

Науковий журнал

2.2011

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки

Хмельницький 2011

ВІСНИК ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

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

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2011, № 2 (174)

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 Брожено В. О.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 10 від 30.03.2011**

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

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

web: <http://visniktup.narod.ru>
<http://vestnik.ho.com.ua>
http://library.tup.km.ua/visnyk_tup.htm

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 9722 від 29 березня 2005 року (перереєстровано)
Бюлетень ВАК №2, 2006

© Хмельницький національний університет, 2011
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2011

ЗМІСТ

О.П. ГРИГОРЕНКО

ДОКТОР ТЕХНІЧНИХ НАУК, ПРОФЕСОР Р.І. СІПІН – ВИДАТНИЙ ОРГАНІЗАТОР
ВИЩОЇ ШКОЛИ І РОЗВИТКУ НАУКИ

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

Р.В. СОРОКАТИЙ, М.О. ДИХА, В.Г. ПИСАРЕНКО

МОДЕЛЮВАННЯ НАКОПИЧЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ПОВЕРХНІ ВНАСЛІДОК ЗНОШУВАННЯ

М.А. ФАРАДЖАЛЛАХ, В.Е. ПАНАРИН, С.С. БЫСЬ

ПРОБЛЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЫШЕНИИ КАЧЕСТВА
ДЕТОНАЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

В.С. ПАВЛОВ

ГРАНИЧНІ НАПРУЖЕННЯ ПРИ ЗГІНІ

Б.Ф. ППА, М.М. РУБАНКА

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ ВАЛІВ НЕРЕВЕРСИВНИХ ВУЗЛІВ ТА
МЕХАНІЗМІВ МАШИН

Ю.Б. МИХАЙЛОВСЬКИЙ, В.В. ЗАЯЦЬ

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ІМРАСТ ДЛЯ НЕЛІНІЙНОГО ДИНАМІЧНОГО АНАЛІЗУ
МЕТОДОМ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ У
РОТОРНИХ ДИСКОВИХ ПОДРІБНЮВАЧАХ

В.В. АМБАРЦУМОВ, П.С. МАЙДАН, Г.М. ДРАПАК

ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ СИЛОВОЇ ФІКСАЦІЇ ПАКЕТУ ДЕТАЛЕЙ ПЕРЕД ЇХ СКРІПЛЕННЯМ У
ЗАГОТОВКУ

Б.Ф. ППА, В.П. МІСЯЦЬ

ЗНИЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ У ГОЛЦІ В'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ

Б.Ф. ППА, В.В. ЧАБАН, Г.І. ПАВЛЕНКО

ЗНИЖЕННЯ НАВАНТАЖЕНЬ ОПОРИ ГОЛКОВОГО ЦИЛІНДРА КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ

П.Г. КАПУСТЕНСЬКИЙ, Е.А. МАНЗЮК

РОЗРАХУНОК МЕХАНІЗМА СЕКТОРАЛЬНОГО ЗУБЧАТОГО ПРИСКОРЮВАЧА ШВЕЙНОЇ МАШИНИ

В.В. СТРЕЛЬБИЦКИЙ

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ВИБРАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ИЗНОС РЕЗИНОВЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ОПОР

Н.П. БАДЬОРА, І.В. КОЦ, В.В. