n буде рівне:

$$S_n = 9,5 - 1,8 = 7,7 \text{ мм.}$$

Побудований таким чином контур визначає габаритні розміри нижніх ділянок перетинів колодки, які проектується за формою плантарної поверхні стопи із врахуванням будови її скелету, товщини м'яких тканин і теоретичних епюр тиску, які побудовані відповідно до припущення щодо його рівномірного розподілу в невеликих зонах, що прилягають до нижніх ділянок поперечно-вертикальних перетинів [2]. В точках максимального тиску стопи на слід взуття контури утворюють найбільший прогин. На відміну від контурів перетинів стопи, краї ділянок сліду колодки дещо спрямляють з метою утворення ребра сліду колодки. Отримані контури перетинів, що відносяться до сліду колодки, також апроксимуються параметричним сплайном.

Контури поперечно-вертикальних перетинів, які належать до бічних поверхонь п'яткової частини колодки, тобто до перетинів відкритого типу, проектується за формою та розмірами п'ятки стопи із врахуванням деформаційних властивостей її м'яких тканин, матеріалів верху та задника. Основним критерієм оцінки правильності побудови цих контурів служить силова взаємодія п'ятки стопи із взуттям при умові його надійного закріплення на стопі.

Ширина верхніх контурів відкритих перетинів колодки є вужчою порівняно із відповідними контурами перетинів стопи, що пояснюється від'ємним значенням величини $(h - \Delta h)$ після коректування форм та розмірів перетинів [2]. Що стосується ширини стопи і колодки, то різниця їхніх розмірів є пропорційною до відношення деформацій верху взуття і стопи при однаковому прикладеному зусиллі.

Засобами графічного пакету *AutoCAD-2009* отримано реалістичне зображення бокових граней та сліду спроектованої раціональної колодки (рис. 4).

Отриманий проект колодки був використаний для виготовлення раціонального дитячого

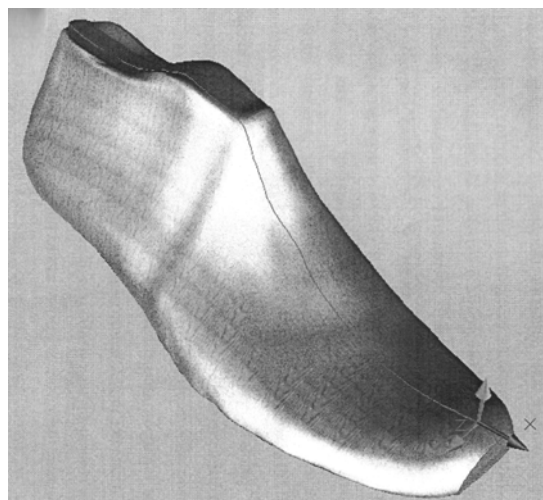


Рис. 4. Реалістичне зображення спроектованої раціональної колодки

спеціального взуття для спортивних танців. Апробація даного взуття танцювальними колективами м. Хмельницького показала кращу відповідність його внутрішньої форми параметрам стоп дітей-танцюристів.

Висновки

1. Визначено етапи проектування колодки для отримання раціональної внутрішньої форми дитячого спеціального взуття для спортивних танців.
2. Встановлена математична модель тильно-бокової поверхні та сліду раціональної колодки для виготовлення дитячого спеціального взуття для спортивних танців.
3. Результати апробації взуття, виготовленого на отриманій колодці, свідчать про раціональність його внутрішньої форми.

Література

1. Фукин В. А. Проектирование внутренней формы обуви / Фукин В. А. – М.: Легпромбытиздат, 1985. – 167 с.
2. Лыба В. П. Расчет параметров рациональной внутренней формы обуви на основе силового взаимодействия стопы с обувью: дис.... канд. техн. наук / Лыба В. П. – М., 1983. – 240 с.
3. Белгородский В. С. Усовершенствования способа измерения плантограмм стоп / В. С. Белгородский, А. П. Жихарев, В. А. Фукин // Кожевенно-обувная промышленность. – 2002. – № 2. – С. 30–31.
4. Домбровский А. Б. Разработка конструкторско-технологических параметров проектирования детской полимерной обуви: дис.... канд. техн. наук / Домбровский А. Б. – М., 1989. – 272 с.
5. Якимова Г. П. Определение закономерностей в формообразовании стоп детей школьного возраста с разработкой методов их математического описания: дис.... канд. техн. наук / Якимова Г. П. – Л., 1984. – 190 с.
6. Ченцова К. И. Стопа и рациональная обувь / Ченцова К. И. – М.: Легкая индустрия, 1967. – 152 с.
7. Холева Э. Й. Основы рационального конструирования колодок и обуви / Холева Э. Й.; под ред. О. В. Фарниевой. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 247 с.
8. Михайловська О. А. Антропометричні обґрунтування удосконалення внутрішньої форми та конструкції спеціального дитячого взуття для занять спортивними танцями / О. А. Михайловська, А. Б. Домбровський, В. П. // Вісник КНУТД. – 2010. – № 6.

Надійшла 30.07.2010 р.

УДК 675.01: 675.023

Я.В. КУРІВЧАК

Івано-Франківське ТзОВ „Терракіміка”

О.А. ОХМАТ, А.А. ГОРБАЧОВ

Київський національний університет технологій та дизайну

ВИВЧЕННЯ СТРУКТУРНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ КОЛАГЕНУ ДЕРМИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ВІДМОЧУВАЛЬНО-ЗОЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ ДЛЯ СИРОВИНИ З ЯСКРАВО ВИРАЖЕНОЮ БОРУШИСТІСТЮ

Стаття присвячена вивченню змін властивостей колагену дерми у відмочувально-зольних процесах під впливом гідроксил- та карбоксилвмісних продуктів. В роботі вивчено комплекс структурних перетворень колагену дерми. Виявлено комбінацію хімічних матеріалів для проведення найсуттєвіших змін структури білка.

Article is devoted studying of changes of properties of collagen in liming processes under influence hydroxyl and carboxyl products. We studied a set of structural transformations of collagen. Determined the combination of chemical materials for the largest a change in the structure of the protein.

Ключові слова: колаген, структурні перетворення, молекулярна маса білка, гідроксил- та карбоксилвмісні матеріали, відмочувально-зольні процеси, сировина великої рогатої худоби, борушистість.

Постановка проблеми у загальному вигляді

В шкіряній промисловості основним об'єктом хімічних, фізико-хімічних та механічних перетворень є дерма, і її основний білок – колаген. Колагену дерми притаманна структурна упорядкованість, що може бути як примітивною, так і складною формою організації, проходячи через багаточисленні градації. При проведенні технологічних процесів структура та просторова форма колагену змінюються: руйнуються або утворюються зв'язки в самому білку, з'являється просторова структура, що поєднує кілька поліпептидних колагенових ланцюгів тощо. Особливо ці зміни стосуються відмочувально-зольних, так званих підготовчих процесів, в яких сировина піддається різнобічному впливу лужних реагентів, в результаті чого білкові складові шкіри змінюють свої властивості. Зміни, що відбуваються в дермі внаслідок хімічної взаємодії колагену з компонентами, наприклад, зольної рідини і фізичного впливу лужних розчинів на структуру колагену та інші складові дерми, призводять до необоротної зміни властивостей готової шкіри.

Аналіз останніх досліджень

Технологічні процеси перетворення шкіри на шкіру змінюють просторову структуру основного білка дерми – колагену. Зміни структури білка забезпечуються впливом різних хімічних матеріалів на його гідрофільну й гідрофобну (неупорядковану й упорядковану) зони, що по різному впливають на рухомість поліпептидних ланцюгів. Доступність вказаних ланцюгів для хімічних реагентів залежить від чистоти й щільності білку в згаданих зонах. Практично, найкраща доступність ланцюгів з'являється після відмочувально-зольних процесів [1]. Такі зміни в структурі колагену дерми суттєво впливають на ступінь борущості – грубі, глибокі складки на воротковій частині шкіри великої рогатої худоби (врх). Такі складки є не чим іншим як ущільненням структури, що утворилося внаслідок розростання підшкірної клітковини й епідермісу.

Постановка завдання

В основу структурних перетворень колагену дерми покладено метод фізико-хімічного усунення борущості з поверхні шкір сировини врх [2]. Цей метод заснований на попередній обробці голини гідроксил- та карбоксилвмісними сполуками при проведенні відмочувально-зольних процесів. А отже, мета дослідження полягає у визначенні впливу попередньої обробки голини гідроксил- та карбоксилвмісними сполуками на зміну властивостей колагену дерми.

Об'єкти та методи дослідження

Об'єктом дослідження являється процес структурних перетворень колагену дерми у відмочувально-зольних процесах під дією гідроксил- та карбоксилвмісних сполук. Для вивчення об'єкту в роботі використано традиційні та сучасні методи визначення та характеристики властивостей білків, полімерних систем та матеріалів.

Виклад основного матеріалу

Аналітичні дослідження проводять на зразках голини, отриманої із сировини врх. Для отримання дослідних зразків голини під час двох стадійних відмочувально-зольних процесів (табл. 1) використовують систему хімічних матеріалів (далі „препарат”), що включає триетаноламін (ТЕА), суміш карбонових кислот – мурашиної, шавлевої, винної, нормальної дикарбонової (НДК) та перекис водню. Всі застосовувані матеріали є продуктами вітчизняної хімічної промисловості і за своїми властивостями відповідають вимогам, обумовленим сертифікатною документацією.

Таблиця 1

Технологія відмочувально-зольних процесів виробництва дослідних шкір

Процес	РК	Температура, °С	Витрата матеріалів, % від маси сировини	Тривалість, год.	Примітка
Промивка	1,7– 2	18– 20	Вода	1,5– 2	Проводиться при постійному обертанні з 2– 3 змінами води
Відмочування	поч. – 1,5 кінц. – 3,9	28	ПАР «Савенол» – 0,2 Гідроксид кальцію – 0,3 Сульфід натрію – 0,15	12	Постійне обертання 1,5 год.
Зоління	відпрацьованого розчину	28	1-а стадія: Пероксид водню – 0,2 Препарат – 0,4 Карбонат натрію – 1,7 Протосубтилін – 0,35		У відпрацьовану відмочувальну рідину додають 120 % води та пероксид водню; через 1 год дозують препарат, карбонат натрію та протосубтилін
			2-а стадія: Гідроксид кальцію – 2, Сульфід натрію – 2, Глюкоза – 0,3 Гідроксид натрію – 0,5 Препарат – 0,6		Через 5 год обертання перевіряють рН = 10, додають ще 120 % води та гідроксид кальцію, обертають 10 хв. Додають сульфід натрію, глюкозу, гідроксид натрію та препарат, обертають 80 хв. Контроль: рН=10,5– 12,5; Na ₂ S – 6– 9 г/л; Са (ОН) ₂ – 8– 15 г/л
Промивка	1,5	22– 25	Вода	0,5	Проводиться при постійному обертанні, з 2– 3 змінами води
Голина вивантажується з підвісного барабану для проведення механічних операцій: зневолошування, чищення лицьової поверхні та міздріння					

Для визначення оптимального впливу на білок дерми, систему хімічних матеріалів дозують в декілька етапів з різними витратами, і таким чином створюють 3 дослідні групи: *перша* – досліди, в яких спочатку дозують максимальну кількість реагентів, а потім мінімальну; *друга* – досліди, в яких спочатку дозують мінімальну кількість реагентів, а потім максимальну і *третья* (контрольна група, варіант 9) – досліди, в яких додають однакову кількість реагентів при першому і другому дозуванні. План проведення експерименту представлено в табл. 2.

Таблиця 2

План-матриця експерименту

Дослід	Витрати реагентів, %:						Витрати H ₂ O ₂ на м'якшени, %
	на першій стадії зоління			на другій стадії зоління			
	ТЕА	НДК	H ₂ O ₂	ТЕА	НДК	H ₂ O ₂	
1	0,45	0,3	0,4	0,15	0,1	0,14	6,0
2	0,15	0,3	0,4	0,45	0,1	0,14	4,0
3	0,45	0,1	0,4	0,15	0,3	0,14	4,0
4	0,15	0,1	0,4	0,45	0,3	0,14	6,0
5	0,45	0,3	0,14	0,15	0,1	0,4	6,0
6	0,15	0,3	0,14	0,45	0,1	0,4	4,0
7	0,45	0,1	0,14	0,15	0,3	0,4	4,0
8	0,15	0,1	0,14	0,45	0,3	0,4	6,0
9	0,3	0,2	0,27	0,3	0,2	0,27	5,0

З метою визначення якісних характеристик перетворень у колагені дерми, зразки, отримані за планом досліджень, піддають виплавланню. Процес виплавлання для дослідних зразків голини проводять протягом 2 годин, для чого 10 грамів голини витримують у воді при температурі 70 °С. Співвідношення „голина: вода” при виплавланні складає 1: 5 відповідно. Для отриманих шляхом виплавлання систем визначається поверхневий натяг, формолове число, в'язкість та молекулярна маса білкової складової. Ці ж характеристики визначаються і для наступних систем, що отримані шляхом розведення вихідної виплавленої системи.

Метод молекулярно-масового розподілу [3] дозволяє визначити молекулярну масу кожної з дослідних груп (табл. 3).

Таблиця 3

Молекулярна маса білка дослідних систем

Молекулярна маса білка, г*10 ⁻² , для дослідів								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
2156	1913	1478	2037	1914	1019	1206	1990	2104

Визначення в'язкості для виплавлених вихідних та розведених систем проводять за допомогою віскозиметра “Оствальда”. Визначаючи час витікання дослідної рідини та її питому вагу, розраховують значення відносно $\left(\frac{\rho \cdot \tau_{\text{розчину}}}{\rho_0 \cdot \tau_{\text{води}}}\right)$ та логарифмічної приведенної в'язкості (так званого логарифмічного числа

в'язкості $\frac{\ln \eta_{\text{відн}}}{c}$). Об'єднавши отримані результати, будують графік залежності величини логарифмічної в'язкості від концентрації білка у розчині (рис. 1).

Отримуємо залежність третього порядку, для якої спостерігається зміна кута нахилу графіка до осі абсцис, що свідчить про зміну молекулярної маси білка. А отже, можна сміливо говорити про існуючу взаємодію в системах між її компонентами. Довжина макромолекули білка значно більша за її поперечний переріз, а отже, при вимірюванні в'язкості розчинів білка, його макромолекули орієнтуються вздовж напрямку дії сили. Поряд з поворотом макромолекул вздовж напрямку дії сили матиме місце і їх деформація. Одночасна орієнтація і деформація макромолекул викличуть зміну структури білка, а отже, і зміну його в'язкості, яка обумовлена цією структурою. Переміщення молекул обумовлюється наявністю вільного об'єму. А чим легше переміщуються молекули білка у розчині, тим вірогідніша взаємодія між їх окремими частинами.

Таке структурування, а також орієнтація і деформація макромолекул білка, може призвести до зменшення в'язкості [4].

Особливу увагу слід приділити співвідношенню НДК, ТЕА та перекису водню, які вводять в систему при проведенні технологічного циклу. Введені в кожну дослідну систему кислоти є за своєю природою дикарбоновими кислотами. Триетаноламін – нейтральна система, що набуває позитивного заряду при протонуванні (тобто частковий позитивний заряд у ТЕА з'являється в кислому середовищі під дією протону кислоти). Величина співвідношення введених в результаті обробки груп може вплинути не тільки на властивості голини і готової шкіри, але і на властивості самого білка. Окрім цього, на нашу думку, така різниця визначає заряд іонної сфери білка в дермі.

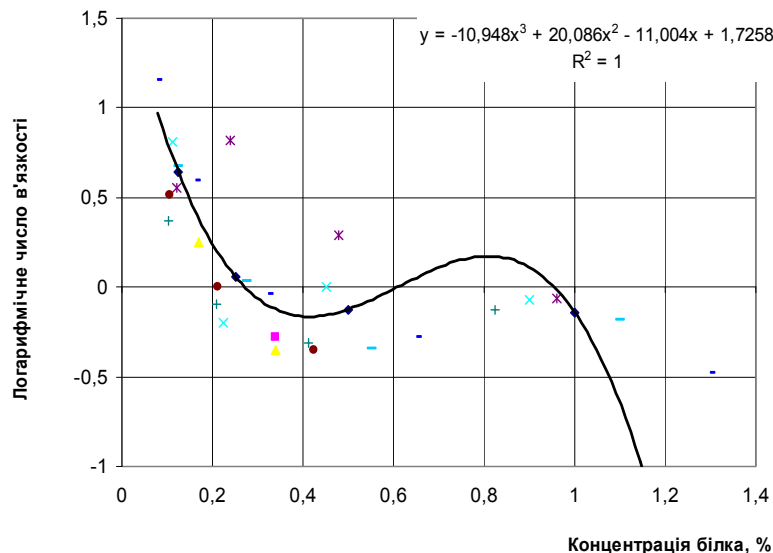


Рис. 1. Залежність логарифмічного числа в'язкості від концентрації розчину

Отже, в дослідний препарат входять три компоненти: НДК, ТЕА та пероксид водню. Суміш дикарбонових кислот вносить з собою реакційноздатні карбоксильні групи, що можуть легко взаємодіяти з аміногрупами білка. ТЕА, що несе на собі позитивний заряд, так же легко може взаємодіяти з карбоксильними групами того ж білка. Вказані взаємодії екранують активні групи білка, та протидіють їх можливій взаємодії з протилежно зарядженими групами, що робить структуру білка більш рухомою і доступною. Введення в дослідний препарат низькомолекулярного агента, яким виступає пероксид водню, дозволяє частково зруйнувати впорядковану зону структури білка. Пероксид водню легко може зруйнувати водневі зв'язки, що утримують трьохспіральної спіраль колагену в скрученому стані, яка після цього стає більш рухомою. Окрім цього, пероксид водню високо реакційно здатна сполука з від'ємним зарядом, що уможливило приєднання її до позитивно заряджених активних груп білка.

Із всього вище наведеного можна зробити висновок, що введений комплекс вказаних хімічних матеріалів спричиняє екранування як позитивно, так і від'ємно заряджених груп колагену дерми, що, в свою чергу, різко підвищує рухомість системи в цілому та її окремих складових елементів, і призводить до часткового розволокнення системи, що усуває борушистість у воротковій частині шкіри врх. Співвідношення між введеними в систему матеріалами представлено в табл. 4.

Таблиця 4

Співвідношення різниці витрат ТЕА та дикарбонових кислот

Дослід	Різниця витрат ТЕА та карбоксильними групами дикарбонових кислот, моль/моль
1	3,000
2	- 0,201
3	- 4,975
4	- 0,333
5	3,000
6	- 0,201
7	- 4,975
8	0,333
9	1,000

Кількість карбоксильних груп дослідних систем була виявлена в результаті визначення формолового числа [3]. Визначивши кількість карбоксильних груп в дослідних системах, розрахували масу білка, що припадає на одну таку групу (табл. 5) та виявили зв'язок між загальною молекулярною масою білка та тією її частиною, що припадає на одну карбоксильну групу (рис. 2).

Як видно з графіку, на один моль припадає в середньому 370– 420 г білка, причому молекулярна маса самого білка висока, і складає приблизно 190000– 220000 г. З графічної залежності випадають лише дві точки, для яких при збільшенні молекулярної маси, що припадає на одну карбоксильну групу, зменшується молекулярна маса білка в цілому. Слід зауважити, що ці два значення відповідають 3 та 7 варіантам обробки. Якщо подивитися на дані таблиці 4, то можна побачити, що цим двом варіантам відповідає найбільша кількість карбоксильних груп, введених з дослідним препаратом (- 4,975 моль/моль), що і вплинуло на підвищення формолового числа в наведених результатах, адже, за допомогою формолового числа визначається загальна кількість карбоксильних груп в дослідній системі, а не тільки та їх частина, що притаманна білку.

Формолове число та молекулярна маса білка

Дослід	Формолове число	Молекулярна маса білка:	
		загальна, г*10 ⁻²	розрахована на одну карбоксильну групу, г/моль
1	0,448	2156	406,25
2	0,301	1913	418,60
3	0,266	1478	552,63
4	0,217	2037	419,35
5	0,322	1914	382,61
6	0,224	1019	662,50
7	0,182	1206	600,00
8	0,294	1990	409,52
9	0,350	2104	380,00

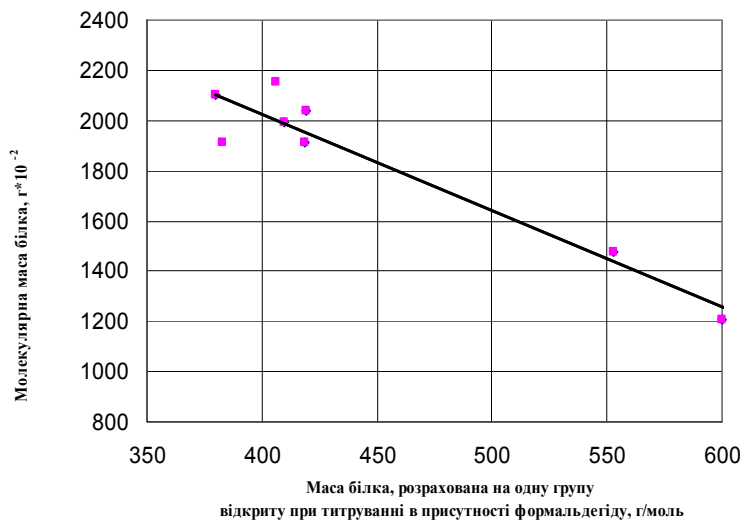


Рис. 2. Взаємозв'язок між молекулярною масою білка та тією його частиною, що припадає на одну карбоксильну групу білка

Для об'єднання всіх отриманих даних та виявлення оптимальних параметрів зміни колагену дерми у відмочувально-зольних процесах скористалися методом математичної статистики. Виконання оптимізації потребувало знаходження цільової функції [5], яка має вигляд:

$$Y_{\text{заг.}r} = \sqrt{\sum_{j=1}^m (1 - D_{jr})^2 * W_j^2}, \quad (1)$$

де $Y_{\text{заг.}r}$ – значення узагальненої цільової функції для r -го дослідження експерименту, яка у випадку пошуку оптимуму прагне до ($Y_{\text{заг.}r} \rightarrow 0$) і є оцінкою близькості цієї точки до гіпотетичного оптимального значення у кодованій формі, що дорівнює 1. D_{jr} – зведене до інтервалу 0...1 значення j -го відгуку (критерію якості) у r -му дослідженні експерименту, залежно від обраної для певного критерію якості мети це значення обчислюють за різними формулами; W_j – вага j -го критерію якості (відгуку) практично дорівнює $1/\sum_j$; m – кількість критеріїв якості відгуків. Значення D_{jr} обчислювали за допомогою формули:

для j -го критерію, який є максимумом

$$D_{jr} = 1 - \frac{Y_{j\text{max}} - Y_{jr}}{Y_{j\text{max}} - Y_{j\text{min}}}, \quad (2)$$

при $Y_{jr} \in [Y_{j\text{ниг}}, Y_{j\text{вг}}]$, а при $Y_{jr} > Y_{j\text{вг}}$ або $Y_{jr} < Y_{j\text{ниг}}$, тоді $D_{jr} = 1$,

де $Y_{j\text{ниг}}$ і $Y_{j\text{вг}}$ – відповідно нижня (мінімальна) та верхня (максимальна) границі заданого інтервалу;

$Y_{j\text{с}}$ – середина заданого інтервалу для j -го критерію якості (відгуку).

В якості критеріїв оптимізації обрано наступні три:

1. Загальні витрати перексиду водню при проведенні технологічного циклу.
2. Молекулярна маса білка.
3. Дзета-потенціал системи.

Молекулярна маса білка для кожного дослідного варіанту знайдена експериментально-аналітичним способом (табл. 3.). Дзета-потенціал, тобто заряд шкіри, що утворюється в наслідок дисоціації рухомих

низькомолекулярних іонів, визначається за допомогою індикаторного методу [6], що передбачає використання індикатору „Люмінору”, який дозволяє встановити не лише знак заряду, а і його величину (табл. 6).

Таблиця 6

Дзета-потенціал дослідних систем								
Величина дзета-потенціалу, для дослідів								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
- 8,65	- 0,40	- 3,61	- 13,93	- 10,38	- 8,90	- 13,83	- 3,53	- 5,68

Дослідження показали, що всі значення заряду отриманих зразків мають від'ємний знак, а їх величина коливається в межах від - 0,4 до - 13,9. Очевидно, наявність від'ємного знаку пов'язана з введенням в систему великого числа карбоксильних та гідроксильних груп.

В таблиці 7 наведені результати проведення оптимізації дослідних систем.

Таблиця 7

Визначення цільової функції дослідних систем							
Дослід	Загальні витрати H_2O_2 , моль	Молекулярна маса білка, $г \cdot 10^{-2}$	Дзета-потенціал систем	D_{1r}	D_{2r}	D_{3r}	$Y_{заг. r}$
1	0,115412	2156	- 8,65	1,8961	2,1161	0,6141	0,165
2	0,080118	1913	- 0,40	1,0000	1,8776	0,0001	0,148
3	0,080118	1478	- 3,61	1,0000	1,4506	0,2389	0,098
4	0,115412	2037	- 13,93	6,6667	1,9993	1,0076	0,157
5	0,115412	1914	- 10,38	6,6667	1,8786	0,7428	0,151
6	0,080118	1019	- 8,90	1,0000	1,0001	0,6333	0,041
7	0,080118	1206	- 13,83	1,0000	1,1837	0,9999	0,021
8	0,080118	1990	- 3,53	1,0000	1,9534	0,2331	0,136
9	0,097765	2104	- 5,68	0,5000	2,0647	0,3935	0,147
<i>min</i>	<i>0,080118</i>	<i>1019</i>	<i>- 13,93</i>				
<i>max</i>	<i>0,115412</i>	<i>2156</i>	<i>- 0,40</i>				

Отримана цільова функція узагальнює вплив реагентів дослідних систем на перетворення колагену дерми. Оптимальними параметрами обробки є ті, де цільова функція має мінімальну величину (0,021). Отже оптимальна технологія, що суттєво впливає на зміну властивостей колагену дерми включає витрати на першій стадії зоління: ТЕА-0,45; НДК-0,1; H_2O_2 -0,14; на другій стадії зоління: ТЕА-0,15; НДК-0,3; H_2O_2 -0,4; витрати H_2O_2 на процесі м'якшення складають 4,0 %.

Висновки

Попередня обробка голини різними гідроксилвмісними та карбоксилвмісними сполуками спричиняє суттєві зміни будови колагену дерми. В результаті екранування активних груп колагену дерми згаданими сполуками спостерігається збільшення рухливості елементів білкової системи.

За допомогою методу молекулярно-масового розподілу в сукупності з розрахунково-графічним методом визначено молекулярну масу білка в дослідних системах, яка коливається в межах від 101900 до 215600.

За допомогою методів математичної статистики проведено оптимізацію, в результаті якої встановлено систему, що спричиняє найбільші зміни при проведенні золіних процесів, які виражаються у збільшенні доступності структури дерми для хімічних матеріалів, введених в подальших технологічних процесах (дослідний варіант 7).

Література

1. Горбачов А. А. Наукові основи технологічних процесів виробництва шкіри та похідних колагену з позиції термодинаміки: Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д-ра техн. наук: 05.19.05 / Київ. нац. ун-т технол. та дизайну / А. А. Горбачов – К., 2002. – 44 с.
2. Пат. 41147 Україна, А.С14С11/00. Спосіб виготовлення шкіри / С. М. Кернер, Я. В. Курівчак, А. А. Горбачов, О. Д. Орлова. – № 85642С2; заявл. 15.09.2008; опубл. 10.02.2009, Бюл. № 3.
3. Воюцкий С. С. Практикум по коллоидной химии и электронной спектроскопии / С. С. Воюцкий, Р. М. Панич. – М.: Химия, 1974. – 224 с.
4. Анохін В. В. Хімія і фізико – хімія полімерів / Анохін В. В. – К.: Вища школа, 1971. – 340 с.
5. Основи створення сучасних технологій виробництва шкіри та хутра / [А. А. Горбачов, С. М. Кернер, О. А. Андреева, О. Д. Орлова]. – К.: Наукова думка, 2007. – 190 с.
6. Пат. 41147 А Україна, МПК. Спосіб визначення знаку заряду (дзета-потенціалу) поверхні шкіри / О. Д. Орлова, А. А. Горбачов, О. С. Романь, С. М. Кернер (Україна). – № 20010315-08; заявл. 05.03.2001; опубл. 11.06.2002.

Надійшла 10.9.2010 р.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИДАЛЕННЯ ВОДОРОЗЧИННИХ ЗАБРУДНЕНЬ З ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ (ПОВІДОМЛЕННЯ 2)

В статті розглянуто результати досліджень, пов'язаних з видаленням танінових забруднень найбільш ефективними засобами залежно від тривалості перебування плями на текстильному матеріалі, розроблені рекомендації щодо технології видалення плям.

The article deals with the results of investigation connected with the tanines contamination by the most efficient mean that depends on the duration of stain remaining on textile fabric. Recommendations as to the technological stain removing were elaborated.

Ключові слова: пляма, танін, біла бавовняна тканина, плямовиведення, старіння.

Якість обробки виробів на підприємствах хімічного чищення у значній мірі визначається ефективністю видалення плям. І саме тому операцію плямовиведення можна умовно вважати однією з головних стадій обробки виробів.

Особливої уваги і майстерності потребує видалення плям танінового походження, які містять дубильні речовини. Останні міцно фіксуються на текстильних матеріалах, що призводить до ризику їх пошкодження або руйнування барвника на забарвлених матеріалах.

На основі аналізу виділені наступні фактори, які впливають на видалення танінових забруднень:

- вид текстильного матеріалу;
- тривалість знаходження забруднення на текстильному матеріалі (ступінь старіння);
- вид волокнистого матеріалу;
- вид переплетення тканини.

У попередніх дослідженнях були визначені найбільш ефективні препарати для видалення танінових плям з білої бавовняної тканини та встановлені особливості процесу плямовиведення для трикотажних матеріалів [1].

Наступним етапом роботи було дослідження впливу ступеня старіння танінових плям на ефективність їх видалення та вироблення рекомендацій для якісного плямовиведення.

Об'єктом дослідження в даній роботі є процес видалення танінових забруднень різного ступеня старіння з текстильного матеріалу.

Предмет дослідження – біла бавовняна тканина, на яку нанесені танінові забруднення.

Для проведення досліджень використовували зразки білої бавовняної тканини полотняного переплетення. В якості танінових забруднень – чай, каву, соки (вишня, смородина).

Видалення таніновмісних плям проводили ручним способом через добу, дві, три тощо за допомогою рекомендованих у попередніх дослідженнях [1] ПАР (неонол, сульфасид, сульфанола) та плямовивідних препаратів (танекс, сульфазол, препарат МТІ). Максимальна тривалість перебування плям на матеріалі становила 10 діб.

За критерій оцінювання якості видалення плям з тканини приймали коефіцієнт відбиття, який умовно ідентифікували зі ступенем білизни матеріалу. Середній показник білизни (коефіцієнт відбиття) білої тканини становить 75 %. Коефіцієнт відбиття отримували за методикою вимірювання на фотометрі універсальному (ФΟΥ).

Для покращення сприйняття цифрових даних і одночасної математичної їх обробки побудовані графіки залежності коефіцієнтів відбиття від терміну перебування плям на матеріалі.

На рис. 1 представлені графіки залежності якості видалення плям чаю від тривалості їх перебування на текстильному матеріалі найбільш ефективними ПАР.

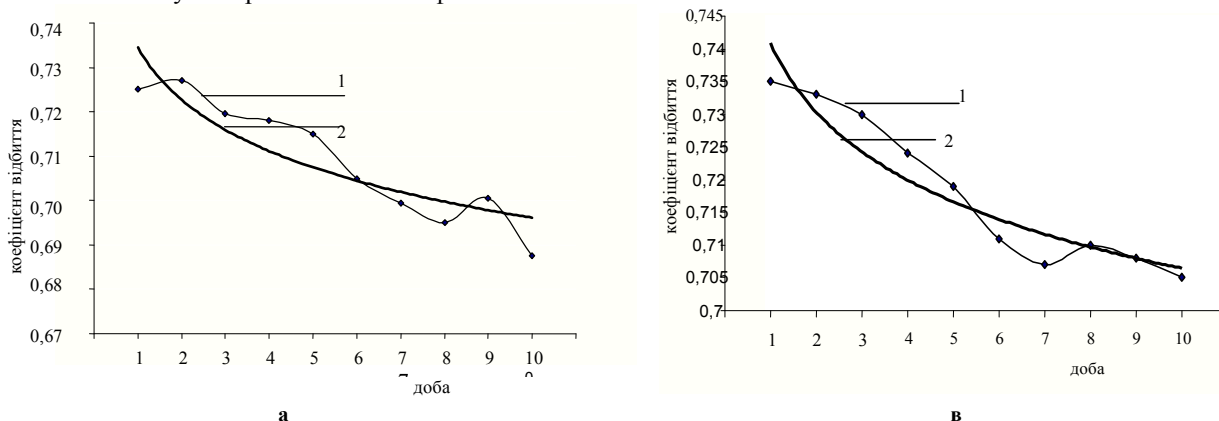
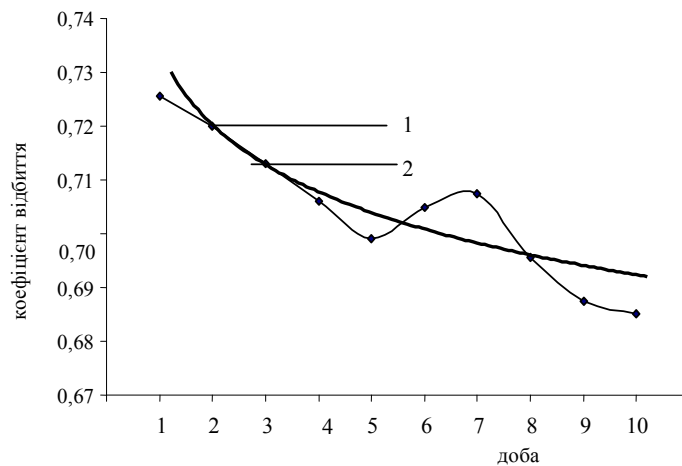


Рис. 1. Вплив ступеня старіння плям чаю на ефективність їх видалення:
а – неонол; в – сульфасид; с – сульфанола. 1 – експериментальна крива; 2 – лінія тренду



1 – експериментальна крива; 2 – лінія тренду
 Рис. 1. Вплив ступеня старіння плям чаю на ефективність їх видалення:
 а – неонол; в – сульфасид; с – сульфано́л (продовження)

Рис. 2 узагальнює наведені лінії тренду. Видно, що найвищий ступінь білизни при тривалості перебування плями протягом 1 доби має зразок, де плями видалялись сульфасидом, меншу ефективність має неонол. Сульфано́л показав найнижчі результати. Для плям чаю можна скласти ряд ефективності використання ПАР: сульфасид > неонол > сульфано́л.

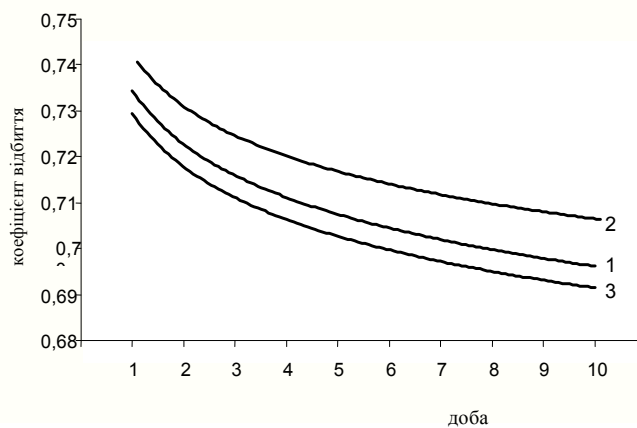


Рис. 2. Лінії тренду впливу ступеня старіння плям чаю на якість видалення їх ПАР:
 1 – неонол; 2 – сульфасид; 3 – сульфано́л

Аналогічно було проведено експеримент з дослідження впливу ступеня старіння плям чаю на ефективність їх видалення плямовивідними препаратами. Найбільш ефективним виявився препарат танекс. Ряд ефективності використання плямовивідних препаратів виглядає наступним чином: танекс > сульфазол > препарат МТІ (при знаходженні плями на матеріалі 1–2 доби). Для застарілих забруднень більш ефективний препарат МТІ.

Якість видалення плям кави ПАР залежно від тривалості їх перебування на текстильному матеріалі представлена у вигляді графіків (рис. 3, 4).

Результати досліджень показали, що найбільш ефективним ПАР є сульфано́л, менш ефективний неонол. За якістю видалення плям кави ПАР можна скласти ряд: сульфано́л > сульфасид > неонол.

Дослідження впливу ступеня старіння плям кави на ефективність їх видалення плямовивідними препаратами дозволило побудувати наступний ряд ефективності: сульфазол > танекс > препарат МТІ.

Вивчення впливу тривалості перебування плям смородини на бавовняній тканині на якість їх видалення ПАР і плямовивідними препаратами дозволило встановити наступні ряди ефективності: сульфано́л > неонол > сульфасид та сульфазол > танекс > препарат МТІ.

На рис. 5 представлені лінії тренду впливу ступеня старіння плям вишні на ефективність їх видалення ПАР (а) та плямовивідними препаратами (в).

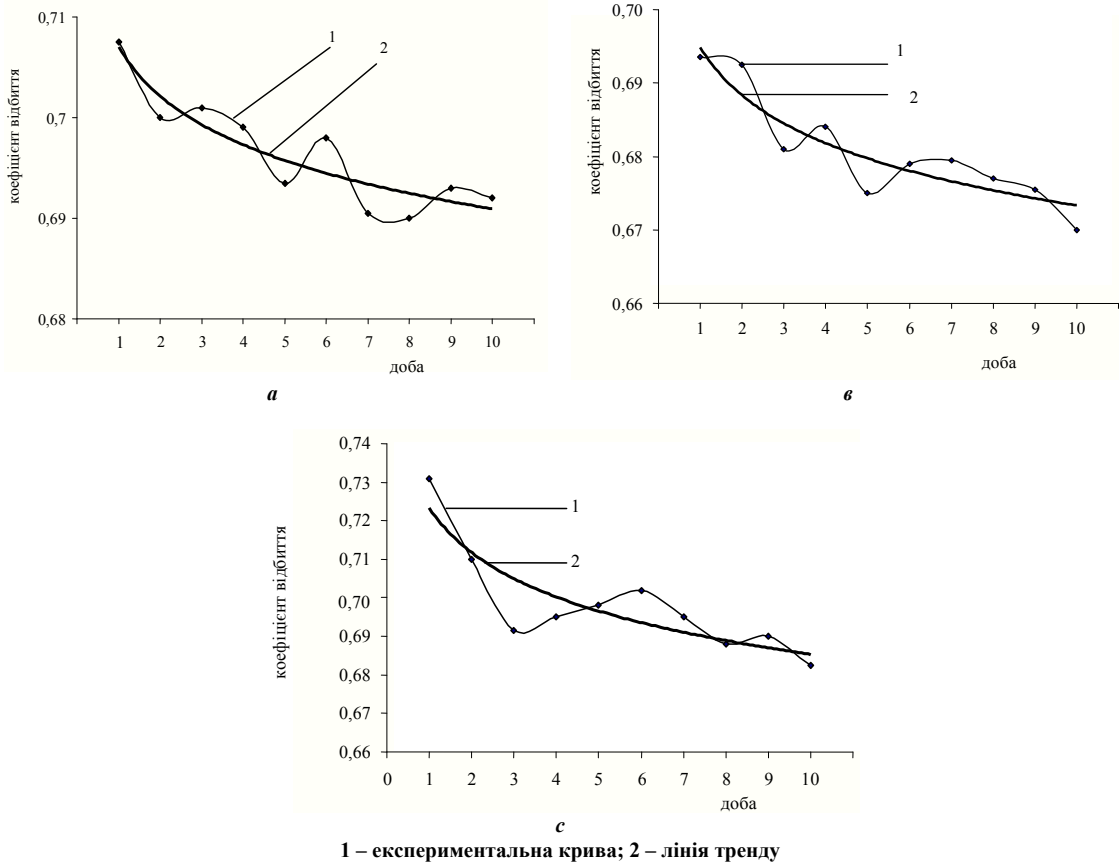


Рис. 3. Вплив ступеня старіння плям кави на ефективність їх видалення: а – неонол, б – сульфасид, в – сульфанол;

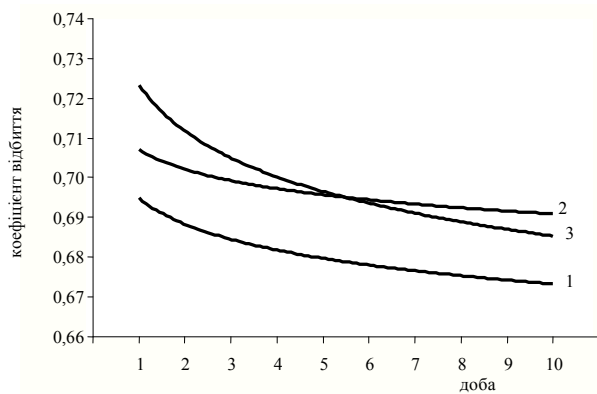


Рис. 4. Лінії тренду впливу ступеня старіння плям кави при видаленні їх ПАР: 1 – неонол; 2 – сульфасид; 3 – сульфанол

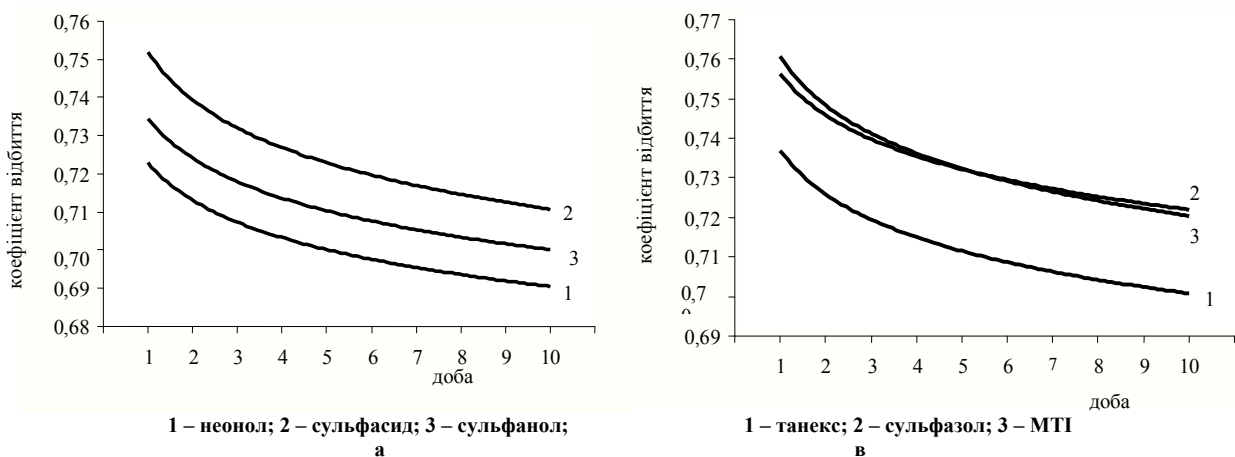


Рис. 5. Лінії тренду впливу ступеня старіння плям вишні на якість їх видалення: а – ПАР; б – плямовивідні препарати

Отримані результати свідчать, що найефективніше плями вишні видаляє сульфасид. Ряд ефективності виглядає наступним чином: сульфасид > сульфанол > неонол.

Плямовивідні препарати за ступенем ефективності видалення плям вишні можна розмістити в ряд сульфазол > препарат МТІ > танекс.

Таким чином на підставі проведених досліджень можна зробити практичні рекомендації щодо використання найбільш ефективних засобів для видалення танінових забруднень з бавовняних матеріалів, які представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Якість видалення танінових забруднень найбільш ефективними плямовивідними засобами

Вид забруднення	Плямовивідний засіб	
	ПАР	плямовивідний препарат
Чай	Сульфасид; 98 %	Танекс; 100 % Сульфазол; 100 % Препарат МТІ 100 %
Кава	Сульфанол; 97,5 %	Сульфазол; 99,5 %
Смородина	Сульфанол; 98,9 %	Сульфазол; 100 %
Вишня	Сульфасид; 100 %	Сульфазол; 100 % Препарат МТІ; 100 %

Примітка. Якість видалення представлена у відсотках до початкової білизни бавовняної тканини.

Як видно із табл. 1, плями чаю більш ефективно видаляються сульфасидом (ПАР). Усі обрані плямовивідні препарати ефективно видаляють плями чаю. Забруднення від кави та смородини найбільш якісно видаляються сульфанолю (ПАР) і сульфазолом (плямовивідний препарат). Для видалення плям вишні можна рекомендувати ПАР – сульфасид і плямовивідні препарати – сульфазол і препарат МТІ.

Проведені дослідження показують залежність ефективності видалення танінових плям не тільки від виду ПАР і плямовивідного препарату, а і від тривалості знаходження забруднення на текстильному матеріалі.

Як свідчать результати досліджень, у більшості випадків початкова білизна, що становить 75 %, досягається після видалення танінових плям, які знаходились на текстильному матеріалі 1– 2 доби. Якість видалення становить 98– 100 %. При збільшенні тривалості перебування забруднення на матеріалі якість видалення погіршується (табл. 2). Це можна пояснити тим, що танінові плями можуть окислюватися на повітрі: забарвлюючі речовини таніновмісних забруднень містять значну кількість гідроксильних груп [2– 5], які з часом окислюються киснем повітря до карбоксильних груп, що призводить до погіршення розчинності пігментів і утворення більш міцних зв'язків їх з волокнистим матеріалом.

Як видно з таблиці 2, при тривалості 4– 5 діб ефективність видалення знижується і складає у середньому 95– 97 %. Подальше збільшення ступеня старіння призводить до незначного погіршення якості плямовиведення (93– 95 %); при цьому початкове значення білизни не досягається на 5– 7 %. Ймовірно з часом відбувається закріплення барвника на бавовняному матеріалі внаслідок його окислення, утворення полімерної плівки тощо.

Таким чином, дослідження фактору старіння танінових плям на бавовняному текстильному матеріалі показало, що хімічні перетворення складових таніновмісних забруднень (окислення, полімеризація, фіксація на волокнистому матеріалі) відбуваються головним чином протягом 4– 5 діб перебування забруднення на волокні, про що свідчить зменшення коефіцієнту білизни в результаті плямовиведення після кожної доби. Подальше перебування плями на текстильному матеріалі (більше 5-и діб) значного впливу на ступінь білизни після видалення забруднень не має, повне видалення плями стає неможливим.

Таблиця 2

Вплив процесу старіння танінових плям на якість їх видалення найбільш ефективними плямовивідними засобами

Вид забруднення	Тривалість знаходження плями, доба	ПАР				Плямовивідний препарат			
		Сульфанол		Сульфасид		Танекс		Сульфазол	
		К	%	К	%	К	%	К	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Чай	1	-	-	0,735	98	0,756	100	0,756	100
	2	-	-	0,733	97,7	0,753	100	0,747	99,6
	3	-	-	0,730	97,3	0,744	99,2	0,740	98,7
	4	-	-	0,724	96,5	0,745	99,3	0,732	97,6
	5	-	-	0,719	95,9	0,725	96,7	0,728	97,1
	6	-	-	0,711	94,8	0,720	96,0	0,720	96,0
	7	-	-	0,707	94,3	0,725	96,7	0,717	95,6
	8	-	-	0,710	94,7	0,727	96,9	0,723	96,4
	9	-	-	0,708	94,4	0,723	96,4	0,722	96,4
	10	-	-	0,705	94	0,710	94,7	0,711	94,8

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вишня	1	-	-	0,751	100	-	-	0,753	100
	2	-	-	0,737	98,3	-	-	0,750	100
	3	-	-	0,732	97,6	-	-	0,742	98,9
	4	-	-	0,735	98,0	-	-	0,735	98
	5	-	-	0,730	97,3	-	-	0,733	97,7
	6	-	-	0,710	94,7	-	-	0,732	97,6
	7	-	-	0,723	96,4	-	-	0,734	97,9
	8	-	-	0,713	95,1	-	-	0,727	96,9
	9	-	-	0,713	95,1	-	-	0,724	96,5
	10	-	-	0,708	94,4	-	-	0,715	95,3
Кава	1	0,731	97,5	-	-	-	-	0,746	99,5
	2	0,710	94,7	-	-	-	-	0,721	96,1
	3	0,692	92,3	-	-	-	-	0,718	95,7
	4	0,695	92,7	-	-	-	-	0,721	96,1
	5	0,698	93,1	-	-	-	-	0,712	94,9
	6	0,702	93,6	-	-	-	-	0,714	95,2
	7	0,695	92,7	-	-	-	-	0,713	95,1
	8	0,688	91,7	-	-	-	-	0,701	93,5
	9	0,690	92,0	-	-	-	-	0,711	94,8
	10	0,683	91,1	-	-	-	-	0,708	94,4
Смородина	1	0,742	98,9	-	-	-	-	0,758	100
	2	0,70	97,3	-	-	-	-	0,750	100
	3	0,710	94,7	-	-	-	-	0,747	99,6
	4	0,711	94,8	-	-	-	-	0,749	99,6
	5	0,708	94,4	-	-	-	-	0,740	98,7
	6	0,698	93,1	-	-	-	-	0,736	98,1
	7	0,702	93,6	-	-	-	-	0,731	97,5
	8	0,696	92,8	-	-	-	-	0,734	97,9
	9	0,705	94,0	-	-	-	-	0,729	97,2
	10	0,693	92,4	-	-	-	-	0,721	96,1

Примітка. К – коефіцієнт відбиття; % – якість видалення плями

Висновок

Видалення танінових забруднень протягом 1– 2 діб забезпечує високу якість плямовиведення. Збільшення тривалості знаходження плями на текстильному матеріалі (старіння плями) призводить до незворотних змін, які обумовлюють неповне видалення забруднень.

Література

1. Тебляшкіна Л. І. Дослідження процесу видалення водорозчинних забруднень з текстильних матеріалів (повідомлення 1) / Л. І. Тебляшкіна, І. Г. Брюхова, І. О. Ткаченко // Вісник ХНУ. – 2010. – № 1. – С. 255– 258.
2. Флаваноиды [Электронный ресурс]: материалы из Википедии. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki.htm> (дата обращения 15.03.2009).
3. Пигменты в составе чая [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://teatips.ru>.
4. Химические свойства и состав кофе [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://coffefun.ru/page/compound.htm>.
5. Химический состав вишни [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sunduk.ru.htm>.

Надійшла 18.9.2010 р.

РОЛЬ РОСЛИННОГО БАРВНИКА І ПРОТРАВЛЮВАЧА У ФОРМУВАННІ КОЛІРНОЇ ГАМИ ЗАБАРВЛЕНЬ ЦЕЛЮЛОЗОМІСТКИХ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

Дана порівняльна характеристика колірної гами забарвлень, отриманих на целюлозомістких трикотажних полотнах і тканинах платтяно-сорочкового призначення екстрактами коренів марени фарбувальної і кори яблуні лісової. Показано, що наступне після фарбування протравлювання названих полотен $KAl(SO_4)_2$ і $CuSO_4$ веде до суттєвого розширення та збагачення колірної гами їх забарвлень.

The comparative characteristic of colors obtained at the cotton knitted fabrics and clothes fabrics by roots of marena purpose extracts of bark painting and apple wood. Shown that following etching after painting these canvases $KAl(SO_4)_2$ and $CuSO_4$ leads to a significant expansion and enriching the colors of their colors.

Ключові слова: екстракт коренів марени фарбувальної, екстракт кори яблуні лісової, колірна гама забарвлень, рецептурно-технологічний режим.

Вступ

Використання рослинних барвників замість високотоксичних марок синтетичних барвників для фарбування текстильних матеріалів і виробів одягового та інтер'єрного призначення, як свідчить вітчизняний і зарубіжний досвід, дозволяє вирішити низку завдань, а саме: розширити та збагатити колірну гаму забарвлень, підвищити рівень екологічної безпечності і гігієнічності цих товарів, більш повно і ефективно використати наявні в країні сировинні ресурси [1–4].

Разом з тим, пошук шляхів найбільш ефективного використання окремих видів рослинних барвників в різних підгалузях вітчизняного текстильного виробництва вимагає розширення та поглиблення цих досліджень, націлених:

- на обґрунтування рецептурно-технологічних режимів фарбування рослинними барвниками текстильних матеріалів із різних видів натуральних і хімічних волокон;
- вивчення можливостей збагачення і розширення колірної гами пофарбованих рослинними барвниками текстильних матеріалів за рахунок використання різних за хімічною будовою та властивостями протравлювачів;
- дослідження впливу волокнистого складу текстильних матеріалів на формування колірної гами їх забарвлень;
- на екологізацію сировинних ресурсів, технологій виробництва, асортименту та властивостей текстильних матеріалів і виробів одягового та інтер'єрного призначення.

Мета дослідження

Обґрунтування рецептурно-технологічних режимів фарбування платтяно-сорочкових целюлозомістких трикотажних полотен і тканин екстрактами коренів марени фарбувальної і кори яблуні лісової (дички) і наступного їх протравлювання алюмокалієвим галуном і мідним купоросом з метою розширення та збагачення колірної гами забарвлень на названих матеріалах.

Результати досліджень

Об'єктом дослідження служили бавовняні та бавовнянокотонінові (20 % лляного катоніну) трикотажні полотна, а також бавовняна і лляна тканина платтяно-сорочкового призначення. Характеристика заправних даних досліджуваних матеріалів наведена в табл. 1.

Вибір об'єктів дослідження мотивується низкою причин, а саме:

- пошуком найбільш оптимальних за волокнистим складом і способом фарбування рослинними барвниками екологобезпечних видів целюлозомістких платтяно-сорочкових полотен;
- обґрунтуванням рецептурно-технологічних режимів фарбування рослинними барвниками лляних, бавовняних і бавовняно-котонінових полотен платтяно-сорочкового призначення, які ще в літературі не описані;
- бажанням визначення залежності колірної гами забарвлень досліджуваних матеріалів від виду рослинного барвника, виду протравлювача та волокнистого складу полотен.

Фарбування досліджуваних полотен проводили за наступною технологією. Суху фарбувальну сировину (кора яблуні дички, корені марени фарбувальної) заливали холодною м'якою водою і витримували 12 год. Після цього суміш повільно нагрівали до кипіння і витримували за легкого кипіння 2 год. Після охолодження відціджували. Далі цю ж сировину заливали повторно невеликою кількістю води і знову кип'ятили 30 хв. Після відціджування перший відвар змішували з другим і використовували для фарбування. Кількість кореня марени становила 25 г/л, а кори яблуні – 55 г/л.

Фарбували відбілені полотна екстрактом цих рослин без будь-яких добавок хімічних препаратів (чиста ванна) і цим же екстрактом з додаванням 15 % від маси матеріалу алюмокалієвого галуно і 5 % мідного купоросу. Фарбували у нейтральній ванні, оскільки проведене пошукове фарбування показало, що екстракт марени фарбувальної найкраще фарбує целюлозні волокна у нейтральній ванні.

Заправні дані досліджуваних матеріалів

№ з/п	Назва матеріалу	Лінійна густина ниток, текс	Щільність – кількість петель (ниток) на 100 мм	Вид переплетення	Поверхнева густина полотна, г/м ²
1.	Чистобавовняне трико-тажне полотно вибілене	20x2	64/63 ^{**}	комбіноване на базі повного жакарду	182,2
2.	Бавовнянокотонінове (20 % лляного котоніну) трикоатажне полотно вибілене	15,4x2	63/57	- // -	175,4
3.	Чисто бавовняна тканина вибілена	22/22 ^{*)}	320/217	полотняне	135,0
4.	Чисто лляна тканина вибілена	34/34	201/170	- // -	120,0

Примітка: *) в чисельниках умовних дробів наведена лінійна густина пряжі в тканинах за основою, а в знаменниках – за утком.

***) в чисельниках наведена щільність трикоатажних полотен по горизонталі (а тканин по основі), а в знаменниках – трикоатажних полотен по вертикалі (тканин відповідно по утку).

В літературних джерелах зазначається, що екстракт кори яблуні теж найкраще фарбує у нейтральній ванні [1].

Фарбування проводили з наступним протравлюванням. У підігрітій до 35– 40⁰С екстракт барвника опускали попередньо замочені зрізки трикоатажних полотен і тканин. Температуру ванни повільно піднімали до кипіння і повільно фарбували за легкого кипіння 2 год. Після цього ванну з зрізками залишали до охолодження розчину до 30– 40⁰С. Зрізки з чистим екстрактом барвника промивали теплою і холодною водою, висушували. У другу ванну вводили 15 % від маси матеріалу алюмокалієвого галуни і третю – 5 % від маси мідного купоросу. Після цього ванну повільно нагрівали до кипіння і протравлювали за легкого кипіння 30 хв. Матеріал залишали у ванні до охолодження, а потім його промивали теплою, холодною водою і висушували.

Фарбування дослідних полотен проведено в лабораторних умовах кафедри художнього текстилю Львівської національної академії мистецтв. Отримані результати візуального оцінювання колірної гами забарвлень цих полотен наведені в табл. 2, 3.

Таблиця 2

Вплив екстракту кореня марени фарбувальної, виду протравлювача та волокнистого складу текстильних матеріалів на формування колірної гами їх забарвлень

№ з/п	Вид оброблення матеріалу	Колір і відтінок забарвлення	Код забарвлення за атласом кольорів *
А. Трикоатажні полотна			
1.	Бавовняне полотно, пофарбоване екстрактом кореня марени фарбувальної без протравлювання	темно-рожевий з синім відтінком	150404
2.	Те ж, з наступним протравлюванням KAl (SO ₄) ₂	світлий червоно-фіолетовий	130504
3.	Те ж, CuSO ₄	рожево-фіолетовий	160503
4.	Бавовнянокотонінове полотно, пофарбоване екстрактом кореня марени фарбувальної без протравлювання	темно-рожевий	150504
5.	Те ж, з наступним протравлюванням KAl (SO ₄) ₂	світлий червоно-фіолетовий	130504
6.	Те ж, CuSO ₄	рожево-фіолетовий	160603
Б. Тканини			
1.	Бавовняна тканина, пофарбована екстрактом кореня марени фарбувальної без протравлювання	темний рожево-фіолетовий	160704
2.	Те ж, з наступним протравлюванням KAl (SO ₄) ₂	червоно-коричневий	150704
3.	Те ж, CuSO ₄	темний червоно-коричневий	160703
4.	Лляна тканина, пофарбована екстрактом кореня марени фарбувальної без протравлювання	світлий рожево-фіолетовий	150604
5.	Те ж, з наступним протравлюванням KAl (SO ₄) ₂	світлий червоний з фіолетовим відтінком	130504
6.	Те ж, CuSO ₄	темно-рожевий з фіолетовим відтінком	160503

Примітка. Кількість кореня марени фарбувальної складала 25 г/л, концентрація протравлювача KAl (SO₄)₂·12H₂O – 15 %, а CuSO₄·5H₂O – 5 % маси матеріалу. У позначенні кольорів забарвлень шестизначними кодами перші два знаки відповідають колірному тону (номеру карти атласу), наступні два – номеру відтінку за насиченістю, а останні два – ступеню світлоти [5].

Оцінювання якості забарвлень, отриманих на досліджуваних матеріалах екстрактами кореня марени фарбувальної і кори яблуні лісової, проводили експертним методом [3]. Експертна група (у кількості 18 чоловік) була сформована з викладачів і аспірантів кафедри художнього текстилю Львівської національної академії мистецтв і кафедри товарознавства непродовольчих товарів Львівської комерційної академії, добре обізнаними з теорією і практикою фарбування текстильних одягових матеріалів і методами експертної оцінки якості їх забарвлень.

В результаті співставлення між собою забарвлень досліджуваних полотен (до і після їх протравлювання $KAl(SO_4)_2$ і $CuSO_4$) кожен експерт, користуючись атласом кольорів [5], називав колір і відтінок забарвлення кожного зразка із врахуванням його колірному тону, насиченості та світлоти, присвоював йому відповідний код. Названим експертами оцінкам кольорів і відтінків після узгодження між експертами і узагальнення присвоювався остаточний код [3].

Як видно з аналізу даних табл. 2 і 3, колірна гама забарвлень (їх колірний тон, насиченість і світлість) залежить від трьох основних чинників: виду рослинного барвника, виду протравлювача і волокнистого складу самих текстильних матеріалів. Так, якщо фарбування екстрактом кореня марени фарбувальної надає цим матеріалам червоно-рожево-фіолетові забарвлення з аналогічними відтінками, то фарбування цих матеріалів екстрактом кори яблуні лісової бежево-золотисті забарвлення різної інтенсивності.

Той факт, що екстракти коренів марени і кори яблуні лісової фарбують одні і ті ж целюлозомісткі полотна в різні за колірним тоном та насиченістю кольори пояснюється різним хімічним складом і будовою наявних в цих рослинах барвників. Так, якщо корені марени містять у своєму складі групу червоних і рожевих барвників антрахінонового ряду (алізарин, пурпурин, рубіадин, луцидин та ін.), то кора яблуні лісової – жовтий халконовий барвник флоретин.

Далі встановлено, що наступне після фарбування названими барвниками целюлозомістких полотен протравлювання $KAl(SO_4)_2$ і $CuSO_4$ в обох випадках сприяє суттєвому розширенню та збагаченню колірної гами забарвлень на цих полотнах. Причому протравлювання $KAl(SO_4)_2$ целюлозомістких полотен, пофарбованих екстрактами кореня марени і кори яблуні лісової, як правило, сприяє деякому посвітлінню отриманих забарвлень, а протравлювання $CuSO_4$, навпаки, веде до появи на них більш темних відтінків.

Певний вплив на формування колірної гами досліджуваних полотен, за інших рівних умов, має також їх волокнистий склад. Так, на відміну від бавовняних полотен (тканих і трикотажних), при фарбуванні екстрактами коренів марени і яблуні лісової лляних тканин були отримані менш насичені і більш світлі кольори забарвлень як до, так і після наступного їх протравлювання $KAl(SO_4)_2$ і $CuSO_4$. Що стосується бавовнянокотонінових трикотажних полотен, то їх забарвлення названими барвниками за своїм колірним тоном, насиченістю і світлістю практично не відрізняються від забарвлень аналогічних за будовою чистобавовняних трикотажних полотен.

Таблиця 3

Вплив екстракту кори яблуні лісової (дички)*, виду протравлювача та волокнистого складу текстильних матеріалів на формування колірної гами їх забарвлень

№ з/п	Вид оброблення матеріалу	Колір і відтінок забарвлення	Код забарвлення за атласом кольорів
А. Трикотажні полотна			
1.	Бавовняне полотно, пофарбоване екстрактом кори яблуні лісової без протравлювання	світло-бежевий	050203
2.	Те ж, з наступним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	золотистий	030408
3.	Те ж, $CuSO_4$	темний золотистий	040507
4.	Бавовнянокотонінове полотно, пофарбоване екстрактом кори яблуні лісової без протравлювання	світло-бежевий	050203
5.	Те ж, з наступним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	золотистий	030408
6.	Те ж, $CuSO_4$	темний золотистий	040507
Б. Тканини			
1.	Бавовняна тканина, пофарбована екстрактом кори яблуні лісової без протравлювання	світло-бежевий	050303
2.	Те ж, з наступним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	золотистий	030408
3.	Те ж, $CuSO_4$	темний золотистий	040606
4.	Лляна тканина, пофарбована екстрактом кори яблуні лісової без протравлювання	світло-бежевий	050203
5.	Те ж, з наступним протравлюванням $KAl(SO_4)_2$	золотистий	030408
6.	Те ж, $CuSO_4$	темний золотистий	040606

Примітка: Кількість кори яблуні лісової складала 55 г/л, концентрація протравлювача $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ – 15 %, а $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ – 5 % маси матеріалу.

Висновки

1. Вивчені особливості формування колірної гама забарвлення на бавовняних і бавовнянокотонінових трикотажних полотнах, бавовняних і лляних тканинах платтяно-сорочкового призначення в результаті фарбування їх екстрактами коренів марени фарбувальної і кори яблуні лісової.
2. Встановлено, що наступне після фарбування названих полотен протравлювання їх $KAl(SO_4)_2$ і $CuSO_4$ сприяє суттєвому розширенню і збагаченню колірної гама їх забарвлень.

Література

1. Семак З. М. Фарбування текстильних матеріалів рослинними барвниками: [навч. посібник для вузів] / З. М. Семак, Б. Б. Семак. – Львів: Світ, 2005. – 368 с.
2. Калинин Ю. А. Природные красители и вспомогательные вещества в химико-текстильных технологиях – реальный путь повышения экологической чистоты и эффективности производства текстильных материалов / Ю. А. Калинин, И. Ю. Вашурин // Российский химический журнал. – 2002. – XLVI, № 1. – С. 77–87.
3. Семак Б. Б. Наукові засади формування ринку рослинної технічної сировини та його окремих сегментів в Україні: [монографія] / Семак Б. Б. – Львів: Вид-во Львівської комерційної академії, 2007. – 512 с.
4. Демкович О. В. Льоновомісні одягові тканини: шляхи екологізації технології виробництва, оптимізації структури асортименту та підвищення конкурентоспроможності / О. В. Демкович, А. В. Добровольська, Б. Б. Семак // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 1. – С. 163–167.
5. Атлас цветов: каталог / [Г. П. Вишняк, В. А. Жуков, Э.Г. Певзнер и др.]. – М.: ВИАМЛегпром, 1986. – 46 с.

Надійшла 18.9.2010 р.

УДК 677.044.132

М.П. САВЧУК, Ю.С. МИХЕЄВА
Хмельницький національний університет**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АНТИСТАТИЧНОЇ
ОБРОБКИ ТКАНИНИ НА ОСНОВІ ПОЛІАМІДНИХ ВОЛОКОН**

У статті досліджена проблема зниження статичної електризації текстильних матеріалів з використанням хімічного методу. Зокрема наведені дані про вплив виду, концентрації антистатика і відносної вологості повітря на питомий опір тканини та встановлені найбільш ефективні препарати для її антистатичної обробки.

In this article researched the problem of decreasing static electrization textile materials using chemical methods. Particular shows dates of the influence of type and concentration of antistatic and relative humidity on the resistivity of tissue and set the most effective drugs for its anti-static treatment.

Ключові слова: електрофізичні властивості, антистатична обробка, текстильні матеріали.

Постановка проблеми

В наш час для виготовлення одягу, в тому числі і виробничого, широке застосування знаходять текстильні матеріали, виготовлені на основі штучних та синтетичних волокон. Відомо [1, 2], що такі матеріали, маючи комплекс позитивних властивостей, характеризуються низькими гігієнічними властивостями. При експлуатації одягу із хімічних високо діелектричних матеріалів має місце інтенсивне накопичення та тривале збереження зарядів статичної електрики як на поверхні матеріалу, так і тілі людини, що є негативним фактором.

Відомо, що наелектризовані матеріали в умовах виробництва більш швидко забруднюються, злипаються між собою, прилипають до тіла, спричиняють почуття дискомфорту та значно погіршують умови праці. Тривала і неконтрольована дія електростатичного поля представляє собою професійну шкоду, понижаючи опір людини до деяких захворювань, що призводить до підвищеної стомлюваності, ряду функціональних порушень. Інтенсивне накопичення зарядів на тілі людини і робочих місцях в умовах виробництва призводить до порушення технологічних процесів, до збоїв в роботі та виходу із ладу високочутливої техніки, зниження продуктивності праці та якості продукції. Електричні розряди між тілом людини і зарядженим об'єктом можуть викликати у людини шоковий стан або переляк, який супроводжується мимовільними рухами, і призводити до механічних травм та нещасних випадків. Особливо небезпечна дія розрядів статичної електрики, які супроводжуються значним виділенням енергії і являються джерелом виникнення вибухів та пожеж в умовах виділення, переробки, виготовлення та використання легкозаймистих речовин та матеріалів [3].

Безперервний ріст обсягу виробництва високо діелектричних текстильних матеріалів з використанням хімічних волокон, їх можлива інтенсивна електризація вимагають як об'єктивної оцінки

електрофізичних властивостей, так і встановлення ефективних методів та засобів по її зниженню до гігієнічно безпечного рівня з урахуванням умов виробництва та експлуатації виробів із них.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Авторами роботи [1] дається загальна гігієнічна оцінка одягу із штучних матеріалів в процесі його експлуатації. При цьому вказують на високий рівень напруженості ЕСП на поверхні текстильних матеріалів, виготовленого на основі хімічних волокон. Крім цього, такі матеріали менш гігроскопічні, особливо, це стосується матеріалів на основі поліамідних, поліефірних і поліакрілонітрильних волокон. Під час носіння одягу, виготовленого на основі синтетичних волокон, із-за низької гігроскопічності та електропровідності, має місце ряд негативних проявів.

В роботі [4] всі текстильні матеріали за величиною електричного опору умовно поділені на три групи. До першої групи було віднесено матеріали на целюлозній основі (бавовна, віскозне волокно), які мають питомий електричний опір $\rho_s = 10^7 - 10^8$ Ом при 65 % відносній вологості. Виключення складає ацетатне волокно, яке має $\rho_s > 10^{11}$ Ом. До другої групи з середньою величиною $\rho_s = 10^{10} - 10^{12}$ Ом відносять протеїнові волокна. До третьої групи, з найбільш високим $\rho_s = 10^{12} - 10^{14}$ Ом, відносять синтетичні волокна (капрон, лавсан, поліпропілен). При цьому, до умовно неелектропровідних віднесені текстильні матеріали з $\rho_s > 10^{12}$ Ом, а до електропровідних – $< 10^{10}$ Ом. Встановлено [5], що при експлуатації виробів із текстильних матеріалів допустима величина питомого електричного опору повинна бути не вище $10^{10} - 10^{11}$ Ом. На думку автора, значення такого опору, з урахуванням електростатично безпечної поведінки текстильних матеріалів, повинно бути забезпечено навіть при відносній вологості повітря 20–30 %.

Порівняльна оцінка електропровідності матеріалів для взуття та одягу [6] свідчить, що досліджені матеріали характеризуються широким діапазоном питомого електричного опору (від 10^9 до 10^{15} Ом). Встановлено, що всі випробувані матеріали за величиною електричного опору слід віднести до класу діелектриків і, отже, навіть при стандартних кліматичних умовах більшість із них здатні генерувати і певний час зберігати електричні заряди на своїй поверхні.

Наведені вище дані свідчать про необхідність розробки та використання ефективних способів зниження електризації матеріалів та підвищення електропровідності, тобто надання їм антистатичних властивостей.

Різноманітні методи надання антистатичних властивостей текстильним виробам з фізичної точки зору можуть бути зведені до реалізації двох основних завдань: зниження до мінімуму величини генерованого електростатичного заряду і практично миттєвого його розсіювання.

Всі існуючі методи зниження електризації текстильних матеріалів можна умовно поділити на фізичні і хімічні [7]. В наш час проблема отримання текстильних матеріалів з необхідними антистатичними властивостями переважно вирішується хімічними методами в двох напрямках: шляхом вироблення таких матеріалів із волокон та ниток зі стійкими антистатичними властивостями або надання антистатичних властивостей готовим виробам завдяки обробці різними хімічними препаратами. Ці методи ґрунтуються на хімічній взаємодії матеріалів з низько- або високомолекулярними речовинами чи їх сполуками. Характер, міцність і тривалість такої взаємодії визначається рядом чинників: властивостями матеріалів і речовин, призначених для обробки, параметрами процесу (температура, середовище, тривалість взаємодії), умовами експлуатації.

Перевага першого напрямку полягає в тому, що при цьому появляється можливість отримувати вироби з антистатичними властивостями і суттєво полегшується процес виготовлення цих виробів, оскільки антистатичні нитки в процесах технологічної переробки мало електризуються. Разом з тим відомо, що суттєвим недоліком виготовлення антистатичних ниток є низька економічність та відтворюваність, складність отримання волокон з достатньо рівномірними антистатичними властивостями по довжині, а також погіршення у ряді випадків фізико-механічних властивостей ниток.

З метою усунення вище перерахованих недоліків, широке використання для антистатичної обробки готових текстильних матеріалів та виробів із них знаходить другий напрямок, який передбачає їх обробку антистатичними препаратами. В якості таких антистатиків найбільш широке використання знаходять поверхнево-активні речовини (ПАР), які класифікують залежно від властивостей при розчиненні у воді, за характером дії, за способом використання [8]. Залежно від будови ПАР сприяють не тільки підвищенню поверхневої і об'ємної провідності матеріалів, яке прискорює розсіювання (стікання) електричних зарядів з обробленого препаратом матеріалу, а також являються хорошими пом'якшувачами, знижують коефіцієнт тертя тощо.

Встановлено [4], що ефективність антистатичної дії поверхнево-активних речовин залежить як від їх будови, так і від виду та властивостей текстильних матеріалів, що обробляються. Так, один і той же препарат, будучи високоефективним для одних матеріалів, може проявляти помірну антистатичну дію для других і спричиняти накопичення зарядів на поверхні третіх [8]. На жаль, до цього часу відсутня теорія, яка б забезпечувала надійний вибір найбільш ефективного антистатика з урахуванням характерних особливостей текстильних матеріалів та електрофізичних вимог до них. Тому встановлення найбільш ефективного препарату для антистатичної обробки конкретного текстильного матеріалу можливо тільки експериментальним шляхом.

Формулювання цілі статті

Метою даної роботи було встановлення найбільш ефективних поверхнево-активних речовин для антистатичної обробки тканини на основі поліамідних волокон (капрону), яка широко використовуються для виготовлення виробничих халатів.

Виклад основного матеріалу

Для реалізації поставленої мети були обрані сучасні антистатичні універсальні препарати на основі поверхнево-активних речовин, такі як Ніопрін марок АТ і АФ, *Lenor Special*. Для порівняння з антистатиками на основі ПАР також був взятий поліетиленгліколь 1500 і 2000.

Антистатична обробка зразків тканини, виготовленої на основі поліамідних волокон, здійснювалась з дотриманням наступного режиму:

- концентрація препарату в робочій ванні – 10 г/л, 15 г/л і 20 г/л, оптимальні концентрації вибирались експериментальним шляхом;
- ступінь віджимання – 90 %;
- температура робочого розчину – 55– 65°C;
- температура сушіння оброблених зразків – 100°C;
- тривалість обробки – 20 хв.

При обробці використовувалась плюсовка з обгумованими валами. Сушка зразків виконувалась в сушильній шафі з активною зоною.

В якості критерію оцінки електрофізичних властивостей тканини до і після обробки використовували питомий поверхневий електричний опір ρ_s , визначення якого здійснювалось згідно з ГОСТ 19616-74 на приладі ИЭСТП – 1. Кожне випробування проведено на десяти елементарних пробах розміром 95 мм × 190 мм. За остаточний результат брали середньоарифметичне величину електричного опору. За такої кількості зразків та вимірювань значення погрішностей не перевищувало 5 %.

У відповідності з класифікацією дії антистатиків [8], електрофізичні властивості оброблених матеріалів вважаються відмінними при ρ_s не більше 10^{10} Ом, добрими при $\rho_s = 10^{10} - 10^{12}$ Ом, помірними при $\rho_s = 10^{12} - 10^{14}$ Ом, низькими $\rho_s = 10^{14} - 10^{15}$ Ом.

Оскільки відносна вологість повітря може суттєво впливати на електропровідність матеріалу, то підготовка проб та дослідження впливу виду і концентрації антистатиків здійснювалась при ϕ 20 % і 65 % та температурі $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Вибрані параметри вологості повітря відповідають в першому випадку найбільш жорстким умовам, які реально можливі в приміщеннях в період опалювального сезону, а в другому-стандартним кліматичним умовам.

Результати визначення питомого поверхневого опору тканини на основі поліамідних волокон до і після антистатичної обробки наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Вплив виду, концентрації антистатика та відносної вологості повітря на питомий опір поліамідної тканини

Назва антистатика	Концентрація	Питомий поверхневий опір тканини ρ_s , Ом	
		необробленої	обробленої
при $\phi = 20\%$			
Ніопрін марки АТ	10	$8,9 \cdot 10^{14}$	$9,8 \cdot 10^{11}$
	15		$2,5 \cdot 10^{11}$
	20		$8,6 \cdot 10^{10}$
Ніопрін марки АФ	10		$7,3 \cdot 10^{11}$
	15		$4,7 \cdot 10^{10}$
	20		$2,0 \cdot 10^{10}$
<i>Lenor Special</i>	10		$8,8 \cdot 10^{12}$
	15		$6,4 \cdot 10^{11}$
	20		$1,9 \cdot 10^{11}$
Поліетиленгліколь 1500	10		$3,5 \cdot 10^{13}$
	15		$2,5 \cdot 10^{12}$
	20		$8,3 \cdot 10^{11}$
Поліетиленгліколь 2000	10	$8,1 \cdot 10^{12}$	
	15	$7,6 \cdot 10^{11}$	
	20	$3,7 \cdot 10^{11}$	
при $\phi = 65\%$			
Ніопрін марки АТ	10	$6,5 \cdot 10^{13}$	$5,3 \cdot 10^{10}$
	15		$6,1 \cdot 10^9$
	20		$8,4 \cdot 10^8$
Ніопрін марки АФ	10		$2,5 \cdot 10^{10}$
	15		$1,7 \cdot 10^9$
	20		$5,2 \cdot 10^8$
<i>Lenor Special</i>	10		$9,4 \cdot 10^{10}$
	15		$3,2 \cdot 10^{10}$
	20		$6,9 \cdot 10^9$
Поліетиленгліколь 1500	10		$1,5 \cdot 10^{12}$
	15		$6,4 \cdot 10^{11}$
	20		$7,7 \cdot 10^{10}$
Поліетиленгліколь 2000	10	$9,1 \cdot 10^{11}$	
	15	$7,8 \cdot 10^{10}$	
	20	$1,3 \cdot 10^{10}$	

Отримані результати випробувань свідчать, що з підвищенням відносної вологості повітря з 20 % до 65 % величина питомого поверхневого опору необробленої тканини на основі поліамідних волокон знижується тільки на один порядок і знаходиться в межах 10^{14} – 10^{13} Ом. Це підтверджує, що дана тканина характеризується високими діелектричними, гідрофобними властивостями і має понижено гігроскопічність. Практика використання такого матеріалу для виробничих халатів підтвердила, що в умовах їх експлуатації має місце інтенсивне накопичення та тривале збереження електростатичних зарядів як на їх поверхні так і на тілі людини. При цьому, потенціал електричного заряду на тілі людини досягає значення більше 10 кВ, що може приводити, за певних умов, до небажаних наслідків [9].

Як видно із даних табл. 1, обробка тканини запропонованими антистатичними препаратами призводить у всіх випадках до зниження її питомого поверхневого опору. Разом з тим, порівняльна оцінка електропровідності обробленої тканини підтверджує, що найбільш висока ефективність досягається при використанні таких поверхнево-активних речовин, як Ніопрін марок АФ і АТ та *Lenor Special*. Дещо нижча антистатична дія поліетиленгліколю 2000 і найнижча поліетиленгліколю 1500. При цьому, величина електричного опору тканини після антистатичної обробки ПАР знижується на три-чотири порядки, а поліетиленгліколями – на два-три порядки. Встановлені значення питомого поверхневого опору обробленої тканини різними препаратами свідчать, що за стандартних кліматичних умов у відповідності з класифікацією ефективність дії антистатиків на основі ПАР отримала оцінку “відмінно”, а поліетиленгліколю – “добре”.

В роботі встановлено, що на ефективність дії антистатиків значно впливає їх концентрація. Так, підвищення концентрації препарату у всіх випадках сприяє зниженню питомого поверхневого опору. Разом з тим, при стабільній вологості повітря з ростом концентрації антистатика з 10 г/л до 15 г/л має місце більш суттєвий рівень підвищення електропровідності, ніж в інтервалі 15– 20 г/л. Таким чином, з метою економії антистатиків, зниження вірогідності негативного впливу на фізико-механічні властивості текстильного матеріалу і для отримання антистатичного ефекту достатньо їх використовувати концентрацією 15 г/л.

Порівняльна оцінка електропровідності зразків обробленого матеріалу підтверджує, що вологість повітря сприяє підвищенню ефективності дії антистатичної обробки тканини. Особливо така закономірність проявляється при використанні ПАР як Ніопрін марок АФ і АТ та *Lenor Special* концентрацією 15– 20 г/л при відносній вологості повітря 65 %. Так, питомий поверхневий опір обробленої тканини при вказаних параметрах на один-два порядки нижче ніж при $\phi = 20$ %. Така закономірність, ймовірно, обумовлена деякою гігроскопічністю антистатичних препаратів, які при обробці тканини адсорбують вологу із повітря, створюючи на її поверхні тонкий електропровідний шар.

Таким чином, отримані результати роботи свідчать про досить високу антистатичну ефективність вибраних ПАР для антистатичної обробки тканини на основі поліамідних волокон, використання яких забезпечує їх електричний опір в межах гігієнічно допустимої величини.

Висновки

В результаті виконаних експериментальних досліджень встановлено, що тканина на основі поліамідних волокон характеризується високими діелектричними та гідрофобними властивостями, які за величиною електричного опору значно перевищують гігієнічно допустимий рівень. Експлуатація одягу із такого матеріалу за певних умов приводить до інтенсивного накопичення і тривалого зберігання електростатичних як на їх поверхні, так і на тілі людини, що є негативним фактором.

З метою поліпшення електрофізичних властивостей тканини запропоновано хімічний метод, який передбачає її обробку антистатичними препаратами різної будови. За рівнем зниження питомого поверхневого опору встановлена ефективність антистатичної обробки дослідного матеріалу залежно від виду, концентрації препарату та відносної вологості повітря. За стандартних кліматичних умов у відповідності з електрофізичними вимогами ефективність дії запропонованих антистатиків на основі ПАР отримала оцінку “відмінно”, а поліетиленгліколю – “добре”.

Таким чином, використання результатів роботи дає можливість суттєво підвищувати електропровідність тканин, виготовлених на основі поліамідних волокон, що буде сприяти зниженню статичної електризації виробів із них в умовах експлуатації та поліпшенню електростатичної безпеки виробництва.

Література

1. Гигиенические особенности одежды из искусственных материалов / [В. Н. Чекаль, В. Н. Акименко, Г. В. Бей и др.]. – К.: Здоров'я, 1982. – 120 с.
2. Делль Р. А. Гигиена одежды: Учеб. пособие для вузов легкой пром-сти / Р. А. Делль, Р. Ф. Афанасьева, З. С. Чубарува; под ред. Р. Ф. Афанасьевой. – М.: Легкая индустрия, 1979. – 144 с.
3. Антистатические полимерные материалы. – М.: Химия, 1983. – 176 с.
4. Ефрос Р. Д. Текстильные материалы с антистатическими свойствами / Р. Д. Ефрос, М. И. Юзефович // Текстильная пром-сть. – 1986. – № 6. – С. 68– 72.
5. Гефтер П. Л. Электростатические явления в процессах переработки химических волокон / Гефтер П. Л. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 272 с.
6. Савчук М.П. Порівняльна оцінка електропровідності матеріалів для взуття та одягу / М. П.

Савчук, В. М. Калина // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 5 – С. 147– 149.

7. Гефтер П. Л. Способы снижения электризации тканей и ковров из химических волокон / Гефтер П. Л., Локшина И. В., Генц И. П. – М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1975. – 64 с.

8. Василенок Ю. И. Предупреждение статической электризации полимеров / Василенок Ю. И. – Л.: Химия, 1981. – 208 с.

9. Савчук Н. П. Электризуемость обувных материалов и обуви и разработка мер ее снижения: дис. ... канд. техн. наук: 05.19.08 / Савчук Н. П. – М., 1991. – 236 с.

Надійшла 17.9.2010 р.

УДК 677. 027

В.В. НЕДІЛЬКО, О.П. СУМСЬКА, Н.С. СУББОТІНА
Херсонський національний технічний університет

ЗАСТОСУВАННЯ ПОЛІМЕРНОГО ПОХІДНОГО ГУАНІДИНУ З МЕТОЮ НАДАННЯ АНТИМІКРОБНОЇ АКТИВНОСТІ ВОВНОВІСНИМ ТЕКСТИЛЬНИМ МАТЕРІАЛАМ

В статті висвітлені проблеми антимікробної обробки вовняних текстильних матеріалів, наведені останні дослідження та публікації з цієї тематики, досліджено та обґрунтовано можливість надання антимікробної активності вовновісним текстильним матеріалам з застосуванням полігуанідину. Встановлено, що обробка даною речовиною поряд з наданням антимікробних властивостей не впливає негативно на колористичні характеристики забарвлень та дозволяє підвищити стійкість забарвлень до прання.

The article highlights the problem of antimicrobial finishing of wool textile materials, given recent research and publications on this subject, investigated and substantiated the possibility of giving antimicrobial activity of a wool textile materials using poliguanidin. Found that finishing of this material along with providing antimicrobial properties does not affect adversely the colorful characteristics of colors and colorings can increase resistance to washing.

Ключові слова: вовна, антимікробна обробка, полігуанідин.

Постановка проблеми

Зараз відомо достатньо різноманітних препаратів, що запропоновані для застосування в якості антимікробних агентів. Але серед них велика кількість препаратів мають досить сильну бактерицидну дію по відношенню до багатьох видів мікроорганізмів, водночас майже всі є досить небезпечними для здоров'я людини. Тому виникає потреба у пошуку антимікробних речовин, що мали б досить широкий спектр антимікробної дії і водночас були б нешкідливими для людини при довготривалому використанні.

Найбільш актуальним напрямком при створенні технології антимікробної обробки вовновісних текстильних матеріалів є не стільки підвищення їх антимікробної активності, скільки підвищення тривалості їх дії в процесі експлуатації, зниження токсичності, алергеності та підвищення екологічної безпеки.

Автори досліджень відмічають, що порівнюючи такі групи хімічних сполук, як хлоровмісні, пероксидні сполуки, альдегіди, феноли та їх похідні, четвертинні амонієві сполуки та поверхнево-активні речовини (ПАР), за такими критеріями, як антимікробна активність, токсичність, термін придатності, тривалість дії, екологічна безпека, найбільш придатними до використання є іоногенні та амфолітні ПАР [1–4]. Серед них частіше за все використовуються такі препарати, як хлоргексидину біглюконат, вантоцил, долін, рокал (катамін АБ).

Останнім часом нарівні з вище перерахованими антимікробними засобами велику зацікавленість науковців викликає новий клас полімерів – полімерні біоциди на основі гуанідину, які є більш ефективними та менш шкідливими для людини, ніж низькомолекулярні біоцидні препарати, що традиційно використовуються в різних галузях народного господарства, в тому числі й для надання текстильним матеріалам антимікробних властивостей. Це пояснюється наявністю в них таких позитивних властивостей, як широкий спектр антимікробної, антивірусної, фунгіцидної дії, низька токсичність та корозійна активність, тривале зберігання без втрати бактерицидних властивостей та, саме головне, здатність утворювати після обробки полімерну плівку, що забезпечує тривалий захист поверхні від атаки мікроорганізмів [2, 5].

Перспективними біоцидними препаратами вітчизняного виробництва є полігуанідини – синтетичні високомолекулярні похідні азотистої основи – гуанідину. Високу бактерицидну та фунгіцидну активність цьому полімеру надають полімерні гуанідинові групи [6].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Більшість наукових досліджень та публікацій присвячених антимікробній обробці стосуються переважно целюлозовмісних текстильних матеріалів. Серед публікацій, присвячених проблемам надання антимікробних властивостей вовняним текстильним матеріалам слід зазначити дослідження Н.П. Ліхачова, О.Г. Суворової, З.Ю. Козинди та ін. Автори вивчали ефективність використання антимікробних вовняних виробів (білизни та шкарпеток) для профілактики та лікування гнійничкових та грибкових уражень шкіри. З

цією метою для надання натільній білизні та шкарпеткам антимікробної активності використовували солі міді та 5-нітрофурил-2-акролеїн (НФА), хімічно приєднаний до вовняного волокна [7]. Оскільки шкарпетки та білизну піддають частому пранню, визначали стійкість обробки солями міді та НФА до багаторазового прання. Крім того, солі міді можуть значно впливати на колористичні характеристики забарвлень текстильних матеріалів, що в статті не висвітлено. Одними з останніх наукових праць, що присвячені дослідженню актуальних питань антимікробної обробки вовни, є праці Г.І. Хазанова (ВАТ НВК «ЦНДІВовни»). Автор досліджував можливість суміщення процесів фарбування та антимікробної обробки за рахунок використання кислотних антрахінонових та хромових барвників [8], а також вивчав вплив способу нанесення та характеру розподілення препаратів та барвників на антимікробну активність текстильних матеріалів [9]. Використання ряду барвників, які виявляють антимікробну активність по відношенню до патогенної мікрофлори є досить перспективним напрямком. Однак в даному випадку досягається тимчасовий та незначний антимікробний ефект, в основі якого лежить механізм відщеплення барвника з зовнішньої поверхні волокнистого матеріалу, що було підтверджено в даних наукових дослідженнях. Таким чином, враховуючи вищевикладене однією з основних проблем при антимікробній обробці вовновмісних текстильних матеріалів є вибір антимікробного препарату, так як він обмежений жорсткими вимогами, повинен забезпечити не лише високий, але й довготривалий антимікробний ефект.

Постановка мети дослідження

Метою даного дослідження було визначення можливості надання вовновмісним текстильним матеріалам антимікробних властивостей з застосуванням полімерного похідного гуанідину та визначення впливу обробки полігуанідином на колористичні характеристики та стійкість забарвлень до прання та тертя.

Виклад основного матеріалу

Зважаючи на вищевикладене було досліджено актуальні питання застосування полігуанідину в якості препарату для антимікробної обробки вовновмісних текстильних матеріалів.

Основним представником класу полігуанідинів та вихідною сполукою для синтезу багатьох похідних полігуанідинів є полігексаметиленгуанідин гідрохлорид (далі ПГМГхл). ПГМГхл – твердий полімер світло-жовтого кольору, гігроскопічний, розчинний в воді практично до 50 %-ної концентрації. Водні розчини ПГМГхл прозорі, не мають запаху, 1 % водний розчин має $pH = 10\text{--}10,5$ [10]. Завдяки полімерній природі солі ПГМГ за своєю біодіюдною активністю ефективніші хлорексидину та інших сполук даного класу і при цьому менш токсичні, відносяться до IV класу (малонебезпечні речовини) при потраплянні в організм через шкіру (згідно ГОСТ 12.1.007-76).

ПГМГхл є високомолекулярним катіонним поліелектролітом вітчизняного виробництва – ТОВ «Віжеон», м. Рівне. В даний час ПГМГхл з молекулярною масою ~ 10000 під торговою назвою «Полісепт» випускається згідно з ТУ 10-09-41-90 у вигляді кристалів та 25 % водного розчину.

Області використання ПГМГхл достатньо широкі та різноманітні: дезінфекція приміщень, медицина та косметологія, сільське господарство, очищення та обеззараження питної води, а також промислових та стічних вод, металургія, резино-технічна, нафтопереробна та деревообробна промисловості та ін [11]. В текстильній промисловості запропоновано використовувати ПГМГхл з метою захисту волокнистих матеріалів з вмістом вовни від комах – кератофагів (платтяна міль, килимовий жучок, жук-шкіроїд), а також для надання антимікробних властивостей целюлозним текстильним матеріалам шляхом попередньої обробки їх поліакриловою кислотою [6, 11].

Можливість використання ПГМГхл з метою надання антимікробних властивостей текстильним матеріалам, що містять вовну мало вивчена, тому для дослідження був використаний субстрат – вовняна тканина та наступні барвники: кислотний антрахіноновий синій 4Ч, кислотний зелений антрахіноновий Н2С, кислотний червоний 2Ж та кислотний жовтий. Фарбування здійснювалось періодичним способом за класичною технологією.

Антимікробна активність текстильних матеріалів перевірялась на м'ясо – пептонному агарі та середовищі Сабуро з використанням в якості тест-культур наступних патогенних мікроорганізмів: *Staphylococcus aureus* ANCC 25923 (F-49), *Escherichia coli* M-17, *Bacillus subtilis* 7241 ATCC 6633 (бактерії), гриби роду *Candida albicans* CCM 885. Дані мікроорганізми є типовими представниками транзитornoї мікрофлори людини та можуть викликати різноманітні захворювання. Температура інкубації для грибів 28°C , для бактерій 37°C . Через 24– 48 годин оцінювали бактеріостатичний та фунгістатичний ефект. Ефективність антимікробної обробки оцінювали за зоною затримки росту мікроорганізмів в мм, навколо зразка розміром 2×2 см.

Вимір спектрів відображення і розрахунок колористичних характеристик забарвлень здійснювали з використанням автоматичної системи об'єктного виміру кольору (АСОВК), до складу якої входять: спектрофотометр *Premier Colorscan Colorlab*, IBM-сумісний ПК, пакет прикладних програм для вирішення задач виробничої колористики. Забарвлення були оцінені при стандартних випромінюваннях (у роботі приведені характеристики при випромінюванні D-65/10), колористичні відмінності розраховані в системі *CMC* (1: 1) і *CIE L a*b**.

Для диференційованого аналізу загальних колористичних відмінностей, розрахованих в системі *CIE L a*b**, використовували колориметричні показники: світлота *L*, насиченість (чистота) *C*, кольоровий тон *H*. Величини *C* і *H* визначають за формулами:

$$C = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}, \quad (1)$$

$$H = \arctg(b^*/a^*). \quad (2)$$

Колористичні відмінності по світлоті (ΔL), насиченості (ΔC) і відмінності по кольоровому тону (ΔH) розраховували за формулами:

$$\Delta L^* = L^*_{зр} - L^*_{ет}, \quad (3)$$

$$\Delta C = C_{зр} - C_{ет}, \quad (4)$$

$$\Delta H = [(\Delta E)^2 - (\Delta L^*)^2 - (\Delta C)^2]^{1/2}, \quad (5)$$

Надання вовні завершального оброблення з метою надання антимікробних властивостей здійснювали за наступною схемою:

1. просочення зразків тканини розчином антимікробного препарату за схемою: просочення → віджим → просочення → віджим → сушка. Препарат застосовувався в концентраціях 10 та 20 г/л в складі розчину для просочення тканин.

2. термообробка ($T = 120^{\circ}\text{C}$) протягом 5 хв. з метою фіксації препарату на волокнистому матеріалі.

Обробку вовни розчином антимікробного препарату здійснювали після процесу фарбування.

Об'єктами досліджень були наступні зразки вовняної тканини:

зразок № 1 – вовняна тканина без додаткової обробки (контрольний);

зразок № 2 – вовняна тканина забарвлена барвником кислотним жовтим та оброблена за схемою вказаною вище, при концентрації ПГМГ хл 10 г/л;

зразок № 3 – вовняна тканина забарвлена барвником кислотним жовтим, обробку проводять аналогічно при концентрації ПГМГ хл 20 г/л;

зразок № 4 – вовняна тканина забарвлена барвником кислотним зеленим антрахіноновим H2C, обробку проводять аналогічно при концентрації ПГМГ хл 10 г/л;

зразок № 5 – вовняна тканина офарбована барвником кислотним зеленим антрахіноновим H2C, обробку проводять аналогічно при концентрації ПГМГ хл 20 г/л.

Результати досліджень антимікробної активності вовни по відношенню до патогенної мікрофлори представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Протимікробна активність текстильних матеріалів

№ зразка	Зона затримки росту мікроорганізмів, мм			
	<i>S.aureus</i>	<i>E.coli</i>	<i>B.subtilis</i>	<i>C.albicans</i>
1	-	-	-	-
2	13	5	30	2
3	30	30	30	7
4	4	5	4	3
5	30	30	30	10

За отриманими результатами досліджень видно, що обробка ПГМГ хл концентрацією 10 г/л дозволяє отримати достатній антимікробний ефект по відношенню до всіх патогенних мікроорганізмів.

Підвищення концентрації антимікробного препарату до 20 г/л значно покращує результати – спостерігається повна відсутність росту колоній мікроорганізмів у всій досліджуваній області. Таким чином, обробка препаратом ПГМГ хл в концентрації 20 г/л надає вовняним текстильним матеріалам високу антимікробну активність.

Текстильні матеріали з вовни виробляють, як правило, забарвленими в достатньо інтенсивні різноманітні кольори. В роботі був визначений вплив обробки ПГМГ хл на кольорові характеристики забарвлень, який показано в порівнянні з зразком, одержаним без додавання даного препарату. Вплив обробки ПГМГ хл на колористичні характеристики забарвлень різними барвниками представлений в табл. 2.

З табл. 2 видно, що вплив полігексаметиленгуанідину на колористичні характеристики забарвлень різними барвниками не однозначний. Після обробки зразка забарвленого кислотним червоним 2Ж розчином полігексаметиленгуанідину загальна кольорова різниця забарвлення $dE = 3,879$, головним чином за рахунок зменшення чистоти кольору ($DC = -3,623$) та світлоти ($DL = -1,383$). Після обробки зразка пофарбованого кислотним жовтим загальна кольорова різниця забарвлень $dE = 5,231$, за рахунок зниження чистоти ($DC = -4,526$) та зменшення світлоти ($DL = -2,287$). У випадку фарбування кислотним антрахіноновим синім 4Ч та кислотним зеленим антрахіноновим H2C загальна кольорова різниця незначна $dE = 0,667$ та $0,536$ відповідно. Таким чином, зважаючи на значне зменшення світлоти кольорів, отриманих кислотним червоним 2Ж та кислотним жовтим у початковій фарбувальній ванні можна зменшити концентрацію барвника. Тобто, обробка препаратом ПГМГ хл збільшує інтенсивність забарвлень, що є позитивним результатом. У випадку обробки після фарбування кислотними антрахіноновими барвниками препарат не впливає на кольорові характеристики.

Зміна колористичних характеристик забарвлень (еталон – зразок без обробки ПГМГхл)

Варіант обробки	DL	Da	Db	DC	DH	dE
Кислотний червоний 2Ж						
ПГМГхл після фарбування	- 1,383	- 2,819	- 2,277	- 3,623	- 0,066	3,879
Кислотний жовтий						
ПГМГхл після фарбування	- 2,287	- 1,554	- 4,440	- 4,526	1,282	5,231
Кислотний антрахіноновий синій 4Ч						
ПГМГхл після фарбування	0,091	- 0,656	0,078	- 0,204	- 0,628	0,667
Кислотний зелений антрахіноновий Н2С						
ПГМГхл після фарбування	0,015	0,051	-0,533	0,124	0,521	0,536

Одним з важливих показників, що визначають високі споживчі властивості текстильного матеріалу, є висока стійкість забарвлень під час експлуатації. Визначення стійкості забарвлень до прання здійснювали згідно з ГОСТ 9733.4– 83 (прання № 1). Стійкість забарвлення до тертя визначали за ГОСТ 9733.27– 83. Отримані результати представлені в табл. 3.

Таблиця 3

Стійкість забарвлень до прання та тертя

Барвник, концентрація ПГМГхл, г/л	Стійкість забарвлень тканин		
	прання № 1, бали	сухе тертя, бали	мокре тертя, бали
Без обробки (контрольний)	5/4/4	3	3
Кислотний антрахіноновий синій 4Ч, ПГМГхл– 10	5/5/4– 5	3	3
Кислотний антрахіноновий синій 4Ч, ПГМГхл– 20	5/5/5	4	4
Кислотний зелений антрахіноновий Н2С, ПГМГхл– 10	5/5/4– 5	3	4
Кислотний зелений антрахіноновий Н2С, ПГМГхл– 20	5/5/5	4	4
Кислотний червоний 2Ж, ПГМГхл – 10	5/5/4– 5	3	3
Кислотний червоний 2Ж, ПГМГхл – 20	5/5/5	4	3
Кислотний жовтий, ПГМГхл – 10	5/5/4– 5	3	3
Кислотний жовтий, ПГМГхл – 20	5/5/5	3	4

З отриманих результатів видно, що обробка текстильних матеріалів після процесу фарбування розчином препарату ПГМГхл дозволяє підвищити стійкість забарвлень до прання на (0,5– 1 бал) та не викликає негативного впливу на стійкість до тертя. Причому з підвищенням концентрації ПГМГхл від 10 до 20 г/л стійкість забарвлень до прання та тертя підвищується.

Висновки

На основі проведених досліджень рекомендовано використання препарату ПГМГхл в концентрації 20 г/л для надання вовні антимікробної активності по відношенню до патогенної мікрофлори: *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, бактерії *Bacillus subtilis* та гриби роду *Candida albicans*.

Встановлено, що у випадку обробки препаратом ПГМГхл зразків забарвлених кислотним жовтим та червоним 2Ж збільшується інтенсивність забарвлень, що є позитивним результатом та зважаючи на значне зменшення світлоти кольорів дозволяє зменшити концентрацію барвника в початковій фарбувальній ванні. При обробці вовни після фарбування кислотними антрахіноновими барвниками препарат не впливає на кольорові характеристики. Показано, що обробка пропонованим препаратом дозволяє підвищити стійкість забарвлень до прання на (0,5– 1 бал) без негативного впливу на стійкість до тертя.

Література

1. Афиногенов Г. Е. Антимикробные полимеры / Г. Е. Афиногенов, Е. Ф. Панарин. – СПб.: Гиппократ, 1993. – 264 с.

2. Баркова Н. П. Квантово-механические характеристики и токсичность гуанидинсодержащих антисептиков / Н. П. Баркова, Г. П. Богачук // Гигиена и санитария. – 1995. – № 4. – С. 38.
3. Вашков В. И. Антимикробные средства и методы дезинфекции при инфекционных заболеваниях / В. И. Вашков. – М.: Медицина, 1977. – 296 с.
4. Афиногенов Г. Е. Антисептики в хирургии / Г. Е. Афиногенов, Н. П. Елинов. – Л.: Медицина, 1987. – 144 с.
5. Шандала М. Г. Состояние и перспективы разработки новых дезинфектологических технологий / М. Г. Шандала // Эпидемиология и инфекционные болезни. – 2000. – № 2. – С. 4.
6. Гембицкий П. А. Полигуанидины – дезинфекционные средства и полифункциональные добавки в композиционные материалы / П. А. Гембицкий, И. И. Воинцева. – М.: ЛКМ – пресс, 2009. – 304 с.
7. Лихачева Н. П. Антимикробные шерстяные материалы как средство профилактики и лечения кожных заболеваний / Н. П. Лихачева, Е. Г. Суворова, З. Ю. Козинда // Гигиена и санитария. – 1985. – № 2. – С. 77–78.
8. Хазанов Г. И. Исследование антимикробной активности текстильных материалов, окрашенных антрахиноновыми красителями / Г. И. Хазанов // Текст. пром-сть. – 2004. – № 5. – С. 76–78.
9. Хазанов Г. И. Зависимость антимикробной активности текстильных материалов от характера распределения препаратов на волокне / Г. И. Хазанов // Текст. пром-сть. – 2000. – № 1. – С. 29–30.
10. Вредные вещества в промышленности: справочник для химиков, инженеров и врачей: в 3 т. Органические вещества / [под ред. Лазарева Н. В. и Левиной Э. Н.]. – Л.: Химия, 1976. – Том 1. – 592 с.
11. Гембицкий П. А. Полимерный биоцидный препарат полигексаметиленгуанидин / П. А. Гембицкий, И. И. Воинцева. – Запорожье: Полиграф, 1998. – 44 с.

Надійшла 18.9.2010 р.

УДК 677.044.132

А.Я. ГАНЗЮК, Ю.О. ЯФИНОВИЧ
Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПАР У ЯКОСТІ АНТИСТАТИЧНИХ АГЕНТІВ

Досліджено і науково обґрунтовано доцільність використання ПАР у якості антистатичних агентів та вивчено вплив різних факторів на властивості текстильних матеріалів до і після обробки.

An expediency of the SAM use in quality of anti-static agents has been investigated and scientifically grounded; an influence of different factors on property of textile materials before and after treatments has been studied in the article.

Ключові слова: антистатики, поверхнево-активні речовини, електричний опір, електропровідність.

Постановка проблеми

В зв'язку з тим, що розширюється застосування полімерних матеріалів, речовин в промисловості та побуті демонструють велику наукову і практичну зацікавленість питанням вивчення і попередження статичної електрики [1– 3]. Це пояснюється тим, що більшість хімічних матеріалів, на відміну від природних, в процесі їх виробництва та переробки, а також при виготовленні та експлуатації з них, мають властивість електризуватись, тобто створювати і накопичувати на своїй поверхні електростатичні заряди окремої полярності. Електризація – складний комплекс процесів і за сучасним уявленням є результатом різних видів взаємодії [4– 5]. Механізму виникнення зарядів присвячена велика кількість робіт вітчизняних і зарубіжних авторів. Однак і до тепер не розроблена загальноприйнята теорія, яка пояснює причини виникнення електростатичних зарядів. Враховуючи здатність матеріалів для взуття і одягу у процесі експлуатації накопичувати заряди на своїй поверхні і тілі людини не менш актуальною задачею є розробка способів зниження їх електризації. Із літературних джерел відомо, що до цього часу не виконувались роботи з визначення ефективності антистатичної обробки взуттєвих матеріалів і матеріалів для одягу. Антистатики, які раніше використовувались для обробки текстильних матеріалів, не забезпечували тривалого і стабільного ефекту [6– 8]. Враховуючи вище зазначене та постійний ріст застосування сучасних високо діелектричних полімерних матеріалів, метою даної роботи було дослідження ефективності використання ПАР у якості антистатичних агентів.

Формулювання цілі статті

Мета і завдання роботи – встановлення доцільності використання ПАР у якості антистатичних агентів та вивчення впливу різних факторів на властивості текстильних матеріалів до і після обробки.

Виклад основного матеріалу

Антистатики є продуктами, за допомогою яких можна зняти або знизити до допустимого рівня електростатичні заряди, які утворюються при виробництві волокон і при їх експлуатації. Залежно від стійкості антистатичного ефекту до прання або хімічної чистки розрізняють антистатики перманентної і не перманентної дії. Вони змінюють наступні характеристики волокна: збільшують електропровідність поверхні волокна, створюють проміжний прошарок з високою діелектричною постійною між волокном і

поверхнею тертя, знижують потенціал контакту, збільшують гладкість волокна. Відмінний антиелектростатичний ефект показують поверхнево-активні речовини, які мають полярну будову, що свідчить про наявність гідрофільних груп і гідрофобних вуглеводневих ланцюгів. Антистатична дія виявляється тим краща, чим більше проявляється полярна будова.

Для того, щоб порівняти результати ефективності антистатичних препаратів при обробці текстильних матеріалів, провели також випробування для зразків різного складу. Для експерименту були обрані препарати: ПАР (катион і аніон) і "Semana", тому що вони є універсальними і за даними випробувань отримали добрий результат. Проаналізувавши результати впливу концентрації та виду антистатика, не можна дати однозначну відповідь на питання ефективності антиелектростатичного ефекту. Так для нейлону, лавсану 100 % і сумісної тканини (лавсан-бавовна) ефективною виявилась запропонована методика обробки за допомогою ПАР. Зате для поліестер-трикотаж 1 і поліестер-трикотаж 2 у використанні ефективним є препарат "Semana", який, крім антистатичного ефекту, надає тканині м'якості. На рис. 1 та 2 наведені залежності логарифма питомого поверхневого опору текстильного матеріалу від концентрації розчину ПАР і "Semana".

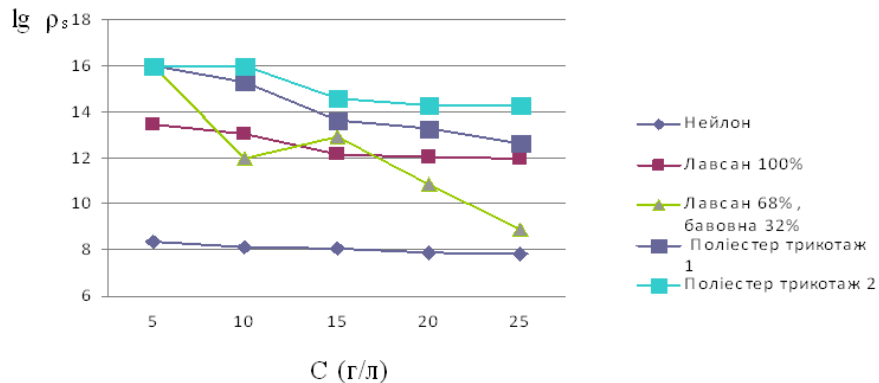


Рис. 1. Залежність логарифма питомого поверхневого опору текстильного матеріалу від концентрації розчину ПАР

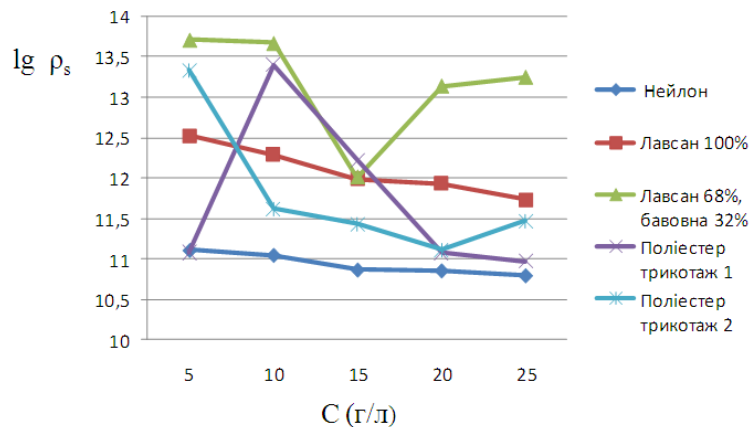
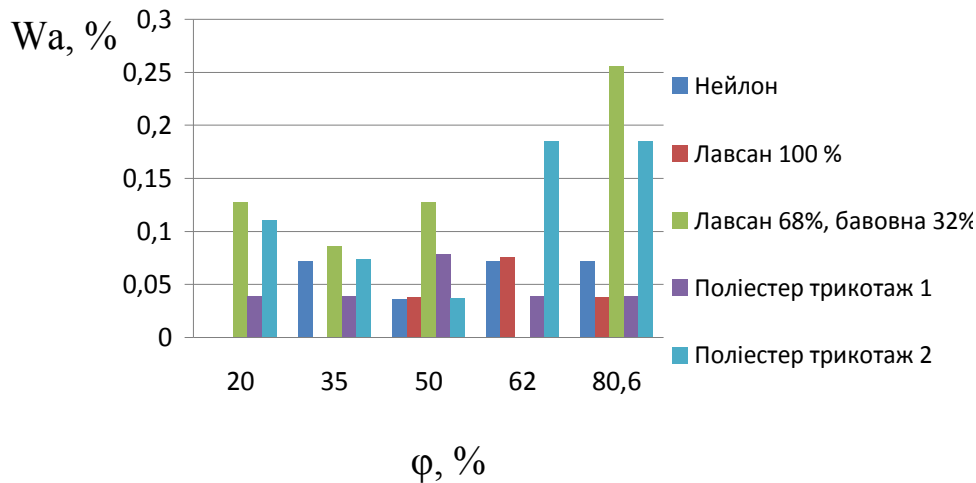
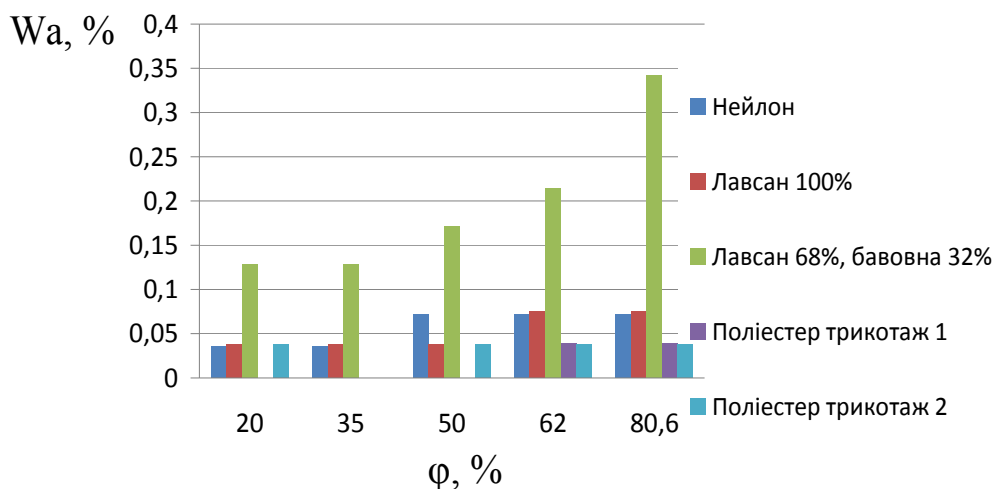
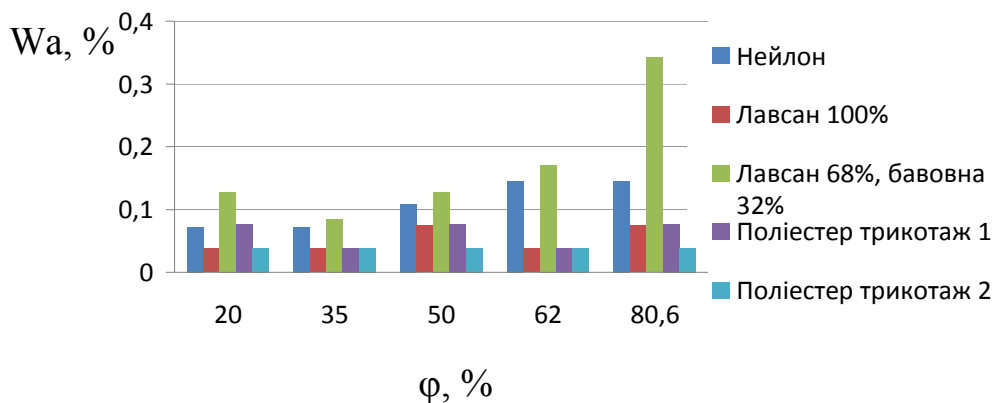


Рис. 2. Залежність логарифма питомого поверхневого опору текстильного матеріалу від концентрації розчину "Semana"

Аналізуючи їх, можна зробити висновок, що ефективність антистатичної дії в значній мірі залежить не тільки від будови ПАР, а й від виду і властивостей текстильного матеріалу: максимальний антистатичний ефект досягається на більш гідрофобних волокнах. Це пояснюється тим, що при обробці гідрофільних волокон розчинами ПАР проходить дифузія препаратів в середину волокна і внаслідок цього поверхня волокон залишається вільною від антистатичної речовини. Базуючись на тому, що електризація – це явище поверхневе, то на більш гідрофільні волокна (лавсан-бавовна) необхідно наносити більшу кількість ПАР для досягнення ефекту, аналогічного отриманому на більш гідрофобному матеріалі.

Для того, щоб визначити зміну властивостей тканини після обробки антистатичними препаратами, за методикою були проведені випробування з визначення залежності вологовмісту текстильних матеріалів від відносної вологості повітря. Експеримент проводився при відносній вологості 20 %, 35 %, 50 %, 62 %, 80,6 % і температурі 20°C. Дані вимірювань наведені на рис. 3, 4, 5:

Рис. 3. Залежність вологовмісту (W_a) необроблених текстильних матеріалів від відносної вологості повітря (ϕ %)Рис. 4. Залежність вологовмісту (W_a) текстильних матеріалів після обробки препаратом ПАВ (15 г/л) від відносної вологості повітря (ϕ %)Рис. 5. Залежність вологовмісту (W_a) текстильних матеріалів після обробки препаратом "Semana" (15 г/л) від відносної вологості повітря (ϕ %)

Для необробленого зразка нейлону вологовміст зростає при 35 % і залишається постійним навіть при вологості повітря 80,6 %. Така ж тенденція спостерігається для нейлону, обробленого за запропонованою технологією. Зате у зразків нейлону, оброблених препаратом "Semana" при відносній вологості повітря 50 % спостерігається зростання вологості від 0,073 г до 0,145г. Для лавсану 100 % зростання вологовмісту відбувається при $\phi = 62$ % (оброблені зразки за запропонованою технологією), а оброблених "Semana" – при $\phi = 50$ %. Для зразків текстильних матеріалів, які містять 68 % лавсану і 32 % бавовни спостерігається зростання вологовмісту, особливо при відносній вологості 80,6 %.

Для поліестер-трикотаж 1 незначне збільшення вологовмісту спостерігається для зразків оброблених катіон- і аніоактивними речовинами тільки при $\phi = 62$ %. Для поліестер-трикотаж 2 вологовміст

зменшується в порівнянні з необробленим зразком. А вологовміст зразків, оброблених, препаратом "Semana" не змінюється. Тобто зменшення поверхневого опору відбувається за рахунок збільшення вологовмісту тканини: така тенденція не характерна для поліестер-трикотажа 1 і поліестер-трикотажа 2.

Висновки

У результаті експериментальних досліджень визначено питомий об'ємний і поверхневий електричні опори текстильних матеріалів за запропонованою технологією. Встановлено оптимальну концентрацію антистатичних агентів – 15г/л. Показано, що катіоноактивні ПАР здатні адсорбуватись на негативно – заряджених поверхнях, якими являються волокна пластмаси, мінерали. Можливо відбувається модифікація поверхні волокон за допомогою катіоноактивних ПАР. Встановлено вологовміст текстильних матеріалів в інтервалі відносної вологості повітря від 20 % до 80,6 %. Показано, що вміст вологи залежить від виду матеріалу та його структури.

Література

1. Теплинський А. М. Мости для измерения высокоомных сопротивлений и малых постоянных токов / Теплинський А. М. – Л.: Энергия, 1970. – 92 с.
2. Савчук Н. П. Элекризуемость обувных материалов и обуви и разработка мер ее снижения: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук / Н. П. Савчук. – Хмельницький, 1991. – 236 с.
3. Матков В. Н. Изучение электрических сопротивлений искусственных кож и пленочных материалов / В. Н. Матков, П. Ю. Снегерева, Ю. М. Запольский // Кожев. – обув. промышленность. – 1987. – № 2 – С. 33– 34.
4. Мигляченко О. Ф. Вплив вологи й температури на питомий електричний опір штучної шкіри / О. Ф. Мигляченко, Ю. М. Милосердов // Легка промисловість. – 1972. – № 3 – С. 44.
5. Статическое электричество при переработке химических волокон / [под ред. И. П. Генца]. – М.: Легкая индустрия, 1966. – 346 с.
6. Михеева Е. Я. Определение удельного электрического сопротивления как нового показателя гигиенических свойств обувных материалов / Е. Я. Михеева, М. П. Артышевская // Экспресс-информация. Обувная промышленность. – М.: ЦНИИГЭИ легпром, 1972. – Вып. II. С. 3– 9.
7. Запольский Ю. М. Оценка электризуемости искусственных кож / Ю. М. Запольский, В. В. Куляков, А. Н. Волков // Кожев. обув. промышленность. – 1984. – № 7 – С. 13– 14.
8. Статическое электричество в промышленности и методы защиты / [Копылов А. В., Качанов А. В., Дадыно В. П. и др.]. – М.: МАИ, 1975. – С. 55.

Надійшла 16.9.2010 р.

УДК 677.027.4: 519.711

Г.С. ОЛІЙНИК

Хмельницький національний університет

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСУ ФАРБУВАННЯ АКТИВНИМИ БАРВНИКАМИ БАВОВНЯНИХ ТКАНИН

Розглянуто процес розробки математичних моделей процесу фарбування бавовняних тканин активними барвниками, що дають можливість коригувати технологічний процес.

A development of mathematical models of process of painting of cottonades process is considered by active dyes which enable to correct a technological process.

Ключові слова: математичні моделі, фарбування, активні барвники, бавовняні тканини.

Постановка проблеми

Використання комп'ютерних технологій в галузі проектування технологічних процесів опоряджувального виробництва вимагає, у першу чергу, систематизації інформації, необхідної для розв'язання задач проектування. Введення в опоряджувальне виробництво відповідних наукових досліджень є можливим при проведенні всебічних досліджень.

Більшість фізичних та інших законів, що лежать в основі технічних досліджень, а також ряд економічних залежностей виробництва можуть бути виражені в математичній формі. Для текстильних процесів притаманні багатofакторні залежності, де математичним шляхом не завжди вдається знайти приховані взаємозв'язки та закономірності.

Проблема одержання найбільшої кількості відомостей про процеси, що досліджуються при обмежених витратах є актуальною. У зв'язку з цим виявляється необхідним широке застосування методів, що дозволили б оптимальним чином організувати експеримент.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У технічній літературі практично відсутні рекомендації та дослідження технологічного процесу промивки бавовняних тканин, надрукованих активними барвниками, із застосуванням очищеної стічної води

[1,2]. Використання очищеної стічної води в технологічних процесах текстильних виробництв призведе до зниження витрат води, пари, електроенергії, забезпечить зниження собівартості продукції та підвищення її конкурентоздатності. Необхідно працювати над розробкою ресурсозберігаючої технології на основі застосування очищеної стічної води.

Метою досліджень є розробка математичних моделей фарбування активними барвниками, що ґрунтується на використанні оптимальної організації експерименту.

Виклад основного матеріалу

Формалізація методів експериментального пошуку оптимальних умов протікання процесів стала можливою внаслідок розвитку теорії і практичних прийомів дослідження робочих характеристик і планування експерименту, що дозволяють обрати оптимальну стратегію дослідження при неповній інформації про процес. Крім того, за своєю організацією, процес моделювання повинен відповідати вимогам економічності, що також досягається використанням на всіх його стадіях математичних методів планування та обробки експериментів, що широко застосовується в дослідницькій практиці і мають у своєму розпорядженні відпрацьовані процедури, доведені до каталогу стандартних планів і програм для ЕОМ.

В результаті проведених досліджень з виявлення можливості використання очищених стічних вод [3] у лабораторних і виробничих умовах при промивці надрукованих бавовняних тканин встановлено, що застосування очищеної стічної води дозволяє одержати пофарбовання ідентичні пофарбуванням отриманим на технічній воді. Тому в даній роботі з метою оптимізації технологічного процесу промивки бавовняних тканин, надрукованих активними барвниками, з багаторазовим використанням очищеної стічної води використовували метод математичного планування – повний факторний експеримент [4].

В якості досліджувальних факторів були взяті:

- частка використання очищеної води у фарбувальній ванні – x_1 ;
- кількість циклів використання очищеної стічної води у фарбувальній ванні – x_2 .

За вихідний параметр був прийнятий показник, що характеризує якість фарбування – інтенсивність фарбування K/S . Розрахунок K/S робили за формулою Гуревича-Кубелки-Мунка:

$$K/S = \frac{(1-R)^2}{2R} - \frac{(1-R_0)^2}{2R_0}, \quad (1)$$

- де R – коефіцієнт відображення світла пофарбованим зразком;
 R_0 – коефіцієнт відображення світла білим зразком тканини.
 Коефіцієнт відображення R визначали на *Spekoll M-10*.
 У табл. 1 наведені рівні й інтервали варіювання даних факторів.

Таблиця 1

Найменування факторів, рівні й інтервали варіювання

Фактор	Рівні варіювання			Інтервал варіювання Δx_i
	-1	0	+1	
- частка використання очищеної води у фарбувальній ванні – x_1	0,45	0,55	0,65	0,10
- кількість циклів використання очищеної стічної води у фарбувальній ванні – x_2	1	4	7	3

Математична модель об'єкта дослідження представлялась у виді поліноміального рівняння:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^k b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2, \quad (2)$$

де b_0, b_{ij}, b_{ii} – коефіцієнти, що характеризують відповідно лінійні ефекти, ефекти взаємодії і квадратичні ефекти;

x_i, x_j – фактори;

y – параметр оптимізації (вихідний параметр).

Переведення натуральних перемінних у кодові x_i і вихідні параметри представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Моделювання процесу промивки бавовняних тканини, надрукованих активним яскраво-червоним 6С і безактивном червоним G8В

№ дослідження	№ реалізації	Матриця планування в кодованих факторах					
		x_0	x_1	x_2	$x_1 x_2$	x_1^2	x_2^2
1	2	3	4	5	6	7	8
1	8	1	0	0	0	0	0
2	9	1	1	1	1	1	1
3	6	1	-1	1	-1	1	1
4	2	1	-1	-1	1	1	1
5	7	1	1	-1	-1	1	1

1	2	3	4	5	6	7	8
6	4	1	1	0	0	1	0
7	5	1	0	1	0	0	1
8	1	1	-1	0	0	1	0
9	3	1	0	-1	0	0	1

Максимальна дисперсія 0,0072

Перевірка однорідності дисперсії за критерієм Кохрена (активний яскраво-червоний 6С):

Розрахунковий критерій Кохрена:

$$G_p = \frac{S_i^2(\max)}{\sum_{i=1}^N S_i^2}, \quad (3)$$

$$G_T = \left\{ \begin{array}{l} N = 9 \\ f = m - 1 = 2 - 1 = 1 \end{array} \right\} = 0,6385, \quad (4)$$

$$G_p = 0,3293. \quad (5)$$

Перевірка однорідності дисперсії за критерієм Кохрена (безактив червоний G8B):

Розрахунковий критерій Кохрена:

$$G_p = \frac{S_i^2(\max)}{\sum_{i=1}^N S_i^2}, \quad (6)$$

$$G_T = \left\{ \begin{array}{l} N = 9 \\ f = m - 1 = 2 - 1 = 1 \end{array} \right\} = 0,6385, \quad (7)$$

$$G_p = 0,4060. \quad (8)$$

Після реалізації плану (з рандомізацією порядку проведення дослідів) одержали наступні математичні моделі:

для активного яскраво-червоного 6С:

$$K/S = 44,249 - 1,931x_1 - 5,464x_2 - 1,453x_1x_2 - 1,016x_1^2 - 13,789x_2^2, \quad (9)$$

для безактиву червоного G8B:

$$K/S = 5,966 - 0,111x_1 - 0,254x_2 - 0,077x_1x_2 - 0,195x_1^2 - 0,733x_2^2. \quad (10)$$

Перевірка значимості коефіцієнта моделі.

Дисперсія відтворюваності:
барвники

$$S_{\text{вос}}^2 = \frac{2 \sum_{i=1}^N (Y_{ij} - Y_i)^2}{N} = 0,0049, \quad (11) \quad \text{активний яскраво-червоний 6С}$$

$$S_{\text{вос}}^2 = \frac{2 \sum_{i=1}^N (Y_{ij} - Y_i)^2}{N} = 0,0033, \quad (12) \quad \text{безактив червоний G8B}$$

Дисперсія помилки дослідів:
барвники

$$S_{b_i}^2 = \frac{S_{\text{вос}}^2}{Nm} = 0,0012; \quad (13) \quad \text{активний яскраво-червоний 6С}$$

$$S_{b_i}^2 = \frac{S_{\text{вос}}^2}{Nm} = 0,0008; \quad (14) \quad \text{безактив червоний G8B}$$

Для лінійних моделей дисперсію, пов'язану з помилками у визначенні коефіцієнтів регресії ($S_{b_i}^2$), визначали по вищевказаній формулі.

Довірчим інтервалом коефіцієнта регресії є інтервал його значень від $b_i - \Delta b_i$ до $b_i + \Delta b_i$.

Довірчі інтервали для коефіцієнтів:

барвники

активний яскраво-червоний 6С

$$\Delta b_{0,ii} = 0,023$$

$$\Delta b_i = 0,012$$

$$\Delta b_{ij} = 0,035$$

безактив червоний G8B

$$\Delta b_{0,ii} = 0,019$$

$$\Delta b_i = 0,010$$

$$\Delta b_{ij} = 0,029$$

Перевірка адекватності моделі: дисперсія адекватності:

активний яскраво-червоний 6С

безактив червоний G8B

$$S^2_{\text{пекло}} = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y}_i)^2}{N - \lambda} = 0,013, \quad (15) \quad S^2_{\text{пекло}} = \frac{\sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y}_i)^2}{N - \lambda} = 0,018, \quad (16)$$

де $f_{\text{пекло}} = N - \lambda$ – число ступенів волі λ – число коефіцієнтів моделі

Гіпотезу про адекватність (придатність) моделі перевіряли за допомогою критерію Фішера:

$$F = \frac{S^2_{\text{ад}}}{S^2_{(y)}}, \quad (17)$$

де $S^2_{\text{пекло}}$ – залишкова дисперсія або дисперсія адекватності; $S^2_{(y)}$ – дисперсія відтворюваності.Значення F критерію, знайдене з рівняння (17) порівнюють з табличним при обраній довірчій ймовірності для перевірки значимості розходження між дисперсією адекватності і дисперсією відтворюваності.

Розрахункове значення критерію Фішера:

барвники

активний яскраво-червоний 6С

безактив червоний G8B

 $F_p = 3,634$; $F_p = 3,481$;

табличне значення критерію Фішера

$$F_T = \{f_{\text{пекло}} = 4; f_{\text{вос}} = N(n-1) = 9\} = 4,13; \quad (18) \quad F_T = \{f_{\text{пекло}} = 4; f_{\text{вос}} = N(n-1) = 9\} = 3,87; \quad (19)$$

Для даних моделей усі дисперсії однорідні, усі коефіцієнти значимі. Моделі адекватні, тому що $F_p = 3,634 < F_T = 4,13$ і $F_p = 3,481 < F_T = 3,87$ Максимізація математичних моделей за вихідним параметром K/S показує, що максимальне значення інтенсивності промивки бавовняних тканин, надрукованих активними барвниками, з застосуванням очищеної стічної води, можна одержати при наступних значеннях факторів:

- 1) частка використання очищеної води у фарбувальній ванні – 45 %;
- 2) кількість циклів використання очищеної води – 4.

Для отримання оптимальних значень факторів, які забезпечують промивку бавовняних тканин світлих і середніх тонів, необхідно проводити оптимізацію з обмеженнями. Це є метою подальших досліджень.

Висновок

Таким чином, застосування математичних методів планування і оптимізації експерименту дозволяє виявити режими, що забезпечують необхідні вихідні показники. Використання очищеної стічної води можна рекомендувати для застосування в процесі промивки бавовняних тканин, надрукованих активними барвниками для отримання насичених кольорів пофарбувань.

Підтримка в належному стані процесу фарбування в опоряджувальних виробництвах є важливими напрямком інженерної та наукової діяльності. Суттєву роль у цьому відіграє постановка наукових експериментів, розробка методів оптимального використання наявних можливостей для удосконалення виробничого процесу.

Література

1. Володин В. М., Цырлин А. М. Управление процессами химической технологии / В. М. Володин, А. М. Цырлин. – М.: Химия, 1987. – 383 с.
2. Мурах А. И. Интенсификация химико-технологических процессов / Мурах А. И. – М.: Химия, 1990. – 260 с.
3. Пат. 51782 UA Україна, 7 CO2F/24. Спосіб очистки стічних вод / Г. С. Олійник. – 2002. Бюл. № 12.
4. Барабашук В. И. Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований в легкой и текстильной промышленности) / Барабашук В. И. – М.: Легкая индустрия, 1996. – 284 с.

Надійшла 12.9.2010 р.

АДГЕЗІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ШЛІХТУВАЛЬНИХ СКЛАДІВ ДЛЯ БАВОВНЯНИХ ОСНОВ

Ефективність процесу ткацтва значною мірою залежить від адгезійних властивостей шліхтувальних плівок. Досліджено вплив адгезійних властивостей шліхти на формування приклею на пряжі та на процес наступного розшліхтовування. Розглянуто екологічні аспекти застосування запропонованих складів шліхти.

Efficiency of weaving process to a great extent depends on the adhesive characteristics of size films. Investigational on a forming bonding on influence of adhesive characteristics of size on a yarn and for the process of next desizing. The ecological aspects of application of the offered compositions of size are considered.

Ключові слова: шліхта для бавовняних основ, адгезія, приклеї, розшліхтовування.

Метою процесу шліхтування є підвищення розривних характеристик пряжі та збільшення її стійкості до тертя і багатоциклового навантаження на ткацькому верстаті в процесі виготовлення тканини, що є необхідним для продуктивного й економічно ефективного технологічного процесу ткацтва. У процесі шліхтування нитки основи мають бути рівномірно прокляєні по всій довжині та ширині заправлення основи. Захисна плівка шліхти повинна мати приблизно такі самі показники видовження, як і нитки основи, а також надавати ниткам високі рівність, зносостійкість і витривалість при багаторазових навантаженнях. Плівка шліхти не має обсіпатися, а нитка, просякнута нею, не має бути ламкою. Шліхта повинна мати достатньо високу спорідненість до волокнистого матеріалу, не псувати пряжу і ткацьке обладнання, легко розшліхтовуватися і буди відносно дешевою [1]. Щоб відповідати названим вимогам, шліхта повинна мати високі адгезійні та когезійні властивості.

Для підвищення адгезії полімерної плівки шліхти до бавовняного волокна пропонується до складу крохмальної шліхти вводити додатки неорганічних сполук алюмінію, застосування яких дозволяє покращити технологічні показники шліхти, ошліхтованої пряжі та процесу ткацтва, що є **актуальною задачею**.

Представлені дослідження відповідають **напрямку наукових досліджень** Хмельницького національного університету й Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки», а саме, напрямку вдосконалення хімічних технологій і нових матеріалів на період до 2013 року.

У **попередніх дослідженнях** було встановлено, що при додаванні до крохмальної шліхти додатків спеціального призначення системи не структуруються, та не збільшується їхня в'язкість у порівнянні з традиційними крохмальними шліхтувальними складами. При цьому збільшується ступінь тиксотропного відновлення систем [2]. Вказані властивості шліхти мають забезпечити формування на пряжі необхідного приклею. Отже, **метою даних досліджень** є вивчення адгезії до волокна плівок розроблених шліхтувальних складів, особливості формування приклею на пряжі та ефективності процесу розшліхтовування.

Адгезійні властивості шліхти

Адгезія – це вільна питома енергія відриву плівки полімеру від волокна. Як правило, адгезія і змочування – взаємно пов'язані фактори. Рідина розтікається по поверхні, коли сили адгезії є більшими від сил когезії. Такого ефекту можна досягти при зменшенні сил поверхневого натягу та збільшенні температури. Але надто високий вплив названих факторів може негативно вплинути на показники міцності та якості утвореної полімерної плівки. Доцільним є використання тих клейових композицій, які не лише здатні змочувати поверхню субстрату, проникати в пори, але й при висушуванні можуть утворювати плівку, що міцно з'єднана з поверхнею. При наявності достатніх адгезійних та пружно-еластичних властивостей плівок шліхти можна регулювати її склад, знижувати вміст плівкоутворювального препарату, температуру, вологість повітря, змінювати параметри швидкості шліхтування, тиску віджимних валів, натягу ниток основи тощо [3].

Об'єкт дослідження – крохмальні шліхтувальні складі, приготовлені термомеханічним методом: 1) традиційний: 60 г крохмалю, 0,35 г хлораміну [1, с. 130]; 2) запропонований: крохмаль, каолін у кількості 0,5 % від маси крохмалю, м'які парафіни – 0,8 % від маси крохмалю; 3) запропонований: у складі (2) каолін замінили алюмокалієвими квасцями; 4) до складу (1) додали нейногенну поверхнево-активну речовину (ПАР) синтанол у кількості 0,25 г·л⁻¹.

Роботу адгезії розраховували з використанням дослідних даних (див. табл. 1 і табл. 2) за відомим рівнянням Дюпре – Юнга (1). Розрахункові дані подані в табл. 3. У табл. 3 та на рис. 1 а показана залежність роботи адгезії крохмальних плівок до волокна від складу шліхти та вмісту крохмалю у шліхтувальних складах. Як видно, величина роботи адгезії усіх плівок шліхти збільшується зі збільшенням вмісту крохмалю. У шліхті з ПАР величина адгезії зростає найшвидше, а в традиційній крохмальній шліхті залежність є більш складною, очевидно це пов'язано зі збільшенням крайового кута змочування. Плівки, що містять додатки каоліну та квасців, мають величину адгезії на 10–15 % більшу, ніж шліхти як без додавання ПАР, так і з додаванням.

Сили поверхневого натягу крохмальних шліхтувальних складів

Склад	Поверхневий натяг σ , мН·м ⁻¹ при різному вмістові крохмалю, г·л ⁻¹				
	20	30	40	50	60
Традиційний	80,34	85,65	88,91	92,13	95,36
З каоліном	66,21	68,87	70,02	73,41	75,52
Із квасцями	65,00	67,51	68,98	72,20	74,66
З ПАР	52,14	58,24	60,51	65,87	67,45

Таблиця 2

Крайові кути змочування крохмальних шліхтувальних складів

Склад	Крайовий кут змочування Θ , град, при різному вмістові крохмалю, г·л ⁻¹				
	20	30	40	50	60
Традиційний	67	74	79	84	85
Із квасцями	48	49	50	54	56
З каоліном	47	50	51	54	56
З ПАР	39	40	41	44	47

$$W_a = \sigma_p (1 + \cos\Theta), \quad (1)$$

де W_a – робота адгезії, Дж·м⁻²,
 σ_p – поверхневий натяг розчину полімеру, Н·м⁻¹,
 Θ – крайовий кут змочування, град [3].

Таблиця 3

Залежність величини роботи адгезії плівок шліхти від складу шліхти та вмісту крохмалю

Склад шліхти	Робота адгезії W_a , мДж·м ⁻² , при різному вмістові крохмалю, г·л ⁻¹				
	20	30	40	50	60
Традиційний	111,73	109,26	105,87	109,91	103,67
Із квасцями	108,49	111,80	112,39	114,64	116,41
З каоліном	111,37	113,14	113,12	116,54	117,75
З ПАР	92,66	102,85	106,18	113,26	113,45

Для визначення оптимального вмісту адгезивів-закріпників плівок (каоліну або квасців), були проведені дослідження залежності роботи адгезії плівок шліхти від вмісту в них каоліну (табл. 4, рис. 1 б). Найбільш стабільне зростання роботи адгезії спостерігається при вмістові каоліну 0,50–0,75 % від маси крохмалю. При 0,25 % каоліну не спостерігається позитивного ефекту, оскільки ця кількість є недостатньою для стабілізації крохмального гелю. При введенні до складу шліхти 1,00–1,25 % каоліну, особливо при високих концентраціях крохмалю, спостерігається зниження величини адгезії, яке, ймовірно, пов'язане зі зменшенням змочувальної здатності гелів. Отже, при високому вмістові додатків каоліну чи квасців навіть при наявності достатньої величини приклею плівка шліхти стає немцною. Таким чином, із проведеного ряду дослідів було встановлено оптимальну кількість адгезиву: 0,50–0,75 % від маси крохмалю.

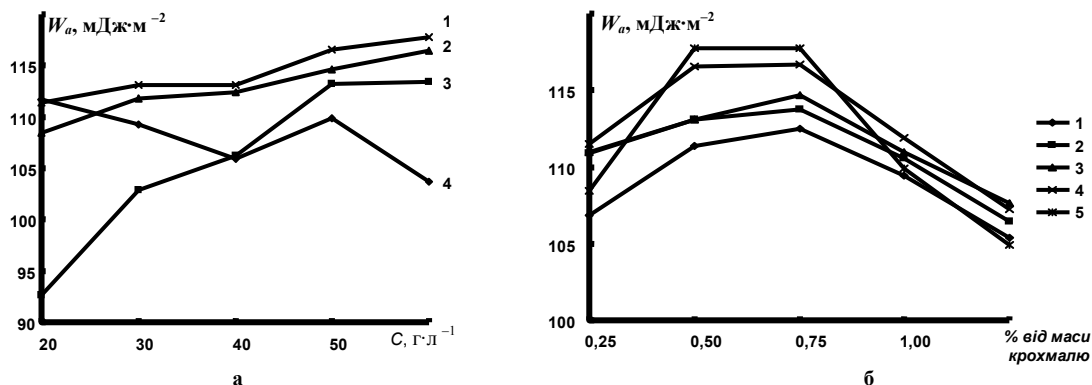


Рис. 1 а. Залежність роботи адгезії плівок шліхти від вмісту крохмалю у гелі: 1 – з каоліном, 2 – із квасцями, 3 – з ПАР, 4 – традиційної. Рис. 1 б. Залежність роботи адгезії плівок шліхти від вмісту каоліну в гелі при вмістові крохмалю (г·л⁻¹): 1 – 20, 2 – 30, 3 – 40, 4 – 50, 5 – 60

Дрібнодисперсні частинки каоліну відіграють, ймовірно, роль наповнювачів полімерних композицій, які позитивно впливають як на адгезійні, так і на когезійні властивості плівок шліхти. Амфотерні сполуки алюмінію ефективно взаємодіють як із молекулами крохмалю, так і целюлози завдяки своєму потенціал-утворювальному шарові йонів. Можна припустити, що наявність каоліну або квасців впливає на

формування тонкої структури полімеру при висушуванні з розташуванням між елементами його надмолекулярної структури й утворенням міцних плівок.

Таблиця 4

Залежність роботи адгезії плівок шліхти від вмісту в них каоліну

Вміст крохмалю, г·л ⁻¹	Робота адгезії W_a , мДж·м ⁻² , при різному вмістові каоліну, % від маси крохмалю				
	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25
20	106,85	111,37	112,46	109,43	105,39
30	110,90	113,14	113,78	110,54	106,45
40	110,95	113,12	114,67	110,98	107,61
50	111,50	116,54	116,67	111,87	107,21
60	108,43	117,75	117,99	109,89	104,91

Приклеї шліхтувальних плівок

Адгезійно-когезійні властивості плівок шліхти визначають величину приклею – одного з найважливіших параметрів шліхтованої пряжі. Захисні властивості приклею залежать від характеру розподілу шліхти на пряжі. Найкраще, щоб загальний приклеї складався з меншої частки зовнішнього приклею, та більшої частки внутрішнього. Величину приклею визначають експериментально, орієнтуючись на показники ткацтва. Рівень приклею для конкретних умов підприємств має залишатися сталими, оскільки навіть незначні відхилення від оптимальної величини істотно впливають на процес ткацтва.

При більшій адгезії до волокна, ніж у традиційних складів шліхти, запропоновані композиції при певній кількості клейової речовини формують на пряжі більш високий приклеї, що дає можливість економії крохмалів. Таким чином нами була досліджена залежність величини приклею від вмісту крохмалю у складах шліхти: 1) традиційному, 2) з каоліном, 3) із квасцями (див. табл. 5). Величини приклею дослідних складів шліхти на кардній бавовняній основній пряжі 29 текс визначали за стандартними методиками. Із даних цієї таблиці видно, що приклеї шліхтувальних складів із гігроскопічними додатками при однаковому вмістові крохмалю є на 15–20 % більшим, ніж у шліхті без додатків. Цей факт прекрасно підтверджується, як молекулярною, так і електричною теорією адгезії. Потрібний приклеї формується на плівці при більш низьких концентраціях крохмалю.

Таблиця 5

Залежність приклею на пряжі від вмісту крохмалю у шліхті

Шліхта	Значення приклею, % при різному вмістові крохмалю, г·л ⁻¹									
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
Традиційна	2,4	2,7	3,1	3,3	3,9	4,3	4,8	5,3	5,9	
Із квасцями	2,4	2,7	3,4	4,0	4,8	5,5	5,9	6,7	7,2	
З каоліном	2,5	2,9	3,3	4,1	4,7	5,5	6,0	6,6	7,3	

Отже, варіюючи ПАР, можна цілеспрямовано змінювати як поверхневі властивості плівок шліхти, так і фізико-механічні властивості нанесеного покриття, котрі визначаються структурою полімеру; регулювати силу адгезії до пряжі, а також знижувати витрати самих клейових препаратів.

Аналізуючи представлені експериментальні дані, можна зробити висновок, що найоптимальніші показники сили поверхневого натягу, крайового кута змочування, роботи адгезії та величини приклею мають запропоновані складів шліхти при вмістові крохмалю близько 40–45 г·л⁻¹ із додатками каоліну та квасців у кількості близько 0,5 %, м'яких парафінів – у кількості 0,8 % від маси клейової речовини. Це дає змогу економії крохмалів та текстильно-допоміжних речовин при виробничому приготуванні шліхти.

Процес розшліхтовування

Технологічний процес розшліхтовування передбачає видалення із тканини шліхти та водорозчинних домішок. Однак крохмальна шліхта погано розчиняється у воді. Тому потрібно провести замочування тканини для набрякання полімерної плівки, перевести нерозчинні полімери у водорозчинний стан шляхом деполімеризації і змити їх [1]. Деполімеризація передбачає руйнування α -глікозидного зв'язку ланцюгів крохмалю, які є менш стійкими, ніж β -глікозидні зв'язки молекул целюлози. Тому при руйнуванні крохмалів може також відбуватися небажаний гідроліз целюлози. На виробництві суміщають розшліхтовування з відварюванням та вибілюванням тканини, оскільки найважливішими вимогами до якості сурових бавовняних тканин є надання їм стійких капілярності та білості.

Підвищення адгезії плівок шліхтувальних препаратів до волокна як позитивний ефект дає підвищення ефективності перероблення основи у ткацтві. Але цей самий ефект негативно позначається на процесах розшліхтовування, вибілювання та колоруювання і може звести нанівець сумарний економічний ефект технологічного процесу виробництва готової тканини.

Розшліхтовування пряжі, обробленої за запропонованою технологією, здійснювали пероксидно-лужним способом, оскільки сполуки алюмінію, завдяки їхній амфотерності, чутливі до зміни pH середовища. У лужному середовищі виявляються кислотні властивості сполук алюмінію з утворенням негативного потенціалутворювального шару йонів [4]. Таким чином, при додаванні луку когезійні сили

плівки та адгезійні сили волокно – плівка значно знижуються, і процес розшліхтовування проходить без ускладнень. Дрібно-дисперсні частинки каоліну мають розвинену поверхню, є добрими адсорбентами і адсорбують на своїй поверхні частину м'яких парафінів, що містяться у шліхті, і тих воскоподібних речовин, які були видалені у процесі відварювання.

Для вивчення легкості розшліхтовування досліджувався процес набрякання плівок шліхти при 20 °С та 60 °С у воді протягом 1,5 год при різному вмістові крохмалю. Ступінь набрякання H , % визначали як відношення маси сухої та набряклої плівок (див. табл. 6 і рис. 2).

Таблиця 6

Ступінь набрякання шліхтувальних плівок при різній температурі та вмістові крохмалю

Склад	Ступінь набрякання (%) плівок шліхти при різному вмістові крохмалю (г·л ⁻¹), при 20 °С/60 °С				
	20	30	40	50	60
Традиційний	116/198	154/241	245/330	301/374	369/435
Із квасцями	108/180	161/250	248/319	276/360	358/446
З каоліном	110/185	142/235	243/311	291/370	375/456

Аналізуючи дані табл. 6 і рис. 2, робимо висновок, що набрякання крохмальних плівок проходить інтенсивніше при більш високій температурі. Ступінь набрякання плівок збільшується зі збільшенням вмісту крохмалю у плівці. Характер залежності ступеня набрякання усіх трьох плівок є однаковим. Отже, додавання у крохмальну шліхту каоліну або квасців не перешкоджає видаленню шліхти у процесі розшліхтовування.

Для розшліхтовування використовували 2 % розчин H_2O_2 та розчин $NaOH$ 10 г·л⁻¹. Нитки просякали розчином цих речовин при 20 °С, запарювали протягом 10 хв, щоб запобігти окисній деструкції целюлози, і промивали. Ступінь розшліхтовування бавовняної пряжі розраховували за стандартною методикою. Ступінь видалення крохмалю становить 85–90 %. Капілярність тканини визначали згідно з ГОСТ 3816–81, її величина становить 125 мм. Ступінь білості одержаної тканини у лабораторних умовах визначали органолептичним шляхом з допомогою шкали ахроматичних кольорів, коефіцієнт відбивання яких відомий, її величина становить 83 %.

Екологічні аспекти використання запропонованих шліхтувальних складів

При використанні запропонованої технології шліхтування стічні води не містять токсичних речовин. Використання шліхти зі зменшеним вмістом крохмалю значно покращує стан стічних вод. Наявність деякої кількості крохмалів не є надто шкідливою, оскільки крохмалі є добрими адсорбентами і здатні адсорбувати на своїй поверхні інші речовини, що важко розкладаються біологічно. При цьому утворюються нові речовини, здатні до біологічного розкладу. Крім цього каолін сам є прекрасним адсорбентом інших, у тому числі токсичних речовин. Таким чином процес самоочищення гідросфери лише прискорюється.

Фактором ризику на бавовняному виробництві є ураження шляхом вдихання пилу, що містить обривки волокон, та речовини, що входять до складу шліхтувальних препаратів. При застосуванні запропонованих складів шліхти для бавовняних основ знижується пиловиділення завдяки утворенню плівок високої еластичності та гігроскопічності, які обсіпаються менше, ніж плівки, утворені за традиційними методиками.

Висновки

Крохмальні шліхтувальні склади з додаванням 0,5 % каоліну або квасців від маси крохмалю мають на 15 % більшу, ніж у традиційної крохмальної шліхти, величину адгезії, що зумовлює на 15–20 % збільшення величини приклею при однаковому вмістові крохмалю у складі шліхти. Достатній приклей формується на пряжі при 40–45 г·л⁻¹ крохмалю, що дає можливість економії клейових речовин. Розшліхтовування лужно-перекисним способом тканин, шліхтованих крохмальною шліхтою з додаванням квасців або каоліну, проходить аналогічно до рецептів з традиційними шліхтувальними складами на основі крохмалю. Видалення крохмалю шліхти становить 85–90 %. Використання запропонованих складів шліхти для бавовняної пряжі є екологічно безпечним технологією, яка зменшує ступінь забруднення стічних вод.

Література

1. Гордеев В. А. Хлопчаткачество / В. А. Гордеев, П. В. Волков, К. П. Некрасов. – М.: Легкая индустрия, 1969. – 504 с.

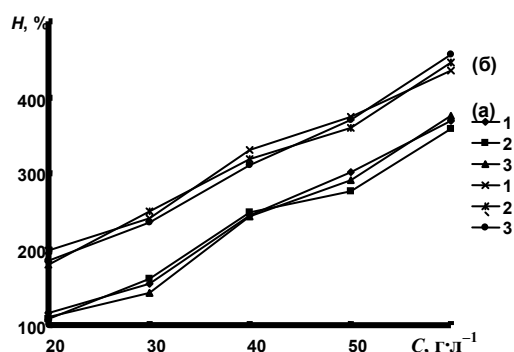


Рис. 2. Залежність ступеня набрякання шліхтувальних плівок: 20 °С (а), 60 °С (б) від вмісту крохмалю: 1 – традиційної, 2 – із квасцями, 3 – з каоліном

2. Ткачук Г. С. Колоїдно-хімічні та реологічні властивості шліхти для бавовняних основ / Г. С. Ткачук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – Технічні науки. – № 2. – С. 210–217.
3. Липатов Ю. С. Коллоидная химия полимеров / Ю. С. Липатов. – К.: Наукова думка, 1984. – 344 с.
4. Ткачук Г. С. Поверхневі явища та гіроскопічні властивості нових шліхтувальних композицій / Г. С. Ткачук, В. Ю. Щербань // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2009. – № 2/5. – С. 10–14.

Надійшла 9.9.2010 р.

УДК 685.34

С.С. ГАРКАВЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

СЕМАНТИЧНІ ДИФЕРЕНЦІАЛИ СПОЖИВЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВЗУТТЯ РІЗНИХ МЕТОДІВ КРІПЛЕННЯ

Робота присвячена вирішенню проблеми вдосконалення процесу оцінювання технологій і технологічних процесів виготовлення взуття за нормативними та консументними показниками конкурентоспроможності на основі відповідних семантичних диференціалів.

Work is devoted the decision of problem of perfection of process of evaluation of technologies and technological processes of making of shoe after normative and by the consuming indexes of competitiveness on the basis of the proper semantic differentials.

Ключові слова: взуття, кріплення.

Постановка проблеми

Проблема наукового обґрунтування необхідного рівня технічних характеристик виробів, рівень яких відповідає вимогам споживачів, є задачею актуальною для виробництва різних споживчих товарів, у тому числі виробів зі шкіри.

Оцінювання конкурентоспроможності технологій виготовлення взуття базується на конструктивно-технологічних критеріях, відповідних консументним показникам виробів, а також діапазонів абсолютних значень кількісних еквівалентів квантифікованих характеристик.

Нормативна документація регламентує діапазони значень властивостей взуття. Численні наукові роботи присвячено встановленню залежності певних технологічних чинників на зміну окремих властивостей виробів. При цьому обраний предмет і відповідні задачі досліджень не дозволяють вирішити зазначену проблему комплексно, керуючись, з одного боку, вимогами споживачів, а з іншого – встановлюючи як саме сукупність конструктивно-технологічних характеристик впливає на формування відповідних споживчих властивостей.

Формулювання цілей

Об'єктом проведених досліджень є процес оцінювання конкурентоспроможності технологій виробництва виробів зі шкіри, а предметом дослідження – вдосконалення методології оцінювання і технологічних процесів складання взуття різних методів кріплення на основі відповідних семантичних диференціалів.

В даній роботі поставлено та розв'язано наступні задачі дослідження:

- визначення критеріїв оцінювання конкурентоспроможності технологій та технологічних процесів складання взуття різних методів кріплення за відповідними споживчими властивостями;
- розробка семантичних диференціалів для оцінювання взуття різних методів кріплення за формостійкістю, гнучкістю та ремонтпридатністю;
- дослідження міцності кріплення низу до заготовки та гнучкості різних методів кріплення, у тому числі семи методів, які запропоновано внести до ДСТУ 2157 „Взуття. Терміни та визначення”;
- доведення за результатами експериментальних досліджень можливості використання запропонованого семантичного диференціалу для оцінювання впливу чотирьох основних ознак взуття на його гнучкість.

Виклад основного матеріалу дослідження

Вирішення проблеми оцінювання конструктивно-технологічних характеристик взуття, технологій і технологічних процесів розкроювання, оброблення деталей верху та низу, складання заготовок і взуття за консументними показниками вимагає розробки відповідних семантичних диференціалів, які формуються за результатами експериментальних досліджень відповідності споживчих властивостей виробів зі шкіри певним конструкторсько-технологічним характеристикам взуття, а також параметрам виконання окремих технологічних операцій та їх груп [1].

Вибір критеріїв для оцінювання конкурентоспроможності взуття різних методів кріплення залежить від споживчих переваг певних сегментів споживачів.

За критерії оцінювання конкурентоспроможності технологій складання взуття різних методів кріплення за споживчими властивостями можуть бути обрані наступні критерії: формостійкість, міцність кріплення підошов, гнучкість, ремонтпридатність взуття, екологічність технологічного процесу, маса

виробів тощо.

Для визначення певних рівнів квантифікованих показників, що характеризують конструктивно-технологічні характеристики, пропонується використати семантичні диференціали – п'ятибальну шкалу біполярних значення показників (від низьких – оцінка 1 – до високих 5 балів).

Так, на формостійкість взуття впливає просторовість заготовки, ступінь свободи затягувальної кромки та її положення відносно сліду.

Для оцінювання впливу кожної із зазначених конструктивно-технологічних характеристик на формостійкість взуття різних методів кріплення розроблено семантичний диференціал, наведений на рис. 1.

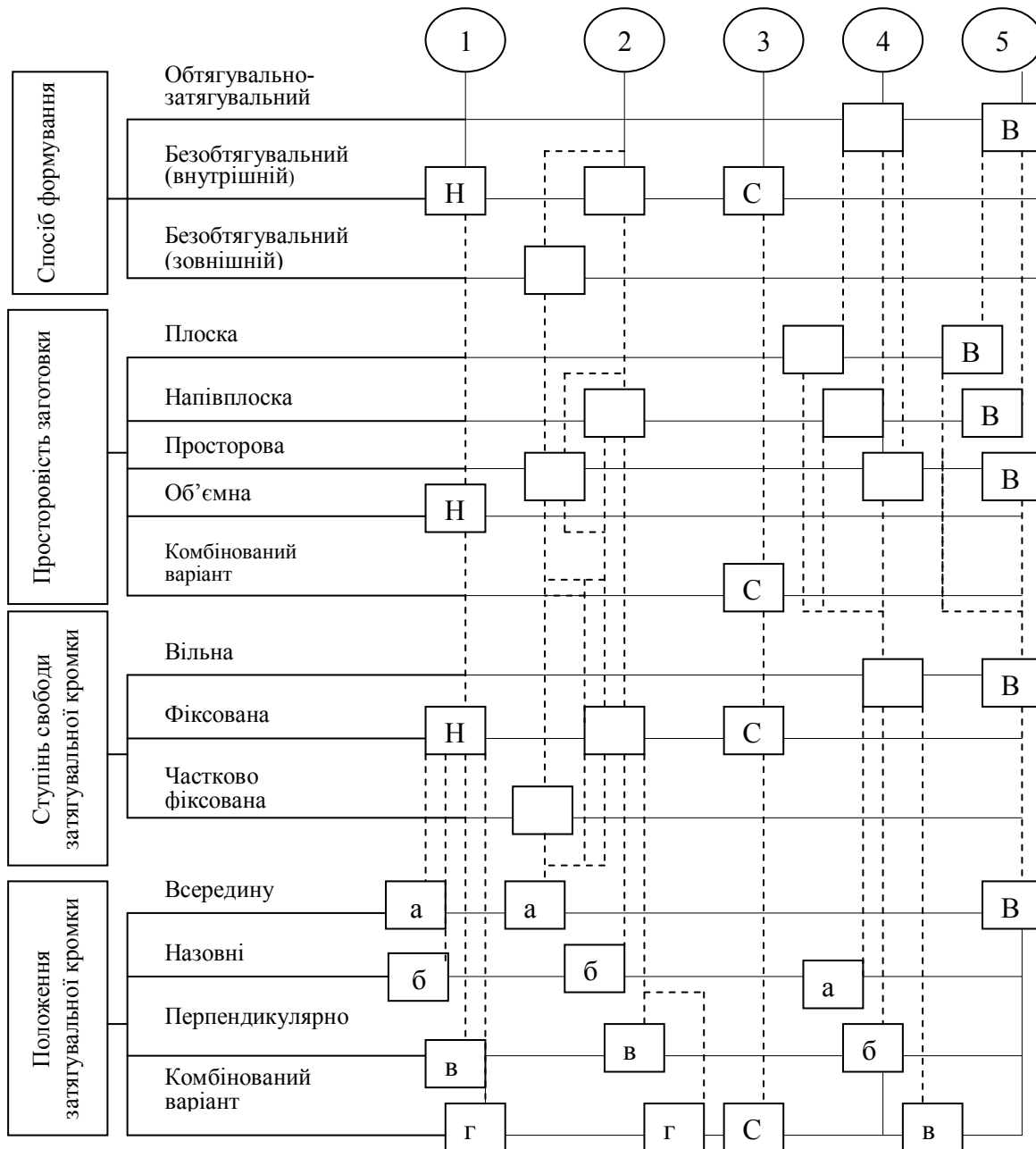


Рис. 1. Семантичний диференціал для оцінювання впливу конструктивно-технологічних характеристик на формостійкість взуття різних методів кріплення

Найбільшу формостійкість має взуття з плоскими, напівплоскими та просторовими заготовками. Це пов'язано з тим, що заготовка формується обтягувально-затягувальним способом, за якого вільна затягувальна кромка, що розміщується всередину або назовні, витягується на необхідну величину. З трьох зазначених варіантів найбільшу формостійкість мають заготовки, попередньо відформовані в носковій частині (оцінка 5).

Найменшу формостійкість (оцінка 1) мають заготовки об'ємної форми. При цьому, затягувальна кромка має фіксоване положення, завдяки вшивній устілці (строчково-літтевий-1, строчково-клеювий, строчково-сандальний та інші методи) або м'якій підошві / підложці (вшивний, вшивно-клеювий). Низьку формостійкість також має взуття з комбінованим варіантом просторовості заготовки (різновид об'ємної заготовки), з частково фіксованою затягувальною кромкою, в якому вшивна устілка пристроюється до

п'яткової частини (строчково-допельний метод кріплення). Це пояснюється тим, що заготовка витягується розсувними колодками на величину значно меншу, ніж кліщами за обтягувально-затягувального способу.

В процесі розробки семантичного диференціалу для оцінювання гнучкості взуття різних методів кріплення використано наступні ознаки: спосіб формування, ступінь свободи затягувальної кромки, наявність деталей, що впливають на гнучкість – основна устілка, півустілка, підложка, платформа, вшивна устілка.

Нормовані дані дослідження гнучкості взуття різних методів кріплення, [2], внесених до ДСТУ 2157, доповнені експериментальними даними щодо гнучкості взуття семи методів кріплення, які запропоновано внести до стандарту [3]. Результати дослідження представлено на рис. 2 та у наведеній нижче таблиці.

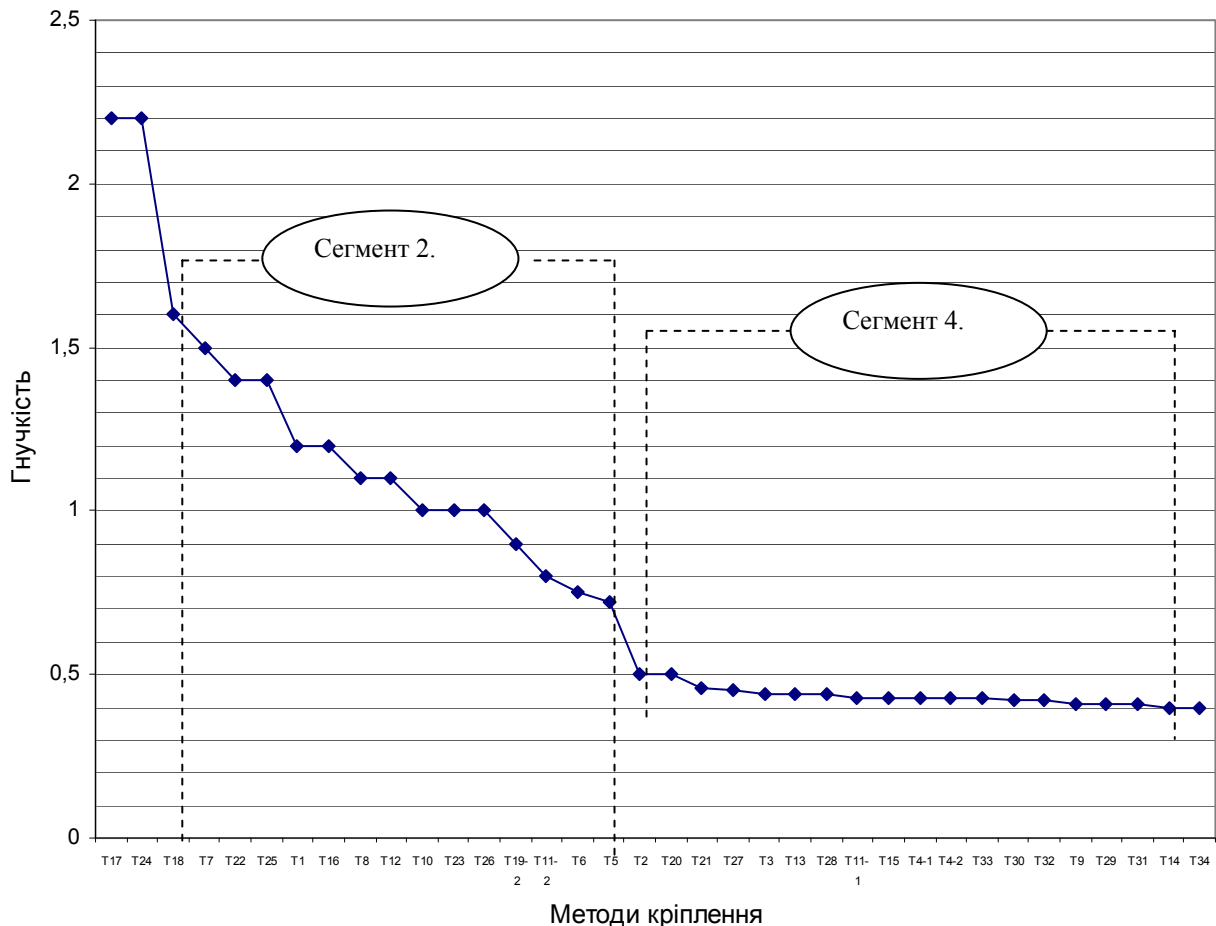


Рис. 2. Експериментальні дані для формування семантичного диференціалу оцінювання гнучкості взуття різних методів, даН/см

Таблиця 1

Гнучкість та міцність кріплення підошов, пропозиції по яких внесено в проект змін до ДСТУ 2157

Метод кріплення	Гнучкість, Н/см	Міцність кріплення підошов, Н
Борто-клейовий	4,10±0,22	140,7±12,2
Прошивно-клейовий	13,76±0,42	140,4±9,6
Рантово-прошивно-клейовий	13,77±0,22	140,0±11,6
Вшивно-клейовий	4,38±0,27	140,3±12,0
Строчковий „Парко”	4,13±0,20	109,7±11,6
Строчково-рантово-клейовий	4,22±0,26	140,5±10,0
Строчково-допельно-клейовий	3,88±0,19	145,7±10,8

Як видно з рис. 2 найбільш чисельними є другий та четвертий сегменти. При цьому, методи кріплення віднесені до четвертого сегмента відрізняються не суттєво порівняно з аналогічними даними об'єктів, віднесених до другого сегмента.

На рис. 3 представлено семантичний диференціал для оцінювання гнучкості взуття різних методів кріплення.

Для побудови семантичного диференціалу гнучкості використано наступні ознаки: спосіб формування, ступінь свободи затягувальної кромки, наявність деталей, що впливають на гнучкість – основна устілка, півустілка, підложка, платформа вшивна устілка, також зазначено відповідні методи

кріплення.

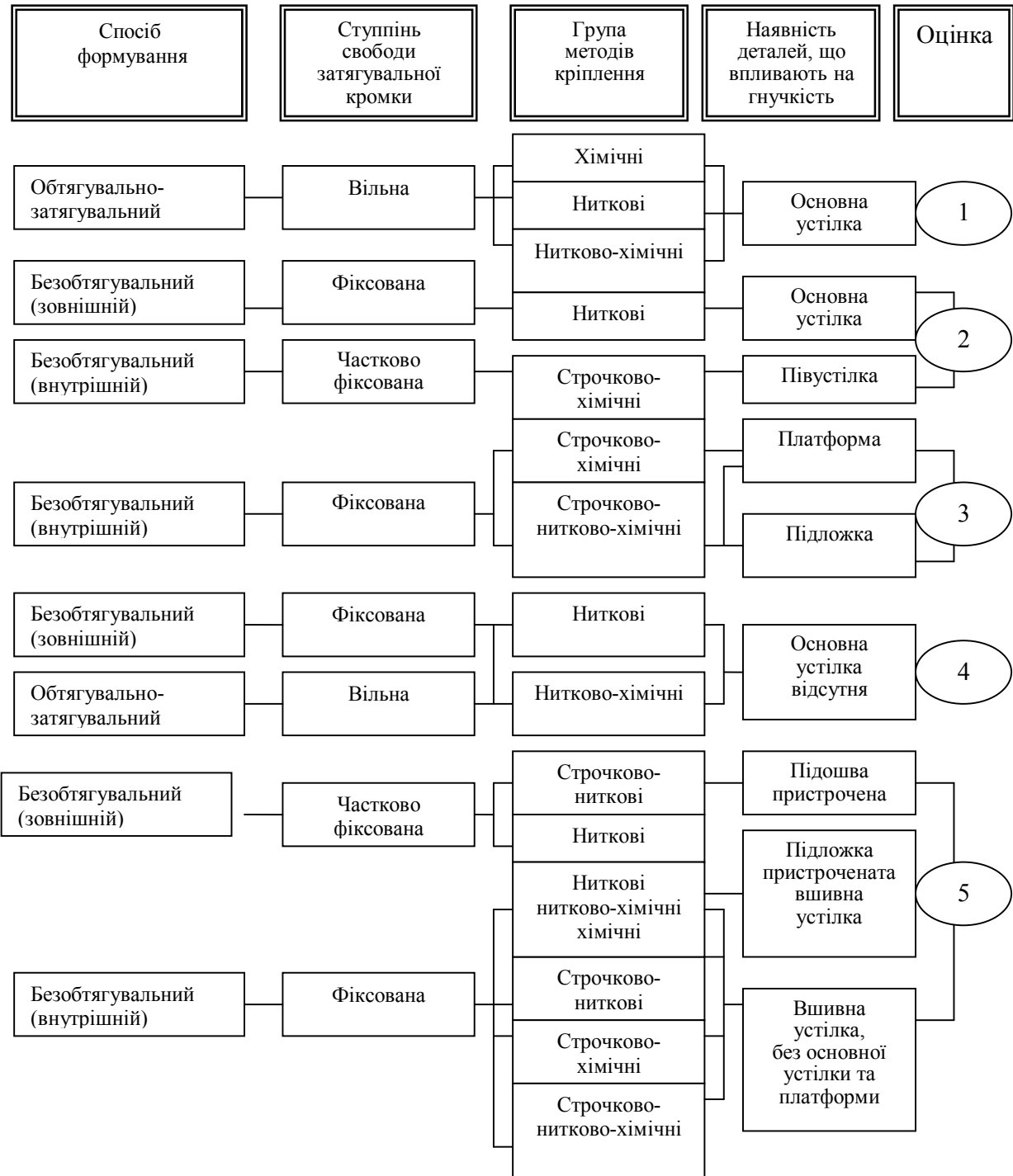


Рис. 3. Семантичний диференціал для оцінювання гнучкості взуття різних методів кріплення

Найбільшу гнучкість (оцінка 5 балів) має взуття, в якому відсутня жорстка устілка (вшивний, вшивно-клейовий, бортовий, борто-клейовий методи кріплення). Також замість основної устілки може застосовуватися вшивна устілка з м'яких матеріалів. Підшва при цьому виготовляється з нешкіряних матеріалів (строчково-допельний, строчково-сандальний, строчково-рантовий, строчково-рантово-клейовий, строчково-бортовий, строчковий "Парко", строчково-литтєвий, строчково-пресовий, строчково-вшивно-клейовий, строчково-клеєбортовий методи кріплення).

Вищу за середню гнучкість (оцінка 4 бали) має взуття без основної та вшивної устілки, з шкіряною жорсткою підшвою ("Парко-1", сандальний, виворітний, сандально-клейовий методи кріплення).

Середню гнучкість (оцінка 3 бали) має взуття строчково-нитково-хімічних методів кріплення, в якому окрім м'якої вшивної устілки, є підложка або платформа, а підшва застосовується з матеріалів-замінників (строчково-клейовий, строчково-сандально-клейовий, строчково-допельно-клейовий методи кріплення)

Гнучкість нижчу за середню (оцінка 2 бали) має взуття безобтягувального зовнішнього способу

формування з основною устілкою, в якому затягувальна кромка фіксована рантом ("Парко-2", "Парко-3"). Такий же рівень гнучкості має взуття безобтягувального внутрішнього способу формування, де замість жорсткої устілки в носково-пучковій частині застосовується півустілка, вшивна устілка пристроюється до заготовки, частково фіксованої в геленково-п'ятковій частині (строчково-литтєвий-2 метод кріплення).

Найнижчу гнучкість (оцінка 1 бал) має взуття з жорсткою (основною) устілкою. Це взуття обтягувально-зтягувального способу формування з вільною зтягувальною кромкою (клеювий, литтєвий, прошивний, клеє-прошивний, допельний, пресової вулканізації, рантовий, рантово-прошивний, допельно-клеювий, прошивно-клеювий, рантово-клеювий, рантово-прошивно-клеювий, клеєбортовий методи кріплення).

Співставлення результатів експериментальних досліджень та наведеного семантичного диференціалу підтверджують коректність обраних ознак для оцінювання відповідних певному методу кріплення технологій складання взуття.

Ремонтопридатність взуття оцінювалася також за п'ятибальною шкалою. На ремонтпридатність впливає ступінь свободи зтягувальної кромки та її положення відносно сліду взуття і залежить від того, який спосіб виготовлення підошви при цьому використовується.

Найбільшу ремонтпридатність має взуття обтягувально-зтягувального способу формування, в якому зтягувальна кромка вільна і має найбільшу ширину – 14– 16 мм (оцінка 5). При цьому зтягувальна кромка або відігнута всередину (взуття клеювого, виворітного, прошивного, борто-клеювого, клеєпрошивного, рантово-прошивного, прошивно-клеювого, рантово-прошивно-клеювого, клеєбортового методів кріплення) або розташована перпендикулярно сліду взуття (рантовий, рантово-клеювий методи кріплення).

Ремонтопридатність вищу за середній рівень має взуття, в якому зтягувальна кромка вільна, вивернута назовні або методом кріплення передбачено комбіноване положення зтягувальної кромки, що має меншу, за попередню групу методів, ширину (оцінка 4). Це взуття сандаального, сандаально-клеювого, допельного та допельно-клеювого методів кріплення. Середню ремонтпридатність (оцінка 3) має взуття різновидів бортового методу кріплення, що пояснюється незначною шириною фіксованої зтягувальної кромки, розташованої назовні або перпендикулярно. Також середній рівень ремонтпридатності має взуття з фіксованою або частково фіксованою зтягувальною кромкою, розташованою всередину, де по всьому периметру або частково (крім носкової частини) до заготовки пристроєна м'яка підошва (вшивний, вшивно-клеювий методи кріплення) або рант ("Парко-1,2,3"), що ускладнює ремонт взуття.

Нижчою за середню є ремонтпридатність взуття строчкових методів кріплення, з фіксованою по всьому периметру зтягувальною кромкою, пристроєною м'якою устілкою (оцінка 2). При цьому зтягувальна кромка може бути розташована всередину, назовні, перпендикулярно або використано комбінований варіант положення зтягувальної кромки (строчково-клеювий, строчково-рантовий, строчково-бортовий, строчково-рантово-клеювий та ін.). Виключенням є взуття строчково-литтєвого та строчково-пресового методів кріплення.

Найнижчу (оцінка 1) ремонтпридатність має взуття литтєвого, пресової вулканізації, строчково-литтєвого та строчково-пресового методів кріплення, в яких у разі пошкодження підошви спосіб їх виготовлення унеможливує відновлення взуття.

Наведені діапазони оцінок, визначені на основі експертних оцінок та підтверджені результатами експериментальних, є основою для кластеризації методів кріплення за групою показників.

Висновки

Таким чином, в результаті проведених досліджень:

- запропоновано критерії оцінювання конкурентоспроможності технологій та технологічних процесів складання взуття різних методів кріплення;
- розроблено семантичні диференціали для оцінювання взуття різних методів кріплення за формостійкістю, гнучкістю та ремонтпридатністю;
- досліджено міцність кріплення до заготовки низу та гнучкість різних методів кріплення, у тому числі семи методів, які запропоновано внести до ДСТУ 2157 „Взуття. Терміни та визначення”;
- експериментальними дослідженнями доведено можливість використання запропонованого семантичного диференціалу для оцінювання впливу конструктивно-технологічних характеристик взуття на його гнучкість.

Результати досліджень є основою групування методів кріплення в кластери – групи з подібними споживчими властивостями. Подальші дослідження в межах обраного об'єкту дослідження передбачають кластеризацію хімічних, ниткових, строчкових, комбінованих методів кріплення з урахуванням споживчих переваг різних сегментів споживачів.

Література

1. Гаркавенко С. С. Розвиток наукових основ проектно-технологічних робіт на стадії створення конкурентоспроможної продукції взуттєвої та шкіргалантерейної галузі: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.18.18 «Технологія взуття, виробів зі шкіри та хутра» / С. С. Гаркавенко. – К., 2009. – 37 с.

2. Взуття. Норми гнучкості: ДСТУ 2061 (ГОСТ 14226-93). – К.: Держстандарт України. – 1992. – 9 с. – (Національний стандарт України).

3. Взуття. Терміни та визначення: ДСТУ 2157 [Чинний від 1994-01-01]. – К.: Держстандарт України, 1994. – 25 с. – (Національний стандарт України).

Надійшла 20.9.2010 р.

УДК 687.017.636

Н.Г. КОЛЯДЕНКО

Хмельницький національний університет

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ОПТИМАЛЬНИХ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ КРІОЗАХИСНОГО ПАКЕТА

В статті представлено розробку математичної моделі для розрахунку оптимальних теплофізичних характеристик (коефіцієнти теплопровідності, теплопередачі, тепловий опір, густина теплового потоку) матеріалів (тканини верху, підкладки, утеплювач) кріозахисного пакета, з урахуванням їх товщини і теплообміну процесів ($T_1 - T_4 = \Delta T$).

In the article development of mathematical model is presented for the calculation of optimum thermophysical descriptions (coefficients of heat-conducting, heat-transfer, thermal resistance, closeness of thermal stream) of materials (fabrics of top, lining, uteplyuvach) of kriozaehisnogo package, taking into account their thickness and heat exchange of processes ($T_1 - T_4 = \Delta T$).

Ключові слова: матеріали, кріозахист, теплофізичні характеристики, математична модель.

Проводячи розрахунки, пов'язані з захисним одягом, людський організм представляють як термостатовану біологічну систему з внутрішнім джерелом тепла, що має безперервний зв'язок з зовнішнім середовищем. При нормальних умовах кількість тепла, яке виробляється організмом відповідає кількості тепла що віддається, тобто зберігається рівність між теплоутворенням та тепловіддачею, а відтак температура людини залишається постійною і нормальною. Якщо теплоутворення перевищує тепловіддачу, або навпаки, то температура тіла в першому випадку підвищується, а в другому – зменшується, створюючи дискомфортне відчуття. Але зважаючи на те, що людський організм являє собою саморегулюючу систему, то при збільшенні в ньому тепла збільшується і тепловіддача, а при зменшенні, наприклад, в разі впливу низької температури, спостерігається не тільки її зменшення, а і включення допоміжних ресурсів (хімічних і фізичних терморегуляторів) для вироблення тепла. При цьому слід зазначити, що механізм терморегуляції має певні можливості, особливо під час впливу низьких температур з одночасним фізичним навантаженням. В зв'язку з цим, процес розробки спеціального одягу для працівників холодильних камер м'ясних підприємств, особливо кріозахисних пакетів, відноситься до проблематичних, а відтак повинен бути науково-обґрунтованим.

В даному випадку, як і в усіх інших, що пов'язані із спеціальним одягом, основою для вибору напрямлення проведення науково-дослідної роботи, є аналіз умов праці робітників конкретного підприємства, перелік небезпечних і шкідливих факторів (далі – НШФ) та характеристик засобів індивідуального захисту (далі – ЗІЗ), які використовуються при цьому.

До НШФ слід віднести параметри мікроклімату в камерах холодильних установок. Згідно технологічному процесу, найнижчу температуру підтримують в приміщенні холодильника де розміщені камери схову і камери заморожування м'ясних туш, а саме від мінус 18°C до мінус 30°C відповідно. В зв'язку з цим було прийнято рішення відносно пакета, який повинен виконувати морозозахисні функції від постійного впливу низької температури (мінус 30°C) і збереженні комфортної температури для людського організму, середньозважувана величина якої дорівнює плюс 32°C. Для проведення розрахунків були використані класичні уявлення про теоретичні основи тепломасопереносу та такі теплофізичні характеристики текстильних матеріалів як коефіцієнт теплопровідності λ (вт/м·град), густина теплового потоку q (вт/м²), товщина b (м), коефіцієнт теплопередачі K (вт/м²·град) і тепловий опір R (м²·град/вт) [1–4].

Необхідно зазначити, що серед названих характеристик і не тільки анізотропно-пористих, тобто текстильних, а і усіх без винятку матеріалів, головним показником є коефіцієнт теплопровідності, який визначається за формулою:

$$\lambda = \frac{Q \cdot b}{S(T - T_1)}, \quad (1)$$

де Q – потужність теплового потоку, вт;

b – товщина проби матеріалу, м;

S – площа проби матеріалу, м²;

T і T_1 – температура лицевої і зворотної сторони проби матеріалу відповідно, град.

Кількість теплоти, яка переноситься через поверхню за одиницю часу називається тепловим потоком, а тепловий потік віднесений до одиниці площі є не що інше як густина теплового потоку q .

Згідно закону Фур'є кількість переданої теплоти пропорційна градієнту температури, часу і площі перетину та перпендикулярна напрямку розповсюдження теплоти:

$$\vec{q} = -\lambda \text{grad}T. \quad (2)$$

Рівняння (2) є математичним виразом закону Фур'є, який використовується для всіх теоретичних і експериментальних досліджень процесів теплопровідності через одно- та багатошарової поверхні.

Якщо вирішувати задачу, пов'язану з нашою проблемою, то аналіз ЗІЗ для робітників-вантажників м'ясних туш свідчить про те, що їх екіпіровка складається з утеплюючої трьохшарової куртки і штанів, або комбінезона та такої ж куртки.

В зв'язку з цим, для розробки математичної моделі захисного пакета, який повинен адекватно відповідати на вплив низької температури (мінус 30°C), зберігаючи комфортність організму (плюс 32°C), було прийнято рішення про необхідність збереження традицій його структури, а саме трьохшарової: верхнього шару, утеплювального та підкладкового. Указана структура в даному випадку оптимальна як з теоретичних основ конфекціювання, так і кріозахисту тому, що при необхідності фізико-механічних показників верхньої і підкладкової тканини, захист від впливу низьких температур можна регулювати товщиною (або волокнистим складом) утеплюючого шару.

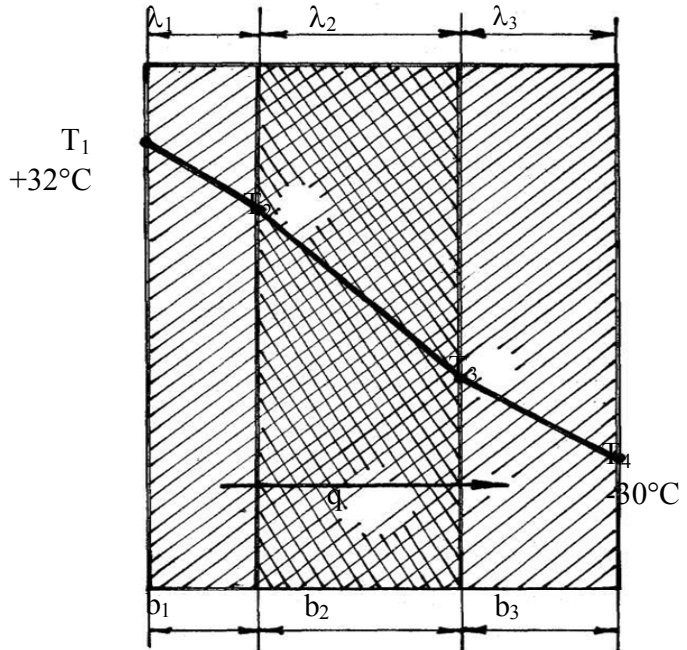


Рис. 1. Схема трьохшарового пакета спеціального захисного одягу для теоретичного розрахунку теплофізичних характеристик

Таким чином, вирішення нашої задачі можливе, якщо відома товщина кожного шару b_1, b_2, b_3 , коефіцієнт теплопровідності $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$, а також температура T_1 і T_4 (рис. 1).

При цьому також передбачається, що контакт між поверхнями шарів ідеальний, процес проходить в стаціонарному режимі, а температура між шарами дорівнює T_2 і T_3 відповідно. Тому з врахуванням [1] запишемо:

$$\left. \begin{aligned} q &= \frac{\lambda_1}{b_1}(T_1 - T_2); \\ q &= \frac{\lambda_2}{b_2}(T_2 - T_3); \\ q &= \frac{\lambda_3}{b_3}(T_3 - T_4); \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Використовуючи рівняння (3) розраховуємо температурні напори в кожному шарі:

$$\left. \begin{aligned} T_1 - T_2 &= q \frac{b_1}{\lambda_1}; \\ T_2 - T_3 &= q \frac{b_2}{\lambda_2}; \\ T_3 - T_4 &= q \frac{b_3}{\lambda_3}; \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Якщо значення температурних напорів (4) в кожному шарі скласти, то ми отримаємо повний температурний напор, а саме:

$$T_1 - T_4 = q \left(\frac{b_1}{\lambda_1} + \frac{b_2}{\lambda_2} + \frac{b_3}{\lambda_3} \right). \quad (5)$$

Співвідношення (5) є основною розрахунковою формулою для густини теплового потоку нашого захисного пакета, тобто:

$$q = \frac{T_1 - T_4}{\frac{b_1}{\lambda_1} + \frac{b_2}{\lambda_2} + \frac{b_3}{\lambda_3}}. \quad (6)$$

Якщо значення густини сумарного теплового потоку (6) підставити в формулу (4), то можна розрахувати T_2 і T_3 , що є невідомими:

$$T_2 = T_1 - q \frac{b_1}{\lambda_1}, \quad (7)$$

$$T_3 = T_2 - q \frac{b_2}{\lambda_2} = T_4 + q \frac{b_3}{\lambda_3}. \quad (8)$$

Таким чином, якщо текстильний матеріал для зовнішньої сторони куртки вибраний згідно аналізу умов праці та експлуатації, то після визначення його товщини b_1 і коефіцієнта теплопровідності λ_1 , а це між іншим стосується підкладкового і утеплюючого матеріалу, можна при заданому $\Delta T = T_1 - T_4$ розрахувати кріозахисний пакет з необхідними характеристиками. Відомо також, що термозахисні властивості матеріалів характеризуються коефіцієнтом теплопередачі K (вт/м²·град) і тепловим опором R (м²·град/вт).

Значення коефіцієнта теплопередачі для моделі трьохшарового пакета можна розрахувати за формулою:

$$K = \frac{1}{\frac{b_1}{\lambda_1} + \frac{b_2}{\lambda_2} + \frac{b_3}{\lambda_3}}, \quad (9)$$

а визначивши K , тепловий опір R буде дорівнювати:

$$R = \frac{1}{K} = \frac{b_1}{\lambda_1} + \frac{b_2}{\lambda_2} + \frac{b_3}{\lambda_3}. \quad (10)$$

Для практичної перевірки запропонованої математичної моделі, нами були проведені теоретичні розрахунки двох кріозахисних пакетів, кожний із яких складається із трьох шарів: верхнього, утеплювача і нижнього. Матеріали, які входять до структури пакетів відрізняються як за геометричним (товщина), так і теплофізичними характеристиками (коефіцієнт теплопровідності λ). Використовуючи вихідні дані ($T_1 = 32^\circ\text{C}$; $T_4 = -30^\circ\text{C}$) і формулу (6), нами була розрахована густина теплового потоку q , значення якої для пакета № 1 дорівнює 262,3 вт/м², а для пакета № 2 – 193,2 вт/м² (табл. 1).

Таблиця 1

Кріозахисні властивості пакетів залежно від теплофізичних і геометричних показників їх складових

Перелік контролюючих показників текстильних матеріалів	Структура кріозахисних пакетів					
	Пакет № 1			Пакет № 2		
	верхній шар	утеплювач	підкладковий шар	верхній шар	утеплювач	підкладковий шар
Товщина матеріалів пакетів, м:						
b_1	0,0015	-	-	0,0022	-	-
b_2	-	0,0057	-	-	0,0102	-
b_3	-	-	0,00035	-	-	0,0008
Коефіцієнт теплопровідності, вт/м·град:						
λ_1	0,028	-	-	0,039	-	-
λ_2	-	0,034	-	-	0,042	-
λ_3	-	-	0,023	-	-	0,037
Густина теплового потоку q , вт/м ²	262,3			192,3		
Температура, °C:						
T_2	плюс 16,4			плюс 22,0		
T_3	мінус 27,6			мінус 25,0		
Тепловий опір, м ² ·град/вт:						
R_1	0,2364			-		
R_2	-			0,3209		
Коефіцієнт теплопередачі, вт/м ² ·град:						
K_1	4,23			-		
K_2	-			3,12		

Температура T_2 і T_3 розраховані за формулою (7 і 8) для пакета № 1 дорівнюють плюс 16,4°C і мінус 27,6°C, а для пакета № 2 – плюс 22°C і мінус 25,0°C відповідно.

Отримані результати показують, що пакет № 2 більш спроможний захистити від впливу низької температури (-30°C) ніж пакет № 1. Але при цьому слід зазначити, що використовуючи указану математичну модель експериментатор має змогу удосконалювати структуру пакетів. Так, якщо проаналізувати пакет № 1, то його кріозахисні властивості можна підвищити завдяки збільшенню товщини, наприклад, утеплюючого шару.

Проведені розрахунки показали, що при товщині утеплюючого шару $1,14 \cdot 10^{-2}$ м (збільшили у два рази), густина теплового потоку стала дорівнювати $151,2$ Вт/м², тобто зменшилась на $111,11$ Вт/м², а температура T_2 підвищилась від плюс $16,4^\circ\text{C}$ до плюс 23°C (рис. 1).

Слід зазначити, що використовуючи співвідношення (9 і 10) теоретично можна розрахувати значення коефіцієнта теплопередачі K і теплового опору R , які в нашому дослідженні для пакета № 1 дорівнюють $4,23$ Вт/м²·град і $0,2364$ м²·град/Вт, а для пакета № 2 – $3,12$ Вт/м²·град і $0,3209$ м²·град/Вт відповідно (табл. 1).

Таким чином, представлена математична модель, яка розроблена на основі класичних уявлень і теорій про тепломасопренос, дає змогу провести розрахунки кріозахисних властивостей пакетів для спеціального одягу робітників холодильних камер з необхідними показниками.

Література

1. Михеев М. А. Основы теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М.: Энергия, 1977. – 343 с.
2. Михеев М. А. Краткий курс теплопередачи / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 208 с.
3. Лыков А. В. Михайлов Ю. А. Теория тепло- и массопереноса / А. В. Лыков, Ю. А. Михайлов. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 535 с.
4. Лыков А. В. Теория теплопроводности / Лыков А. В. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.

Надійшла 13.9.2010 р.

УДК 685.34.016.3, 514.181.22

Т.А. НАДОПТА
Хмельницький національний університет

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ГАБАРИТНОГО СЛІДУ ПРОТОТИПУ

Запропоновані положення методики взаємозв'язку параметрів характерних точок стопи та їх аналогів на прототипу.

Principles method to intercommunication of characteristic point's parameters foots parameters and their analogues on a prototype are offered.

Ключові слова: колодка, слід, габаритні розміри.

Постановка задачі

Найбільш визначальні положення, які повинні в обов'язковому порядку враховуватись в процесі проектування взуття, становлять вимоги стосовно його зручності, модності, естетичності, сучасності, вартості [1, 2]. Ігнорування хоча б одного з цих питань призводить, як правило, до негативних наслідків, в тому числі для здоров'я споживача неякісно спроектованої, а, відповідно, виготовленої продукції. Які б не були швидкоплинні та мимолітні тенденції ринку, в тому числі його кон'юнктура, взуття необхідно проектувати, насамперед, з огляду на зазначені вище критерії. Здавалося б, що найпростіше задоволення потреби у взутті, котре відповідало в повній мірі всім сучасним вимогам естетичного та функціонально плану, реалізується шляхом індивідуалізації виробництва виробів, проте цей метод, по-перше, дорогий, по-друге, малопродуктивний. Вихід із зазначеного протиріччя можливий тільки за рахунок автоматизації по можливості всіх етапів виробництва і, насамперед, проектування виробів. Розроблювана задача включає в якості однієї зі складових питання взаємозв'язку конфігурації реальних стоп з аналогічними елементами прототипів, які передбачається використати в якості першооснови для наступного виготовлення взуття. Прототипи як індивідуальне відтворення поняття «колодка» повинні відповідати в якомога більшій мірі конкретній стопі (в ідеалі – кожній зі стоп: правій та лівій), враховуючи всі локальні особливості їх, чим, в першу чергу, і забезпечуватиметься виконання всіх вимог до взуття функціонального напрямку. Тому на відміну від стандартних колодок прототип, насамперед, повинен мати реальну здатність та пристосовуваність до оперативного видозмінення з метою відтворення особливостей конкретних стоп. Саме в реалізації цього положення первинною є роль визначення співвідношень між параметрами характерних абрисів цих двох геометричних місць точок, що і становить головну мету цієї роботи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Як об'ємне тіло, взуттєва колодка становить сукупність геометричних місць точок, які в загальному вигляді обмежені криволінійними поверхнями. З іншого боку, колодка є оснасткою взуттєвого виробництва, на якій формується і виготовляється взуття, а також внутрішньою формою взуття, за котрою проектуються деталі виробів та деякі робочі органи технологічних машин [3].

Основні вимоги до внутрішньої форми взуття зводяться до наступного. Насамперед колодка повинна відповідати положенням анатомо-біомеханічних вимог, тобто забезпечувати можливість реалізації біомеханіки нижніх кінцівок. Наступна група вимог – антропометричні, що передбачає тотожність антропометричним параметрам стопи. Важлива, якщо не первинна, потреба забезпечення фізіологічності,

тобто відтворення таких умов використання взуття, за яких стопа могла б нормально функціонувати. Нарешті не остання група вимог – естетичні, тобто, в першу чергу, відповідність напрямкам моди. Повинні також бути враховані вимоги реального виробництва в частині як зручності використання, так і його можливостей з врахуванням реально наявного устаткування.

Вихідним елементом для трансформації антропометричної інформації про стопу на взуттєву колодку є вісь сліду стопи; а також головні параметри умовної середньо-типової стопи (УСТС) та контури основних перетинів УСТС. До їх аналогів стосовно колодки належать: висота підйому носкової та п'яtkової частин; зміщення устілки в п'яtkовій частині колодки; параметри колодки за довжиною, шириною та обхватами [4].

Відсутність достатнього обсягу геометричної інформації для побудови каркасу поверхні колодки, трудомісткість і тривалість процесу власне виготовлення, як результат перерахованого – погіршність форми й розмірів виробу, змушували фахівців галузі винаходити сучасні способи й засоби проектування, обробки й контролю готової колодки. Найбільш поширеними є методи проектування колодок [2]: КНУТД (з використанням персонального комп'ютера); МГАЛП (радіографічний); УкрНІШП (з використанням системи полярних координат); ЦНДІШП (координатне задавання контурів перетинів колодок).

Прогресивним методом проектування внутрішньої форми взуття є методика В.П. Либи, котра передбачає визначення поперечних параметрів внутрішньої форми взуття на основі аналогічних характеристик умовної середньої стопи та розрахунок за формулами коефіцієнтів переходу від широтних, висотних та обхватних параметрів стопи до відповідних параметрів взуттєвої колодки [5]. Масовими дослідженнями стоп різних статевікових груп населення України й методологією розробки колодок для них відзначилась наукова школа В.П. Коновала [6– 9]. Аналітичне обґрунтування моделювання колодок у вітчизняній науці відноситься в основному до окремих фрагментів задачі, в цілому вона в такому аспекті практично не вирішена [10– 12].

Формулювання цілі статті

Проектування внутрішньої форми взуття становить задачу достатньо високої складності. Антропометричні дані про форморозміри стопи з врахуванням її фізіології та біомеханіки необхідно трансформувати в параметри колодки, на їх основі визначити контури криволінійних поверхонь колодки [13]. Існуючі на даний час графічні методи та системи автоматизованого проектування взуття не вирішують головного завдання – адекватного переходу від форми й розмірів стопи до їх аналогів на колодці. Тому з огляду на вище зазначене, необхідно більш детально розглянути процес проектування внутрішньої форми взуття, а саме перехід від габариту сліду стопи до габариту сліду колодки з врахуванням анатомічної будови стопи та сучасних тенденцій моди, використовуючи при цьому аналітичний апарат. Останнє особливо важливе з огляду на передбачуване в майбутньому автоматизоване проектування деталей верху взуття (ДВВ) з розробкою відповідного програмного забезпечення.

Виклад основного матеріалу

Перспективний напрямок розвитку проектування взуття – автоматизація цього процесу на базі теоретичних засад відображення абрисів основних деталей. Попередньо базові питання методики побудови абрисів викладені в [14, 15].

Для раціонального переходу від габариту сліду стопи до габариту сліду колодки потрібно визначити основні параметри, котрі необхідні для подібних перетворень. До головних характеристик взуттєвої колодки згідно з ГОСТ 3927– 88 «Колодки обувные. Технические условия» відносяться довжина сліду колодки, ширина сліду в пучках, ширина сліду в п'яtkовій частині та обхват в пучках, що характеризує повноту колодки. В цьому стандарті наведені дані щодо обхвату в пучках залежно від повноти колодок і метричного розміру в табличній формі, що не зовсім зручно у застосуванні, особливо в аспекті програмного використання цих характеристик. На основі вище викладеного дані обхвату в пучках оброблені з метою встановлення виду функції, що дає змогу застосовувати цей параметр при аналітичному переході від габариту сліду стопи до аналогічного параметра колодки. При обробці даних стосовно повноти (для повсякденного взуття використано інтервал між суміжними обхватами 6 мм) встановлено, що обхват колодки у пучках пов'язаний з метричним розміром колодки лінійною залежністю, графіки цих співвідношень для чоловічої та жіночої статевікової груп представлено на рисунках 1 та 2.

Ці залежності апроксимуються лінійною функцією виду:

$$w = O_{0,72/0,68} / N = w_0 + K_w \cdot N, \quad (1)$$

де w – відношення обхвату стопи в пучках до метричного розміру колодки,

$O_{0,72/0,68}$ – обхват стопи у пучках;

w_0 – початкові значення функції;

K_w – коефіцієнти пропорціональності;

N – метричний розмір колодки.

Конкретні значення коефіцієнтів рівняння (1) наведені в таблиці 1, значення коефіцієнтів кореляції свідчать про цілковиту прийнятність подібного моделювання залежностей. Дані таблиці 1 свідчать про можливість їх аналітичної інтерпретації, що в певній мірі ще більше спростить методику практичного користування апаратом призначення обхвату колодки. Для чоловічої статевікової групи:

$$w_0 = 1,166 + 0,025 \cdot W, \quad (2)$$

$$K_W = -0,001171 - 0,00005169 \cdot W, \quad (3)$$

аналогічно, для жіночої статево-вікової групи:

$$w_0 = 1,127 + 0,022 \cdot W, \quad (4)$$

$$K_W = -0,000096 - 0,000041 \cdot W, \quad (5)$$

де W – числове значення повноти колодки.

Рівняння (2)– (5) забезпечують коефіцієнт кореляції рівний одиниці.

Таблиця 1

Коефіцієнти лінійної функції рівняння (1)

Повнота колодки	чоловіча статево-вікової група			жіноча статево-вікової група		
	x_0	K_x	Коефіцієнт кореляції	x_0	K_x	Коефіцієнт кореляції
1	1,149	- 0,001	0,996	0,191	- 0,001222	0,995
2	1,171	- 0,00140	0,996	0,216	- 0,001274	0,995
3	1,193	- 0,00108	0,996	1,241	- 0,001326	0,995
4	1,215	- 0,00112	0,996	1,266	- 0,001377	0,995
5	1,237	- 0,00116	0,996	1,291	- 0,001429	0,995
6	1,259	- 0,0012	0,996	1,316	- 0,001481	0,995
7	1,281	- 0,00124	0,996	1,341	- 0,001532	0,995
8	1,303	- 0,00128	0,996	1,366	- 0,001584	0,995
9	1,325	- 0,00132	0,996	1,391	- 0,001636	0,995
10	1,347	- 0,00136	0,996	1,416	- 0,001687	0,995
11	1,369	- 0,0014	0,996	1,441	- 0,001739	0,995
12	1,391	- 0,00144	0,996	1,466	- 0,001791	0,995

В згаданому стандарті приводяться крім того значення інших геометричних параметрів колодки, проте акцентування уваги саме на обхваті пояснюється тим, що цей розмір в певній мірі характеризує об'ємну трансформацію стопи в колодку, оскільки залежить не тільки від розмірів ширини в певному перетині, але і від висоти стопи в ньому.

Далі виходимо з концепції подібності стопи і колодки, суть якого зводиться до того, що колодка як геометричне місце точок повинна в певній мірі бути результатом афінного перетворення стопи. Тоді будь-який розмір прототипу співвідноситься до аналогічного параметра стопи:

$$y_K = y_C K_L K_{NW}, \quad (6)$$

де y_K, y_C – розміри прототипу та стопи відповідно в певному напрямку деякого поперечного перетину з координатою x вздовж стопи чи колодки;

K_L – коефіцієнт пропорційності, який використовується при розрахунку параметрів колодки за методикою проф. В. П. Либи;

K_{NW} – коефіцієнт пропорційності, який враховує вплив метричного розміру та повноти взуття.

Методика проектування колодок проф. В.П. Либи, котра пройшла багатогранну апробацію та широко застосовується не тільки в сучасних наукових дослідженнях, але й в реальному виробництві базується на формулі:

$$Ш_K = \frac{Ш_{CT}(1 - 0,01 \cdot K_{Ш\Phi})}{K_T(1 + 0,01\varepsilon_{Ш})}, \quad (7)$$

де $Ш_K$ – розмірний параметр колодки в певному перетині,

$Ш_{CT}$ – аналогічно – для стопи,

$K_{Ш\Phi}$ – коефіцієнт переходу від стопи до внутрішньої форми взуття (враховує місце перетину),

Φ – відносна величина стискання стопи (враховує степінь стиснення стопи взуттям),

K_T – коефіцієнт, який враховує степінь тягучості матеріалу взуття,

$\varepsilon_{Ш}$ – відносна деформація верху (характеризує усадку матеріалів взуття після зняття з колодки).

З формули (7) коефіцієнт:

$$K_L = \frac{(1 - 0,01 \cdot K_{Ш\Phi})}{K_T(1 + 0,01\varepsilon_{Ш})}. \quad (8)$$

Значення коефіцієнта K_L для перетинів зовнішньої та внутрішньої щиколоток і відростка п'ятої плесневої кістки показано на рисунку 3, відповідно для зовнішнього та внутрішнього пучків – на рисунку 4, для точки кінця мізинця – на рисунку 5.

З тієї ж концепції подібності коефіцієнт, який враховує вплив розміру та повноти взуття, можна призначити як результат порівняння поточного (для досліджуваного розміру взуття) та мінімального в межах відповідної статево-вікової групи значень відношення обхвату в пучках до метричного розміру.

$$K_{NW} = \frac{K_N}{K_{Nmin}}, \quad (9)$$

де K_N – відношення обхвату прототипу в пучках для досліджуваного розміру до величини цього розміру;

K_{Nmin} – те ж, мінімальне значення, яке згідно з рис. 1 та 2 відповідає максимальному розмірові взуття для певної статевікової групи.

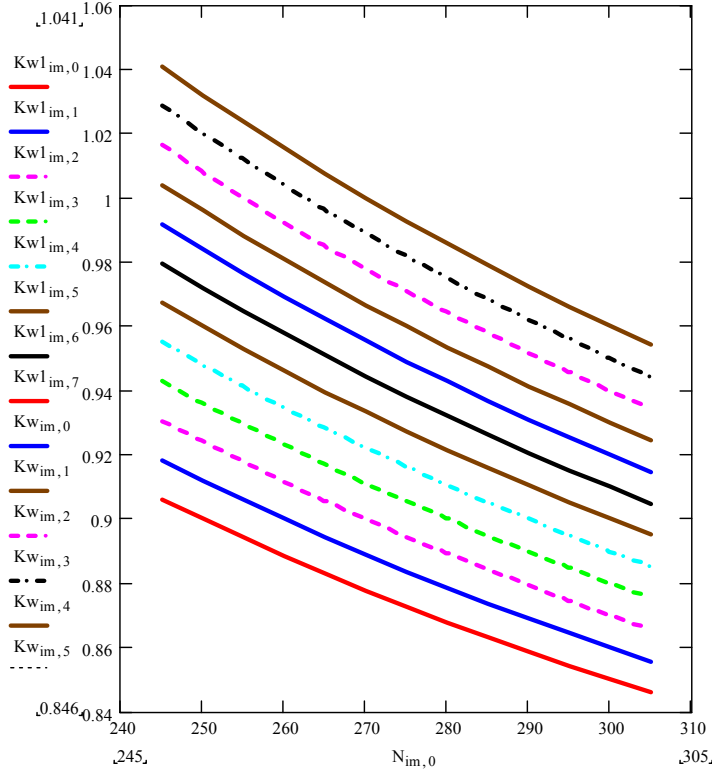


Рис. 1. Графіки відношень обхватів пучків колодки до її розміру для чоловічої статевікової групи (зверху вниз криві відповідають повнотам від дванадцятої до першої)

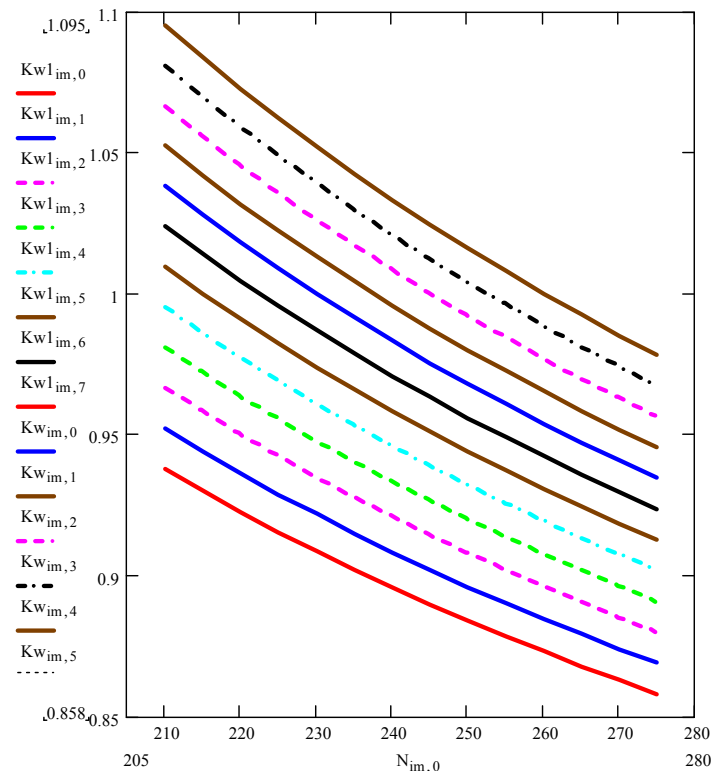


Рис. 2. Графіки співвідношень обхватів пучків колодки та її розміру жіночої статевікової групи (зверху вниз криві відповідають наступним повнотам 12,11,10,9,8,7,6,5,4,3,2,1)

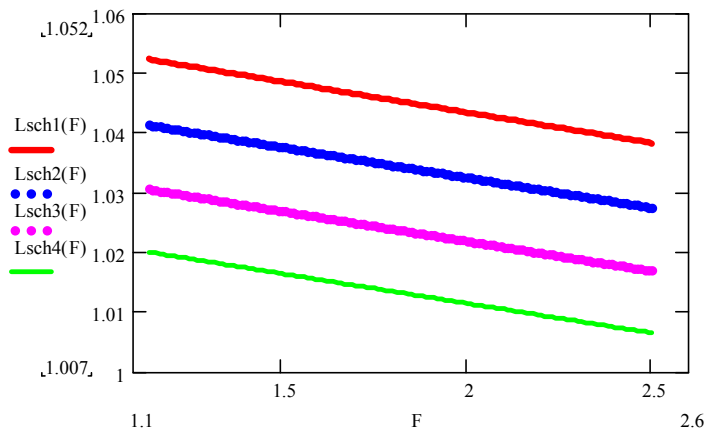


Рис. 3 Графіки значень коефіцієнта K_L для перетинів зовнішньої та внутрішньої шиколоток і відростка п'ятої плесневої кістки залежно від коефіцієнта ε_{III} (зверху вниз відповідно для коефіцієнта $K_T=0,95; 0,96; 0,97; 0,98$)

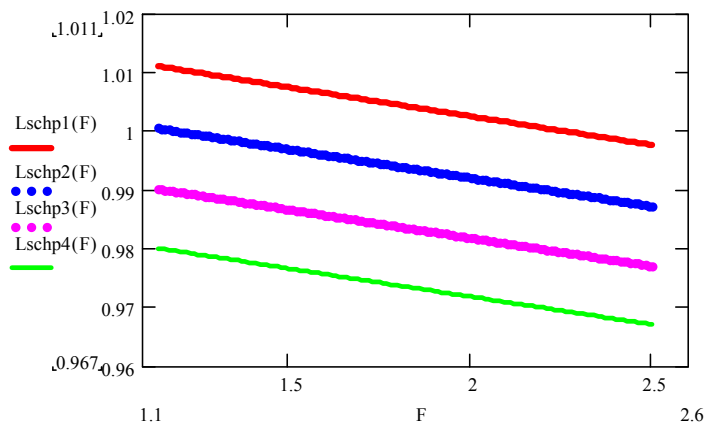


Рис. 4 Графіки значень коефіцієнта K_L для перетинів зовнішнього та внутрішнього пучків залежно від коефіцієнта ε_{III} (зверху вниз відповідно для коефіцієнта $K_T=0,95; 0,96; 0,97; 0,98$)

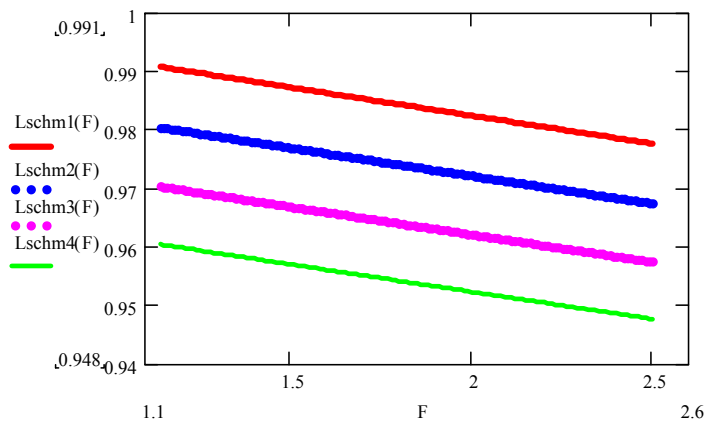


Рис. 5 Графіки значень коефіцієнта K_L для перетину точки кінця мізинця залежно від коефіцієнта ε_{III} (зверху вниз відповідно для коефіцієнта $K_T=0,95; 0,96; 0,97; 0,98$)

Висновки: Запропоноване формування габаритного сліду прототипу як подальший розвиток методики переходу від стопи до колодки проф. В.П. Либи.

Література

1. Бегняк В. І. Основи конструювання і проектування виробів із шкіри: [навч. посібник] / Бегняк В. І. – Хмельницький, 2002. – 260 с.
2. Проблема новых методов проектирования обуви и кожгалантерейных изделий / Татаров С. В., Тулупов О. К., Попова А. Ю., Жукова Л. Т // Дизайн. Материалы. Технология. – 2008. – № 1. – С. 152– 155.
3. Універсальний довідник взуттєвика: навч. посібник / [В. П. Коновал, С. С. Гаркавенко, Л. Т. Свістунова та ін.]. – К.: Лібра, 2005. – 720 с.
4. Замарашкин Н. В. Практикум по проектированию технологической оснастки в производстве обуви: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений, обуч. по спец. "Технология и конструирование

- изделий из кожи" / Н. В. Замарашкин, К. Н. Замарашкин – М.: Легпромбытиздат, 1993. – 112–118.
5. Лыба В. П. Теория и практика проектирования комфортной обуви: дис.... дра. техн. Наук / Лыба В. П. – М., 1996. – 413 с.
6. Коновал В. П. Теоретические и практические основы создания и фиксации формы обуви: дис. ... докт. техн. Наук: 05.19.06 / Коновал В. П. – К.: ГАЛПУ, 1994. – 180 с.
7. Разработка унифицированной внутренней формы и верха детской тренировочной обуви для игровых видов спорта: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.19.06 / Киев. нац. ун-т технологій и дизайна / Н. В. Первая. – К., 2001. – 19 с.
8. Кернеш В. П. Проектування взуттєвих колодок для дітей-старшокласників на основі антропометричних досліджень ступні / В. П. Кернеш, Н. М. Омельченко, В. П. Коновал // Вісник ДАЛПУ. – 2000. – № 1. – С. 29–31.
9. Чертенко Л. П. Розробка комп'ютерної технології проектування внутрішньої форми взуття та деталей низу: дис. ... кан. техн. наук: 05.19.06 / Чертенко Лілія Павлівна. – К.: КНУТД, 2003. – 179 с.
10. Замарашкин К.Н. Новый способ проектирования обувных колодок в САПР обуви / К. Н. Замарашкин, Н. В. Замарашкин // Сб. докладов Международного семинара «Материаловедение, конструирование и технология изделий из кожи и полимеров». – Каунас; Литва: Каунасский Технологический Университет, 2005. – С. 17–27.
11. Кернеш В. П. Проектування колодок для взуття з використанням програми PRO/ ENGINEER / Кернеш В.П., Омельченко Н.М // Вісник КНУТД. – 2008. – № 1. – С. 255-258
12. Чертенко Л. П. Математичне задання контурів внутрішньої форми взуття / Л. П. Чертенко, В. П. Коновал // Вісник КНУТД. – 2002. – № 1. – С. 15–19.
13. Крапивко О. Обувь / Крапивко О. – М.: Аст, Сова, 2006. – 95 с.
14. Надопта Т. А. Моделювання профільних абрисів прототипу взуття з використанням кривих Безье / Т. А. Надопта // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 6,– С. 222–226.
15. Надопта Т. А. Відображення анатомічної будови стопи за допомогою аналітичної моделі / Т. А. Надопта // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010, № 3. – С. 161–166.

Надійшла 20.9.2010 р.

УДК 621.891

О.В. ДИХА

Хмельницький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ЗНОСОКОНТАКТНИХ ПАРАМЕТРІВ СПРЯЖЕННЯ "СІДЛО-ШТОК" ЗАПОБІЖНОГО КЛАПАНА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Представлена розрахункова методика визначення контактної тиску та інтенсивності зношування спряження "сідло-шток" запобіжного клапана енергетичної установки з метою прогнозування довговічності за критерієм зносу та представлена чисельна реалізація представленої методики.

The presented computation method of determination of contact pressure and intensity of wear for interface "saddle" of safety-valve of power plant with the purpose of prognostication of longevity after the criterion of wear and presented numeral realization of presented methods.

Ключові слова: Запобіжний клапан, інтенсивність зношування, контактний тиск, розрахункова оцінка.

Вступ

Імпульсно-запобіжний пристрій (ІЗП) [1] призначений для скидання великих об'ємів парового середовища з парогенераторів і паропроводів високого тиску в аварійних ситуаціях і є елементом системи захисту від перевищення тиску в другому контурі атомних станцій з реакторними установками типу ВВЕР. До складу ІЗП входять головний запобіжний клапан (ГЗК), блок імпульсних клапанів, сполучаюча їх імпульсна лінія і система управління.

Головні запобіжні клапани (рис. 1) є основними компонентами імпульсно-запобіжних пристроїв АЕС. При спрацьовуванні ГЗК пара поступає в підпоршневий простір камери сервопривода, створюючи тиск на днищі рухомого золотника. З огляду на те, що активна площа днища перевищує площу поверхні ущільнювача, виникає робоче зусилля, що діє вгору. Під дією цього зусилля золотник підіймається, долаючи опір пружини 4, і забезпечує, таким чином, пропуск пари через клапан. Після закінчення скидання надлишків пари, через ГПК імпульсний клапан закривається, тим самим припиняється доступ пари в камеру сервопривода. Тиск в камері падає за рахунок виходу пари через дросель. Розмежування надпоршневої і підпоршневої порожнин здійснюється за допомогою металевих поршневих кілець. Посадка штоку 2 на сідло проводиться пружиною. Сигналізація положення штоку здійснюється блоками кінцевих вимикачів у вигляді герметизують контактів (герконів), що спрацьовують від постійного магніта 5, кінематично пов'язаного зі штоком. Клапани розташовуються на трубопроводах у вертикальному положенні. Матеріал корпусу клапана і штоку – сталь 20-Ш.

Причини зношування спряження

Основною причиною зношування контактних поверхонь штоку і сідла клапана є корозійно-втомне зношування під дією агресивного робочого середовища і великих робочих навантажень.

Корозійне розтріскування – це руйнування металу унаслідок виникнення і розвитку тріщин при одночасній дії розтягуючих напружень і корозійного середовища. Воно характеризується майже повною відсутністю пластичної деформації макрооб'ємів металу. Тріщини можуть бути транскристалітними, міжкристалітними і змішаними.

Корозійному руйнуванню в напруженому стані в різному ступені схильні майже всі метали і сплави. Це один з найнебезпечніших видів пошкодження устаткування в хімічній, нафтогазовій, теплоенергетичній і інших галузях промисловості. Корозійне розтріскування сталей може відбуватися в розчинах, що містять сірководень, аміак, діоксид вуглецю, нітрати, хлориди, кислоти і луги, в газоподібному водні, приморській і промисловій атмосфері. Сплави алюмінію з цинком, міддю, марганцем, магнієм схильні корозійному розтріскуванню на повітрі, в розчинах хлориду натрію, морській воді. Магнієві сплави в напруженому стані кородують в розчинах хлоридів, сульфатів, карбонатів, хроматів. Сплави міді з цинком, оловом, алюмінієм руйнуються у присутності пари аміаку.

На схильність металів до корозійного розтріскування істотно впливають технологія виплавки, режим гарту і відпалу, наявність домішок, величина залишкових напружень, технологія зварювання і ін.

Методика розрахунку контактної тиску і зносу

Для визначення зносоконтактних параметрів спряження "сідло-штоки" ГЗК використаємо узагальнену методику розрахунку зносу конічних поверхонь [2-3], адаптовану до конструкції спряження, що розглядається.

Прийmemo наступні закони зношування для кожного з тіл:

$$I_1 = k_2 \sigma^m V, \quad I_2 = k_1 \sigma^m V \quad (1)$$

де I_1, I_2 – інтенсивності зношування; k_1, k_2, m – параметри закону зношування [2]; σ – контактний тиск; V – відносна швидкість ковзання.

В даному випадку знос спряження може характеризуватися одним параметром u_{1-2} – величиною відносного зближення зношених деталей 1 і 2 в напрямку X-X (рис. 2).

Визначимо характер епюри тиску на поверхні тертя при прийнятих закономірностях зношування. Початок координат розмістимо у верхівці конуса, а вісь направимо по твірній.

Швидкість відносного ковзання в даній точці поверхні буде:

$$V = 2\pi r n \cos \alpha,$$

а закономірності зношування (1) набудуть вигляду:

$$\left. \begin{aligned} I_1 &= k_1 \sigma^m 2\pi n \cos \alpha \cdot y \\ I_2 &= k_2 \sigma^m 2\pi n \cos \alpha \cdot y \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Застосування умови нерозривності в контакті дозволяє отримати вираз для інтенсивності зношування спряження:

$$I_{1-2} = \frac{I_1 + I_2}{\cos \alpha} = (k_1 + k_2) 2\pi n \sigma^m y,$$

звідки

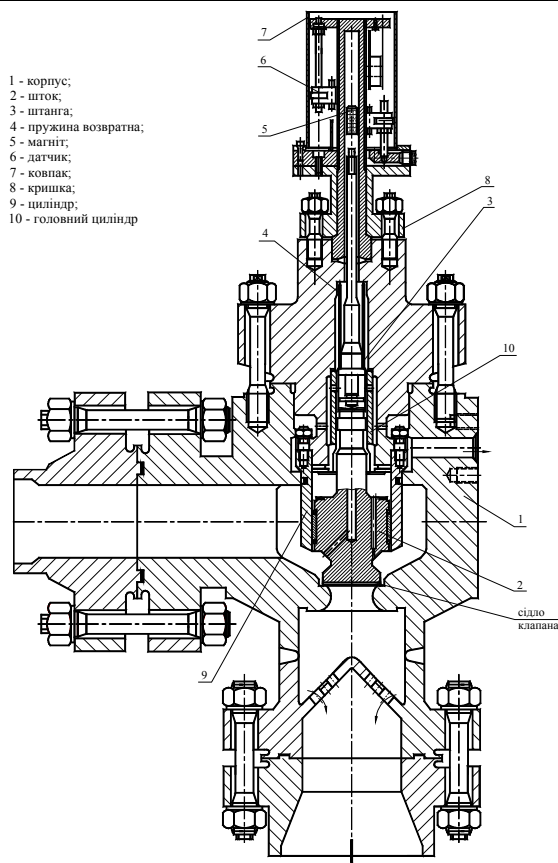


Рис. 1. Конструкція головного запобіжного клапану імпульсного пристрою АЕС

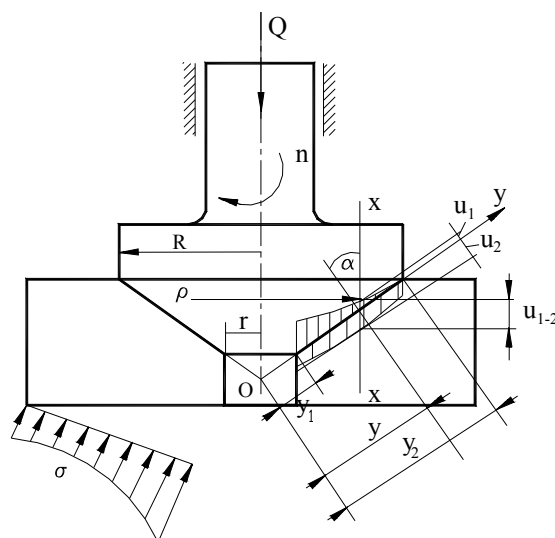


Рис. 2. Розрахункова схема конічного спряження

$$\sigma = \sqrt[m]{\frac{I_{1-2}}{2\pi n(k_1 + k_2)} \frac{1}{y}}. \quad (3)$$

З цієї залежності видно, що тиск залежить від координати y , тобто він нерівномірно розподілений по поверхні тертя та осьовому перерізі має вигляд степеневі гіперболи (рис. 2).

Для визначення значення чисельного значення I_{1-2} використовується залежність між силою Q і тиском σ , розподіленим по поверхні тертя S :

$$Q = \int_S \sigma \cos \alpha ds = 2\pi \int_{y_1}^{y_2} \sigma \cos \alpha \rho dy = 2\pi \cos^2 \alpha \int_{y_1}^{y_2} \sigma y dy.$$

де $y_1 = \frac{r}{\cos \alpha}$, $y_2 = \frac{R}{\cos \alpha}$, $\rho = y \cos \alpha$.

Підставляючи в цю формулу значення σ з рівняння (3), інтегруючи і розв'язуючи рівняння відносно I_{1-2} отримаємо:

$$I_{1-2} = \frac{k_1 + k_2}{\cos \alpha} \left[\frac{\left(2 - \frac{1}{m}\right) Q}{2\pi(R^{2-1/m} - r^{2-1/m})} \right]^m \cdot 2\pi n. \quad (4)$$

Остання формула виражає залежність швидкості зношування спряження від заданих параметрів Q, n, R, r, k_1, k_2 . Значення I_{1-2} постійно для даних умов, а знос спряження $u_{1-2} = I_{1-2} \cdot t$ лінійно змінюється в часі.

Чисельні значення епюри тиску на поверхні тертя можна отримати, якщо у формулу (3) підставити значення формули (4):

$$\sigma = \sqrt[m]{\frac{1}{\cos \alpha \cdot y} \left[\frac{\left(2 - \frac{1}{m}\right) Q}{2\pi(R^{2-1/m} - r^{2-1/m})} \right]}. \quad (5)$$

Величини лінійного зносу u_1 та u_2 в кожній точці поверхні, тобто форма зношеної поверхні може бути визначена підстановкою σ в закони зношування.

$$u_1 = I_{1-2} \frac{k_1 \cos \alpha}{k_1 + k_2} t, \quad u_2 = I_{1-2} \frac{k_2 \cos \alpha}{k_1 + k_2} t, \quad (6)$$

де t – час тертя, який відповідає тривалості контакту спряжених тіл.

Для оцінки зносу дискових поверхонь (рис. 3), як у випадку контакту у спряженні "сідло-шток" ГЗК можна використати отримані вище формули, приймаючи в них $\alpha = 0$, $y = \rho$.

Інтенсивність зношування:

$$I_{1-2} = 2\pi n(k_1 + k_2) \left[\frac{\left(2 - \frac{1}{m}\right) Q}{2\pi(R^{2-1/m} - r^{2-1/m})} \right]^m. \quad (7)$$

Контактний тиск:

$$\sigma = \sqrt[m]{\frac{1}{\rho} \left[\frac{\left(2 - \frac{1}{m}\right) Q}{2\pi(R^{2-1/m} - r^{2-1/m})} \right]}. \quad (8)$$

Величини лінійного зносу u_1 та u_2 поверхні контакту:

$$u_1 = I_{1-2} \frac{k_1}{k_1 + k_2} t, \quad u_2 = I_{1-2} \frac{k_2}{k_1 + k_2} t, \quad (9)$$

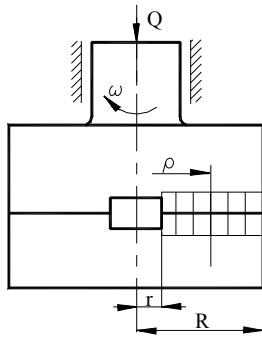


Рис. 3. розрахункова схема дискового спряження

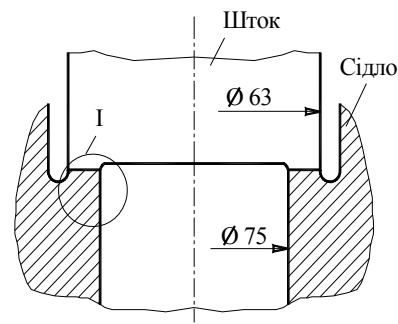


Рис. 4. Спряження "сідло-штоков" ГЗК

Визначення зносоконтактних параметрів спряження "сідло-штоков" ГЗК

Площа контакту між штоком та сідлом клапана (рис. 4):

$$S = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{4} = \frac{\pi \cdot (75^2 - 63^2)}{4} = 1350 \text{ мм}^2.$$

Тиск робочого середовища [1]: $P = 17,9 \text{ МПа} = 17,9 \text{ Н/мм}^2$.

Зовнішнє навантаження на спряження:

$$Q = P \cdot S = 1350 \cdot 17,9 = 23270 \text{ Н}.$$

Значення контактної тиску проводимо за залежністю (8):

$$\sigma = \sqrt[m]{\frac{1}{\rho} \left[\frac{\left(2 - \frac{1}{m}\right) Q}{2\pi(R^{2-1/m} - r^{2-1/m})} \right]} = \sqrt[2,14]{\frac{1}{\rho} \left[\frac{\left(2 - \frac{1}{2,14}\right) 23270}{2 \cdot 3,14 \left(37,5^{2-1/2,14} - 31,5^{2-1/2,14}\right)} \right]} = \sqrt[2,14]{\frac{1}{\rho}} (94,48) \text{ МПа}.$$

Для нашого випадку параметри моделі зношування прийемо з довідника з триботехніки [2] для матеріалів близьких до матеріалів штоку і клапану із сталі 20-Ш:

$$m_1 = m_2 = m = 2,14;$$

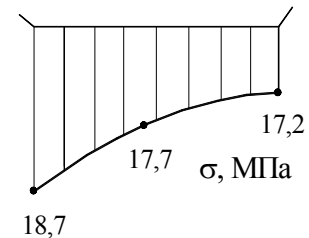
$$k_1 = k_2 = k = 1,14 \cdot 10^{-12} \text{ МПа}^{-2,14}$$

Після підстановки початкових даних отримаємо значення для розрахунку епюри контактної тиску (рис. 5):

$$\sigma(\rho = r) = 18,7 \text{ МПа}$$

$$\sigma(\rho = R) = 17,2 \text{ МПа}$$

$$\sigma(\rho = 35 \text{ мм}) = 17,7 \text{ МПа}.$$



18,7

Розподіл контактної тиску представлений епюрою рис. 5.

Інтенсивність зношування сполучення визначимо по залежності (7):

$$I_{1-2} = 2\pi N(k_1 + k_2) \left[\frac{\left(2 - \frac{1}{m}\right) Q}{2\pi(R^{2-1/m} - r^{2-1/m})} \right]^m = 2 \cdot 3,14 \cdot N(2 \cdot 1,14 \cdot 10^{-12})(94,48)^{2,14} = 2,41 \cdot 10^{-7} N,$$

де N – число відносних частота контактів сідла і штоку (частота спрацювань клапану).

Визначимо, наприклад, величину зносу спряження поверхонь сідла і штоку за 1000 годин роботи при відносній частоті контактів $N = 2$ за допомогою залежностей (9):

$$u_1 = u_2 = 2,41 \cdot 10^{-7} \frac{1,14}{1,14 + 1,14} \cdot 2 \cdot 1000 = 2,41 \cdot 10^{-4} \text{ мм}.$$

Висновки

1. Проаналізовані умови роботи та ідентифікований механізм зношування спряження "сідло-штоков" головного запобіжного клапана імпульсного пристрою АЕС.

2. Представлена адаптована до конкретного спряження методика визначення зносоконтактних параметрів для оцінки довговічності за критерієм зносу. Методика реалізована на конкретному прикладі.

1. Ганчев Б.Г. Ядерные энергетические установки. / Б.Г. Ганчев, Л.Л. Калишевский., Р.С. Демешев. – М.: Энергоатомиздат, 1990–629с.
2. Справочник по триботехнике / под общ. ред. М. Хебды, А. В. Чичинадзе: в 3 т. – Т. 1. Теоретические основы. – М.: Машиностроение, 1989. – 400 с.
3. Проников А. С. Надежность машин / А. С. Проников. – М.: Машиностроение, 1978. – 592 с.

Надійшла 22.9.2010 р.

УДК 677.027.262.21

В.А. ЕВДОКИМОВА, М.Л. КУЛИГИН
Херсонский национальный технический университет

ПОВЫШЕНИЕ ГИДРОФИЛЬНЫХ СВОЙСТВ ХЛОПКОПОЛИЭФИРНОЙ ТКАНИ ПРИ ОДНОСТАДИЙНОМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОМ ПЕРОКСИДНОМ СПОСОБЕ БЕЛЕНИЯ

В статье представлены кинетика и скорость разложения пероксида водорода в присутствии различных стабилизаторов. Показана возможность получения высоких гидрофильных свойств при низкотемпературном одностадийном белении. Представлен характер осадков, образованных различного рода стабилизаторами. Проведен контроль качества подготовки и крашения тканей.

This article deal with the results of the kinetics and the rate of decomposition of hydrogen peroxide in the presence of various stabilizers. The possibility of obtaining high hydrophilic properties at low temperature bleaching is showed. The precipitation patterns formed by various kinds of stabilizers is showed. The control of the quality of treatment and dyeing fabrics is provided.

Ключевые слова: низкотемпературное беление, хлопкополиэфирная ткань.

Постановка проблемы. Динамика производства товаров легкой промышленности в Украине характеризуется как постоянно снижающаяся. Это связано с тем, что Украина не производит хлопок, он импортируется, потому цена на хлопок на украинском рынке выше, чем в странах его производящих. Предприятия, которые занимаются производством материалов из хлопка, по этому факторному условию, уже проигрывают. Кроме того, основной проблемой украинской промышленности остается резкое увеличение поставок импортных товаров на украинские рынки. Как производитель на собственном рынке Украина занимает всего 13 %, в то время как основной рынок захватили Турция и Китай. Отечественным товаропроизводителям просто необходимо непрерывно повышать конкурентоспособность своих товаров за счет минимизации затрат, увеличения выпуска хлопчатобумажных бельевых тканей, расширения выпуска изделий из смеси волокон: натуральных и синтетических [1]. Необходимы новые разработки в области подготовки как природных, так и тканей из синтетических и смешанных волокон.

Из синтетических волокон, в настоящее время, наибольшее значение имеют полиэфирные волокна, так как они наиболее популярный «партнер» для целлюлозы в смесях волокон. Полиэфирные волокна обычно выпускают достаточно белыми, а хлопок, который используется для смесовых тканей, высокого качества механически предварительно очищенный (гребенного прочеса). Наиболее сложным при подготовке таких тканей к крашению и печатанию является придание им гидрофильности, которая может быть получена только за счет целлюлозной составляющей [2].

Анализ последних исследований и публикаций. Традиционные методы беления, рекомендованные для смеси хлопкового с полиэфирным волокном, включают в себя пэд-рольную систему с накатыванием при температуре 80-90 °С и вращением в течение 2 часов, непрерывную высокотемпературную обработку или обработку при 100 °С, или одностадийный окислительный метод. Необходимо иметь ввиду, что полиэфирное волокно недостаточно устойчиво к горячим растворам щелочей и смачивается хуже, чем целлюлозное волокно. Для хлопкополиэфирных тканей, содержащих до 50 % очищенного хлопкового волокна можно рекомендовать одностадийные способы [3]. Известны способы холодного беления хлопкополиэфирных тканей при температуре обработки 20-25 °С в течение 10-24 часов при существенном увеличении концентрации реагентов [2]. Хорошие результаты по белизне и низкой степени повреждения ткани дает холодный способ беления [4] на основе перстабилизатора РW, однако и в этом случае получают недостаточную гидрофильную ткань.

Целью настоящей работы являлось исследование возможности повышения гидрофильных свойств хлопкополиэфирных тканей при низкотемпературном способе беления на основе замены силикатных стабилизаторов пероксида водорода органическим стабилизатором из ряда метилсиликонатов и специально подобранного активатора.

Изложение основного материала. Основными задачами беления является получение высокого эффекта белизны – для выпуска в отбеленном виде и для обеспечения хорошей гидрофильности – для

высокого и равномерного поглощения красителей и аппретов, повышение устойчивости белизны и окрасок к физико-химическим воздействиям. В последнее время сложилась тенденция в пользу создания одностадийных процессов.

Исследования проводили на хлопчатобумажной ткани бязь арт. 9В0407 (производства ВАТ «ХБК», Херсон) и на хлопкополиэфирной ткани «Гретта» арт. 2701 с содержанием хлопка в утке - 53 %, полиэфира в основе - 47 % (производства ЧШК, г. Черкассы), не содержащую шлицту. Суровую ткань пропитывали белящим раствором при температуре 20-25 °С расправленным полотном на двухвальной плюсовке (двойное погружение и двойной отжим) до остаточной влажности 120 %, выдерживали в полиэтиленовом пакете при температуре 35 °С в течение 5 часов (имитация полунепрерывного плюсовочно-накатного способа). Промывали горячей, холодной, кислованной (H₂SO₄ – 2 г/л), холодной водой.

Оптимальный состав белящего раствора на основе силиката натрия, метасиликата натрия и органического стабилизатора определяли на основе применения математического планирования эксперимента - метода дробных реплик. Существующая в настоящее время технология белиния пероксидом водорода при низкой температуре, свидетельствует о предпочтении в качестве стабилизатора силиката натрия, руководствуясь при этом высоким показателем белизны и тем, что силикат натрия дешев, недефицитен и при этом обладает наиболее эффективным стабилизирующим эффектом даже при повышенных температурах и высоких рН. Недостатком является способность образовывать в растворе, на оборудовании и на ткани нерастворимые осадки. Метасиликат в меньшей степени страдает этим недостатком, но по стабилизирующему действию уступает силикату натрия. Кроме того, стоимость его значительно выше. В данной работе в качестве стабилизатора был предложен органический препарат из ряда метилсиликонатов, основное стабилизирующее действие которого основано на способности расщепляться в щелочной среде, в области невысоких температур (30 – 50 °С), с образованием олигомеров силанолятов калия, которые в присутствии ионов металлов образуют соответственно соли силосанов, тем самым снижая концентрацию ионов, способных катализировать разложение пероксида водорода.

Для усиления эффективного действия белящего раствора и для достижения высокого эффекта белизны в ходе одностадийного низкотемпературного пероксидного белиния в данной работе использовали активаторы, характер которых определялся в зависимости от типа стабилизатора. Исследованы, в ходе кинетики разложения пероксида водорода и определения скорости разложения пероксида водорода, и найдены эффективные активаторы для каждой системы, стабилизированной различными стабилизаторами. На рис. 1 представлена кинетика разложения пероксида водорода при холодном белинии хлопковой ткани в течение 5 часов в присутствии различных стабилизаторов и активаторов.

Для оценки эффективности исследуемых стабилизаторов и активаторов произведен расчет констант скорости реакций. Из уравнения 1

$$\lg ([V_0]_1/[V_0]_2) = n \cdot \lg ([A_0]_1/[A_0]_2), \quad (1)$$

где A_0 – концентрация реагента, V_0 – скорость реакции, n – порядок реакции
установлено, что реакция разложения пероксида водорода относится к реакциям 3-го порядка.

Для вычисления константы скорости реакции третьего порядка применяли формулу:

$$K = 1/2\tau (1/C^2 - 1/C_0^2) \cdot c^2 \cdot \tau^{-1}, \quad (2)$$

где C_0 – начальная концентрация, моль/л; C – текущая концентрация, моль/л; τ – время, ч.

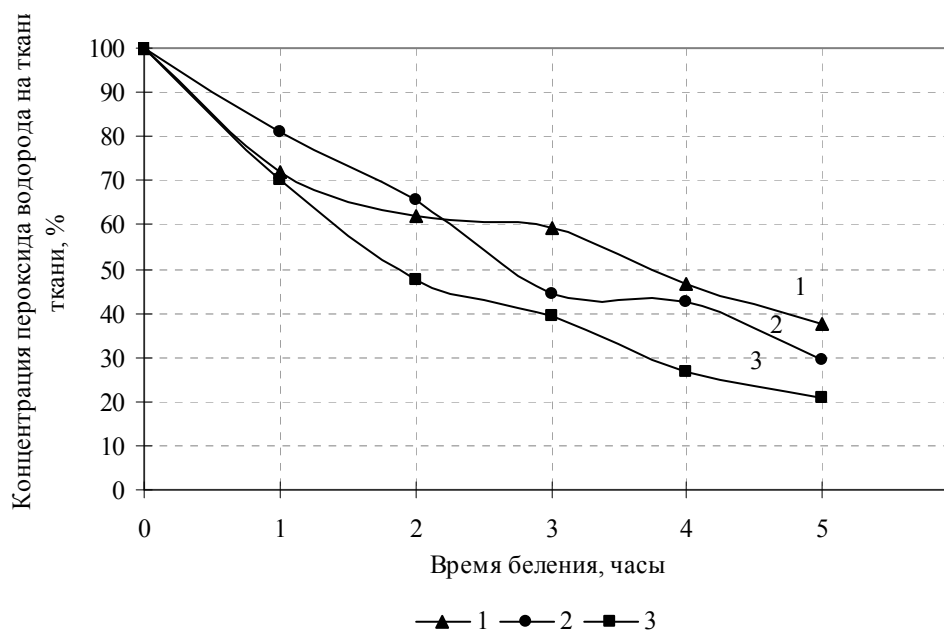


Рис. 1. Кинетика разложения пероксида водорода при низкотемпературном способе белиния:
1 – силикат натрия, 2 – метасиликат натрия, 3 – органический стабилизатор

Анализ кинетических кривых и значения скорости реакции (рис.1) показывает, что наиболее высокий эффект стабилизации наблюдается при использовании силиката натрия. Метасиликат натрия обладает более слабым стабилизирующим действием в сравнении с силикатом натрия, что согласуется с литературными данными [2]. Органический стабилизатор уступает по эффекту стабилизации силикатным стабилизаторам, однако степень белизны 82 %, достигнутая при белинии с органическим стабилизатором, указывает на возможность использования его в качестве эффективного стабилизатора пероксида водорода.

Разработанная композиция для белиния является универсальной, что позволяет использовать ее не только для белиния хлопополиэфирных тканей, но и смесовых, в том числе и для хлопкополиэфирной.

При белинии хлопкополиэфирной ткани было выявлено, что наивысшими значениями капиллярности обладает образец, отбеленный белящим раствором на основе органического стабилизатора. В таблице 1 представлена характеристика отбеленных хлопчатобумажной и хлопкополиэфирной тканей при одностадийном низкотемпературном пероксидном способе в течение 5 часов.

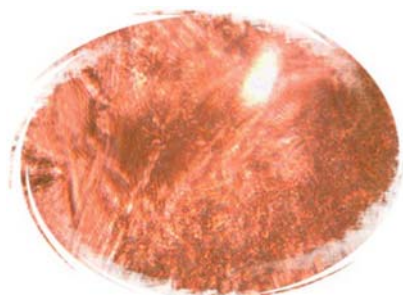
Таблица 1

Показатели качества отбеленной ткани

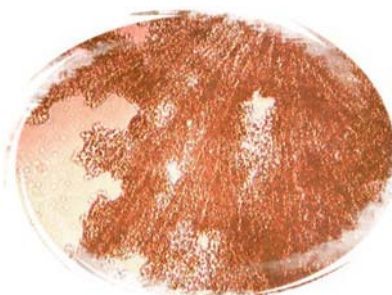
Низкотемпературное пероксидное белиние	Хлопчатобумажная ткань		Хлопкополиэфирная ткань	
	Белизна, %	Капиллярность, мм/ч	Белизна, %	Капиллярность, мм/ч
Силикат натрия	82	59	83	82
Метасиликат натрия	82	65	83	90
Органический стабилизатор	82	69	83	155

Как видно из таблицы значения капиллярности, полученные при конвективной сушке (120⁰С), в случае использования органического стабилизатора выше, чем в случае с силикатными стабилизаторами. Это, по-видимому, связано с тем, что силикатам свойственно образование осадков на оборудовании и на ткани, что из-за их трудной вымываемости может препятствовать получению высокогидрофильных тканей.

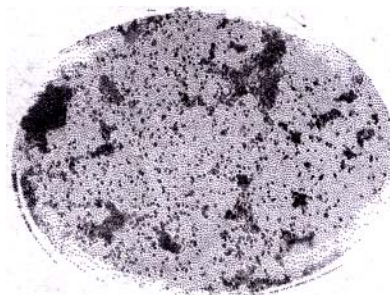
На рис. 2 представлены фотографии осадков, полученных при выдерживании предметного стекла в течение 5 часов в рабочих белящих растворах (с последующей сушкой) с различными стабилизаторами. Фотографии были получены с помощью микроскопа Ломо Микмед 1 с приставкой Scopetek Digital Camera for microscop 1,3 M pixels со специально разработанным программным обеспечением Scopetek Photo для научного анализа захваченного изображения.



Осадок силиката натрия на поверхности предметного стекла после выдерживания в белящем растворе в течение 5 часов



Осадок метасиликата натрия на поверхности предметного стекла после выдерживания в белящем растворе в течение 5 часов



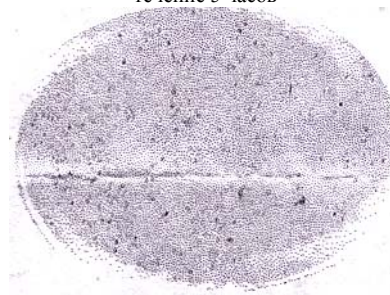
Осадок органического стабилизатора на поверхности предметного стекла после выдерживания в белящем растворе в течение 5 часов



Осадок силиката натрия после растворения в горячем растворе щелочи и эмульгатора после высушивания



Осадок метасиликата натрия после растворения в горячем растворе щелочи и эмульгатора после высушивания



Осадок органического стабилизатора после растворения в горячем растворе щелочи и эмульгатора после высушивания

Рис. 2. Фотографии осадков белящих растворов

Как видно из рис. 2 меньше всего осадка образуется в случае органического стабилизатора, который затем легко удаляется в горячих растворах щелочи и эмульгатора.

Как и для всех плюсовочных способов, при непрерывном крашении тканей из синтетических

волокон большое влияние на конечный результат оказывает предварительная подготовка материала. Вследствие низкой гидрофильности синтетических волокон чрезвычайно важно обеспечить полное удаление из волокон различного рода загрязнений [5]. Для выявления эффективности подготовки хлопкополиэфирной ткани образцы были окрашены по одностадийному непрерывному термофиксационному способу смесями активного красителя Sumifix Supra Yellow и дисперсного Sumicoron Yellow SE-RPD. Состав красильной ванны для среднего тона, г/л: дисперсный краситель – 15, активный краситель – 15, манутекс 3% – 30, мочевины – 20, гидрокарбонат натрия – 10. Пропитка на плюсовке до 60% отжима, подсушка при температуре $t = 80-90$ °C; 110-120 °C; термофиксация при $t = 200-210$ °C - 65 секунд; промывка: холодная вода; теплая, горячая вода – 2 ванны; моющее - 2 г/л, $t = 80-90$ °C; горячая вода $t = 60-70$ °C; холодная вода, сушка.

Колористическая характеристика ткани и устойчивость окрасок представлены в таблице 2.

Таблица 2

Контроль качества окрашенной ткани

Низкотемпературное пероксидное беление	Коэффициент отражения R, %	Интенсивность окраски k/s	Методы испытаний окрашенных материалов (ГОСТ 9733.27-83, 9733.4-83)		
			К стирке	Сухое трение	Мокрое трение
Силикат натрия	6	7,35	5/5/4	5	5
Метасиликат натрия	5,5	8,12	5/5/4	5	5
Органический стабилизатор	5	9,025	5/5/4	5	5

Из таблицы 2 видно, что более интенсивно окрашен образец, подготовленный по одностадийному низкотемпературному пероксидному способу беления в течение 5 часов на основе органического стабилизатора. Образцы, подготовленные по предложенной технологии, характеризуются высокими показателями устойчивости окрасок к мокрым обработкам, сухому и мокрому трению.

Выводы:

1. Установлено, что применение органического стабилизатора, при холодном способе беления хлопчатобумажных и хлопкополиэфирных тканей, позволяет получить высокие показатели белизны, а в случае беления хлопкополиэфирной ткани и высокие показатели гидрофильности.

2. Экспериментально подтвержден характер осадков, образованных белящими растворами в присутствии различных стабилизаторов, что является одной из причин получения низких показателей по капиллярности и смачиваемости тканей после беления.

3. По результатам крашения видно, что более интенсивно окрашен образец, подготовленный по одностадийному низкотемпературному пероксидному способу беления на основе органического стабилизатора.

Литература

1. Обзор ситуации на рынке легкой промышленности Украины/ [материалы периодических СМИ и глобальной сети интернет] //http://www.mtf.com.ua/page/news_w2.htm
2. Сафонов В.В. Облагораживание текстильных материалов/ Валентин Владимирович Сафонов. -М. : Легпромбытиздат, 1991. - 288 с.
3. Кричевский Г.Е. Химическая технология текстильных материалов/ Кричевский Г.Е., Корчагин М.В., Сенахов А.В.– М. : Легпромбытиздат, 1985. - 639 с.
4. Kirner U.//Mellind Textilberichte.-1970.-№9.- S.1089-1094.
5. Г.У. Шмидлин. Подготовка и крашение синтетических волокнистых материалов/ Г.У. Шмидлин.- М.:Гизлегпром, 1963.-339 с.

Надійшла 15.9.2010 р.

ПЕРСПЕКТИВИ ТА НАПРЯМКИ ВИКОРИСТАННЯ АМОΡФНИХ ОБЧИСЛЕНЬ

Стаття присвячена постановці задачі та напрямку досліджень в області аморфних обчислень та визначенню організаційних принципів створення технології програмування для отримання заданої поведінки із співпраці великої кількості ненадійних обчислювальних елементів, які розміщені невідомим і змінним в часі способом. Підвищена значущість аморфних обчислень сьогодні пов'язана з появою нових технологій, які можуть служити основою для систем обробки інформації великої потужності за дуже низьку ціну.

The article is devoted task and direction of researches in the area of amorphous computing and determination of organizational principles of programming technology creation for the receipt of behavior set from the collaboration of plenty of unreliable calculable elements which are placed an unknown and variable in time method. Enhanceable meaningfulness of amorphous calculations is today related to appearance of new technologies which can serve as basis for the systems of treatment of information of high-powered for a very low price.

Ключові слова: аморфні обчислення, аморфний комп'ютер, нанотехнології, паралелізм.

Вступ

У наш час коло завдань, що вимагають для свого вирішення застосування могутніх обчислювальних ресурсів, значно розширилось. У той же час продуктивність комп'ютерів підвищується порівнянно повільно і в основному завдяки збільшенню кількості паралельно функціонуючих обчислювальних елементів на інтегральних мікросхемах. Але вже сьогодні розробники процесорів зіткнулись з проблемою, що сама хімічна структура кремнію не дозволяє ефективно зменшувати розміри транзисторів. Мінімізація інтегральних мікросхем практично себе вичерпала. Виробники комп'ютерних чіпів всі сили кинули на пошук принципово нової технології створення обчислювальних систем. Проривом в цій області стануть нанотехнології.

Аналіз досліджень та публікацій

Нанотехнології дозволять створювати обчислювальні пристрої нового порядку, що здаються на теперішній час фантастичними.

З таких пристроїв можна назвати наступні.

Квантовий комп'ютер. Оснований на властивості квантових частинок одночасно перебувати в різних станах, таке явище іменують квантовим паралелізмом. Квантовий біт (*q-bit*), як і звичайний, має два базових стани — 0 або 1, але він перебуває ще і в стані суперпозиції, тобто частково 0, частково 1. Завдяки невизначеності стану квантового біта, програма ефективно виконується для обох станів, тобто обчислення ведуться паралельно. До того ж, зв'язані між собою квантові біти (двох-, трьох-, і більше бітовий квантовий комп'ютер) також впливають один на одного.

ДНК-комп'ютер (біокомп'ютер) складається з ланцюжків ДНК. Біологічна інформація кодується ферментами аденином, тиміном, цитозином і гуаніном (*A, T, C, G*), що вибудовуються в строго певній послідовності. Ідея ДНК-комп'ютера полягає в представленні двійкового машинного коду за допомогою різних станів цих ферментів.

Аморфний комп'ютер. Хоча наноелектроніка і здається комерційно життєздатною, технічні аналітики сумніваються, що найближчим часом з'являться нанопристрої, схожі по складності з сучасними процесорами, — дуже грубі і недосконалі інструменти для роботи в наносвіті. Найімовірніше, перші нанопроцесори будуть простими, розрахованими на виконання елементарних завдань. Через прийняті допуски і використовувані технології окремий процесор не зможе з необхідною точністю виконати своє завдання, але такий комп'ютер складається з мільйонів або навіть мільярдів дуже малих обчислювачів, сумарні помилки яких при усереднюванні результатів просто зникнуть. Такий комп'ютер зі всіма його нанопроцесорами буде подібний до колонії комах: при знищенні навіть значного числа особин останні продовжать виконувати свою функцію, і колонія виживе. Подібна обчислювальна система вкрай надійна, але її побудова потребує фундаментального перегляду існуючих методик утворення і програмування комп'ютерів.

Виходячи з вищевказаного, аморфні комп'ютери є найперспективнішими та найбільш реальними кандидатами до реалізації з усіх нанокомп'ютерів.

Постановка завдання

Мета і завдання дослідження — висвітлити і уточнити принципи функціонування аморфних комп'ютерів для подальшого вивчення їх властивостей шляхом розробки моделей, алгоритмів функціонування та проведення імітаційного моделювання функціонування аморфних комп'ютерів.

Виклад основного матеріалу.

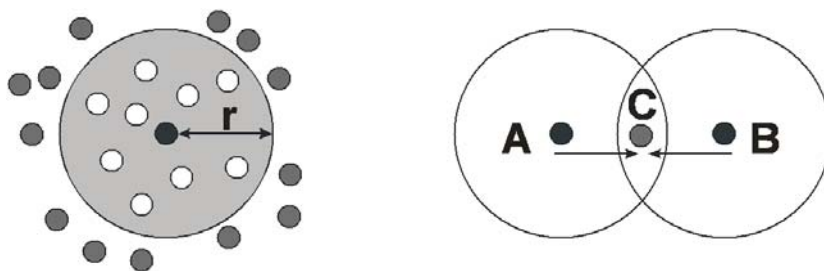
Аморфні обчислення з'явилися як область досліджень в середині 1990-х, на основі трьох чинників:

- розвитку моделей клітинних автоматів для фундаментальної фізики;
- підвищення надійності комп'ютерних систем на основі принципів, характерних для біологічних організмів;
- перспективи отримання майже безкоштовних елементарних процесорів в великих кількостях.

Мета аморфних обчислень полягає в тому, щоб визначити організаційні принципи і створити технології програмування для отримання наперед заданої поведінки із співпраці незліченних ненадійних елементів, які розміщені невідомим і змінним в часі способом. Підвищена значущість аморфних обчислень сьогодні пов'язана з появою нових технологій, які можуть служити основою для систем обробки інформації величезної потужності за дуже низьку ціну, якби тільки можна було б оволодіти методами їх програмування.

Аморфні комп'ютери мають наступні властивості:

1. Окремі процесори ідентичні і виробляються масово. Це дозволяє дешево виготовляти велику кількість процесорів. Кожен процесор повинен мати генератор випадкових чисел, щоб відрізнити себе від інших.
 2. Процесори не володіють ніякою початковою інформацією про своє розташування, орієнтацію в просторі чи про особливості своїх сусідів. Процесори повинні самі виявляти своє розташування і позицію.
 3. Процесори працюють асинхронно і мають однакову тактову частоту. Аморфний комп'ютер не припускає синхронізацію процесорів, тому що може бути важко чи неефективно забезпечувати синхронізацію в певних фізичних середовищах.
 4. Всі процесори запрограмовані однаково, хоча в кожного елементу є засоби для того, щоб зберігати поточний стан і генерувати випадкові числа. Можуть також бути особливі елементи, які були встановлені в специфічний стан.
 5. Процесори розміщені щільно, але випадково. Випадкове розміщення рівномірне.
 6. Процесори ненадійні. Для того, щоб виготовляти велику кількість процесорів дешево, неможливо тестувати кожен окремий процесор. Таким чином певна кількість процесорів неминуче не буде працювати. Безвідмовність досягається через надмірність.
 7. Процесори зв'язуються тільки локально і не мають постійного зв'язку. Процесори повинні зв'язуватися з фізично близькими сусідами через локальний механізм передачі повідомлень, хоча конкретний механізм залежить від основи, на якій розміщені процесори. Радіус зв'язку передбачається набагато меншим, ніж весь простір зайнятий аморфним комп'ютером.
 8. Комунікація передбачається ненадійною, і у відправника немає ніякої гарантії, що повідомлення буде отримане. У електронному аморфному комп'ютері елементи могли б спілкуватися за допомогою радіохвиль короткої дії, тоді як біоінженерні клітини могли б спілкуватися за допомогою хімічних сигналів.
 9. Кожен елемент має невелику обчислювальну потужність і невеликий об'єм пам'яті. Елементи можуть містити датчики і пересувні механізми і в деяких випадках можуть бути повністю мобільними.
- Введемо наступні додаткові обмеження щодо фізичних характеристик аморфного комп'ютера.
1. Аморфний комп'ютер існує на плоскій двовимірній поверхні. Це припущення зроблене для спрощення аналізу.
 2. Модель зв'язку припускає, що всі процесори мають обмежений радіус передачі інформації приблизно одного й того ж самого встановленого розміру, і спільно використовують єдиний канал. В результаті можуть відбуватися колізії, коли два процесори, області передачі інформації яких перекриваються, посилають повідомлення одночасно. Одержувач може виявити колізію, а відправник – ні.
- Фізичні характеристики аморфного комп'ютера проілюстровані на рис. 1.



r = радіус зв'язку

Якщо A і B розповсюджують повідомлення в один і той же час, C виявить колізію

Рис. 1. Модель зв'язків

Припускається, що число елементів може бути дуже великим (порядку 10^6 – 10^{12}). Алгоритми розроблені для аморфних комп'ютерів мають бути відносно незалежними від числа частинок, продуктивність повинна погіршуватись плавно із зменшенням кількості частинок. Таким чином, весь аморфний комп'ютер може бути розцінений як обчислювальна система з масовим паралелізмом і попередні дослідження в обчисленнях з масовим паралелізмом, таких як дослідження клітинних автоматів, є одним з джерел ідей для розвитку аморфних комп'ютерів. Аморфні обчислення відрізняються від досліджень в клітинних автоматах, тому що аморфні механізми мають бути незалежними від конфігурації, ненадійними і асинхронними.

Одна з відомих методик для програмування аморфних комп'ютерів використовує принцип дифузії. Деякий елемент (обраний деяким випадковим чином) розповсюджує повідомлення. Це повідомлення, отримане кожним з її сусідів, роздається їхнім сусідам, і так далі для утворення хвилі, яка розповсюджується

по всій системі. Повідомлення має лічильник і кожна частинка зберігає його значення і збільшує його перед передачею. Як тільки елемент зберіг своє значення лічильника, він припиняє передавати повідомлення і ігнорує наступні повідомлення. Така хвиля дає кожному елементу оцінку про відстань від джерела. Вона може також утворювати регіони керованого розміру, передаючи повідомлення тільки тоді, коли значення лічильника вище заданого порогу.

Дві такі лічильні хвилі можуть бути об'єднані, щоб визначити ланцюжок частинок між двома заданими елементами.

Ці два алгоритма базуються на хімічній градієнтній дифузії, яка є важливим механізмом в біології.

Однак аморфні обчислення ще недостатньо розвинуті і потребують розробки як ефективних алгоритмів, так і систематизації принципів їх розробки.

Щодо фізичної реалізації власне аморфних процесорів, то дослідники спочатку уявляли елементи "розумного пилу" достатньо малими, щоб переноситись повітряними потоками і які б формували хмари сенсорних частинок, здатних обмінюватись інформацією.

Однак першим кроком до реалізації аморфних комп'ютерів стала технологія мікромеханічного виготовлення електронних компонентів, яка була розроблена в минулому десятилітті. Вона інтегрує логічні канали, мікродатчики, виконавчі механізми і зв'язки на однокристальній схемі. Ці компоненти можуть бути виготовлені надзвичайно дешево, не всі чіпи повинні працювати коректно і немає ніякої потреби упорядкувати ці чіпи в точні геометричні форми або встановлювати точні з'єднання між ними.

Такі системи все ще важко реалізувати, але мережі між частинками міліметрового масштабу тепер комерційно доступні для засобів контролю над середовищем. З достатньо низькими виробничими витратами можна було б змішати такі частинки в об'ємні матеріали, щоб сформувати покриття, таке як "розумна фарба", яка може зчитувати дані і повідомляти про свої дії зовнішньому світу. Стіни покриті "розумною фарбою" можуть відчувати вібрації, контролювати приміщення від зловмисників або зменшувати шум. Мости або будівлі, покриті "розумною фарбою", могли б повідомляти про транспортний рух і силу вітру, контролювати структурну цілісність. Якщо частинки можуть переміщатися, то тоді "фарба" могла б навіть усувати маленькі тріщини, зсуваючи матеріал навколо.

Інша технологія, яка мотивує дослідження аморфних обчислень, є мікробіологія. Біологічні організми часто служили аналогами з перших днів розвитку обчислювальних механізмів, але тільки в минулому десятилітті біологія стає основою для обчислень, завдяки можливості побудови цифрових логічних ланцюгів в межах окремих живих клітин. У даній технології логічні сигнали представлені не електричною напругою і електричними струмами, а концентраціями білків ДНК, а логічні елементи реалізовані як зв'язуючі ділянки, де білки взаємодіють через заохочення і репресію. Припустимо, що А і В – білки, концентрації яких представляють логічні рівні, таким чином інвертор може бути представлений в ДНК як генетичний модуль, в якому А служить як репресор який блокує вироблення В. Оскільки клітини можуть розмножуватися і отримувати енергію з середовища, процесори, могли б бути виготовлені масово по дуже низькій ціні.

Будь-яка з цих технологій – мікротоворення частинок або мікробіологія – забезпечують шлях до дешевого виготовлення великої кількості обчислювальних елементів. Але використання таких технологій для обчислень дещо відрізняється від сучасних стандартів, в основному через неструктурованість обчислювальних елементів. Цифрові комп'ютери завжди створювалися з точних надійних елементів, і майже всі методики для організації обчислень залежать від цієї точності і надійності.

Висновки

Таким чином в статті висвітлені властивості і уточнені принципи функціонування аморфних комп'ютерів шляхом введення обмежень. Важливість аморфних обчислень обумовлюється появою нових технологій, які можуть дають основу для систем обробки інформації величезної потужності за дуже низьку ціну.

На основі аналізу принципів аморфних обчислень необхідно розробити методи програмування, які не вимагають точного контролю над взаємодією або розташуванням окремих обчислювальних елементів і розробити на основі цих методів нові алгоритми та, можливо, мови програмування. Так як фізична реалізація аморфних комп'ютерів поки що далека від досконалості, то необхідна система для моделювання функціонування аморфних комп'ютерів, яка б функціонувала за вищенаведеними властивостями.

Цим питанням і будуть присвячені наступні дослідження з даної тематики.

Література

1. Латкин Е. И. SCAM: химический компьютер / Е. И. Латкин // Теория вычислений и языки спецификаций. – Новосибирск, 1995. – Вып. 152: Вычислительные системы. – С. 140–151.
2. Валиев К. А. Квантовая информатика: компьютеры, связь и криптография / К. В. Валиев // Вестник российской академии наук. – 2000. – Том 70. – № 8. – С. 688–695.
3. Coore D., Nagpal R., Weiss R. Paradigms for Structure in an Amorphous Computer. MIT Artificial Intelligence Laboratory memo no.1614, 1997.
4. Abelson H., Allen D., Coore D. Amorphous computing. Communications of the ACM, 43, May 2000.

Надійшла 15.9.2010 р.

**ВПЛИВ ХАРАКТЕРИСТИК КАДРОВОГО СКЛАДУ
ВАТ «БУДІВЕЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ХМЕЛЬНИЦЬКОЇ
АТОМНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ» НА ВАЖКІСТЬ ТРАВМАТИЗМУ**

Проаналізовано вплив на важкість травмування віку, стажу роботи та кваліфікації працівників ВАТ «Будівельне управління Хмельницької атомної електростанції».

The effect on severity of injuries of personnel age, practical experience and skill level of public corporation Budivselne Upravlinnya of Khmelnytskyi atomic power station is analyzed.

Ключові слова: травматизм, будівництво, зниження травматизму

Вступ

Перехід до ринкових економічних відносин, демократизація суспільства вимагають корінного покращення умов праці, охорони життя і здоров'я людей у всіх галузях народного господарства України.

Реформування економіки України стало причиною змін в організації діяльності усіх галузей, включаючи будівельну. З'являються нові технології, впроваджуються нові виробничі процеси та матеріали. Особливо зросло значення людського чинника в складних ергатичних системах, які діють у тому числі у будівництві.

Виконання будівельних робіт вимагає від керівників об'єктів, служби охорони праці, центральних органів управління галузі, інженерно-технічних працівників, трудових колективів і профспілок підприємств великого напруження, моральних, фізичних, духовних сил і в першу чергу — знань з техніки безпеки.

Сучасне будівництво характеризується досить складними виробничими умовами. Постійно ускладнюються технологічні процеси, в які втягується все більша кількість машин та механізмів. Обсяги робіт будівельних підприємств і організацій до настання кризи невпинно зростали. Збільшується роль емоційного фактора та нервового напруження. Усі ці та інші чинники приводять до того, що на підприємствах постійно спостерігаються випадки травмування працівників і існує об'єктивна необхідність їх постійного аналізу з метою вироблення заходів спрямованих на зменшення та попередження травмування працівників.

Виробничий травматизм, як наслідок нещасних випадків, уже давно став проблемою в усій Україні [1-3]. Ріст будівництва в останні роки, які передували сьгоднішній кризі, викликає необхідність підвищення технічного рівня виробництва, поліпшення умов роботи, вирішення питань безпеки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Як правило, при аналізі нещасних випадків вказують на наступні 3 основні групи причин виробничого травматизму:

- організаційні – погана організація робіт на будівельному майданчику, недостатня навченість робітників, відсутність необхідного нагляду за веденням робіт, порушення технології виробництва, порушення режиму праці й відпочинку, використання робітників не за фахом;
- технічні – несправний стан обладнання, пристроїв і інструмента, а також конструктивні недоліки машин, механізмів, вантажозахватних засобів, будівельних конструкцій і устаткування ;
- психофізіологічні – недостатня увага при виконанні роботи, ослаблення контролю робітників за власною діяльністю тощо.

При чому більшість нещасних випадків відбувається в силу організаційних причин, які можна усунути силами самих організацій. Це недостатній технічний нагляд з боку інженерно-технічних працівників, погана навченість працівників безпечним методом виконання робіт, низький рівень виробничої й трудової дисципліни.

Постановка задачі

Певним чином на травматизм впливають також якісні характеристики персоналу підприємства: освіта, стать, кваліфікація працівника, стаж його роботи за даною спеціальністю, вік тощо. Мета даної роботи полягає у дослідженні впливу вказаних вище характеристик на важкість травмування на основі даних про травмування працівників ВАТ «Будівельне управління Хмельницької атомної станції». Дане підприємство має не тільки будівельні підрозділи, але й свою виробничу базу: акредитовану будівельну лабораторію, бетонно-розчиновий завод, столярний цех, арматурну майстерню, цех нестандартного обладнання, цех металопластикових вікон, полігон збірного залізобетону, кранове господарство, автотранспортний парк та інші. Протягом 2003-2009 років на підприємстві було зареєстровано 49 нещасних випадків, пов'язаних з виробництвом (рис. 1).

Викладка дослідження

Більш детальна інформація щодо цих нещасних випадків представлена у табл. 1. Кожний її рядок містить інформацію (спостереження) про окремий нещасний випадок. У якості факторів травмування працівників розглядалися: x_1 – вік працівника у роках; x_2 – стаж роботи працівника у роках за

спеціальністю; x_3 – рівень кваліфікації працівника у балах. Рівень кваліфікації працівника визначався за його розрядом згідно тарифно-кваліфікаційної сітки. Була прийнята наступна шкала оцінювання. Рівень кваліфікації робітників з тарифно-кваліфікаційними розрядами 1 та 2 оцінювався в 1 бал, з розрядами 3 та 4 – у 2 бали, з розрядами 5 та 6 – у 3 бали. Стаж роботи працівника визначався тривалістю його роботи безпосередньо на даному підприємстві. У якості відгуку y виступала кількість днів перебування працівника на лікарняному.

Здійснюваний в цій роботі регресійний аналіз даних з травматизму мав на меті отримання об'єктивно існуючої аналітичної залежності, яка б пов'язувала вказані змінні (фактори) з відгуком.

Як правило, вид рівняння регресії задається або на основі певних математичних, фізичних або професійних міркувань. У порядку альтернативи був прийнятий шлях, який полягав у знаходженні для даної таблиці декількох варіантів рівнянь регресії та порівнянні їх за точністю відтворення табличного значення відгуку.

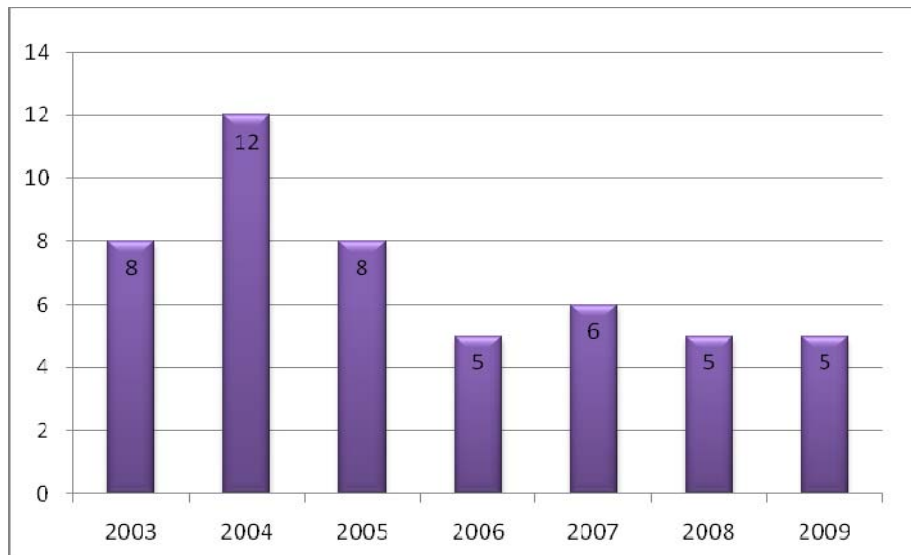


Рис. 1. Розподіл по роках кількості нещасних випадків, пов'язаних з виробництвом які сталися у ВАТ УБ ХАЕС

Практика обробки даних показує [4], що результати спостережень (експериментів) з достатнім наближенням відображаються повним кубічним поліномом. Часто третій ступінь полінома не тільки достатній, але й надлишковий, тобто кількість членів полінома можна зменшити без істотної втрати точності. З урахуванням цього були здійснені спроби апроксимувати дані спостережень трьома видами залежностей: лінійною, степеневою та квадратичною.

На першому етапі здійснювалось знаходження сукупності коефіцієнтів рівнянь регресії b_i , тобто власне отримання рівнянь регресії. Після отримання рівнянь оцінювалась їх адекватність функції істинного відгуку, тобто, точність, з якою рівняння регресії відображають таблицю спостережуваних даних.

Розрахунок проводився за допомогою програми апроксимації і регресивного аналізу одно- і багатофакторних даних «Регрессия 2.3», розробленої науково-виробничим підприємством «ЕНЕК Group» при Краснояльському державному технічному університеті.

Для оцінки адекватності отриманих функцій для кожної з функцій визначався вибіркового множинний коефіцієнт кореляції, який при апроксимації табличних даних лінійною залежністю дорівнював 0,51, степеневою – 0,43, квадратичною – 0,74.

Таким чином найбільш точно таблиця спостережуваних даних відображається квадратичним рівнянням регресії, яке може бути записане наступним чином:

$$y = 27,87 - 0,0272 \cdot x_1 - 0,5153 \cdot x_2 - 3,364x_3 + 0,0002 \cdot x_1^2 + 0,0003 \cdot x_2^2 + 0,0093 \cdot x_3^2.$$

Перевірка значимості вибіркового множинного коефіцієнта кореляції при рівні значимості 0,01 показала, що він значимий. Таким чином, зв'язок між результативною ознакою (кількістю днів перебування хворих на лікарняному) та сукупністю факторних ознак, які включені в регресійну модель, сильна.

Аналізуючи отриману аналітичну залежність, можна відмітити наступне. Чинниками, які найбільш вагомо впливають на важкість травмування, є стаж роботи працівника та рівень його кваліфікації. Це слід обов'язково враховувати в роботі по зниженню травматизму на підприємстві. Вік працівника впливає на важкість травмування в набагато меншій мірі. Максимальна тривалість перебування на лікарняному приходить на працівників віком 20-30 років. Це вік, коли фахівець ще не сформувався, тільки набуває певного практичного досвіду роботи і разом з цим допускає помилки, необережні дії. Працівники цієї вікової групи вимагають особливої уваги з боку керівництва в плані навчання безпечним методам роботи та дотримання правил техніки безпеки при виконанні робіт. Працівники у віці 30-40, 40-50 років – вже сформовані фахівці своєї справи. Відсоток травм в цієї групи менший. У людей цього віку, очевидно,

з'являється інтуїція та обережність. Інформація про оточуючу обстановку переробляється ними добре, завдяки великому досвіду роботи. Вони знають свою справу, і це націлює їх на виконання виробничих завдань. Працівники у віці 50-60 років - це люди передпенсійного віку. У них ослаблений слух і зір, уповільнене орієнтування, погана координація руху, погана пам'ять. Люди цього віку стають більш обережними, тому травматизм цієї вікової категорії малий. Головні особливості цієї вікової групи - повна відсутність поспіху, люб'язність, максимальне віддалення від явно небезпечних зон.

Таблиця 1

Результати спостереження

№ рядка (№ нещасного випадку)	x_1	x_2	x_3	y	№ рядка (№ нещасного випадку)	x_1	x_2	x_3	y
1	59	25	3	7	26	24	0,1	1	21
2	36	13	3	14	27	34	9	2	14
3	41	12	2	14	28	34	9	2	14
4	23	5	1	21	29	31	15	3	7
5	43	16	2	12	30	38	18	2	10
6	41	13	3	5	31	19	0,2	1	24
7	32	13	2	14	32	20	3	2	21
8	36	3	2	16	33	45	6	3	14
9	33	2	2	15	34	22	0,8	2	28
10	44	17	2	10	35	39	5	2	14
11	22	0,7	1	21	36	40	22	2	9
12	23	4	1	14	37	28	12	2	14
13	20	0,3	1	28	38	24	6	1	28
14	37	1	21	39	39	39	13	3	7
15	33	8	2	14	40	25	1	2	30
16	32	12	2	14	41	38	9	2	15
17	41	17	2	10	42	34	9	2	14
18	43	19	2	10	43	42	10	3	10
19	24	4	1	21	44	40	10	3	14
20	34	5	2	14	45	39	9	2	21
21	46	20	2	10	46	21	3	2	21
22	38	8	2	14	47	41	15	2	14
23	32	6	1	10	48	43	12	2	20
24	48	20	2	7	49	46	10	1	30
25	39	6	2	17					

Оскільки попередження та прогнозування виробничого травматизму було й залишається важливим та актуальним завданням сьогодення, то застосування різноманітних ефективних методів аналізу нещасних випадків в доповнення до традиційних методик дозволяє обґрунтувати нові підходи до його розв'язання. Як встановлено в ході проведених досліджень, певних результатів у зниженні важкості травматизму можна досягти впливаючи на такі характеристики кадрового складу підприємства як рівень кваліфікації працівників, та стаж їх роботи за обраною спеціальністю.

Висновки

Показано, що в умовах між тяжкістю травматизму та такими чинниками, які характеризують кадровий склад, як рівень кваліфікації, стаж роботи на підприємстві та вік існує сильний кореляційний зв'язок, а відповідно кореляційна функція має вигляд трифакторної квадратичної залежності.

Література

1. Петрашук С. О. оцінка рівня травматизму в регіонах України / с. о. Петрашук, а. а. нестер // вісник хмельницького національного університету. технічні науки. - 2006. - № 4. - С. 232-235.
2. Матішин М. В. Побутовий травматизм України в 1995-2000 рр. / М. В. Матішин, О. В. Снозик, А. А. Нестер // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2002. - № 4, Ч. 3 - С. 124-126.
3. Мітюк Л. О. Травматизм під час використання газу у побуті (на прикладі Славутської філії ВАТ «Хмельницькгаз») / Л. О. Мітюк, А. А. Нестер // Інформаційний бюлетень з охорони праці Національного науково-дослідного інституту промислової безпеки та охорони праці. – 2009. - № 3. - С. 36-43.
4. Шашков В. Б. Прикладной регрессионный анализ. Многофакторная регрессия / В. Б. Шашков. – Оренбург: ВПО ОГУ, 2003. – 363 с.

Надійшла 19.9.2010 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 № 2 від 22.09.2010 р.

Підп. до друку 23.09.2010 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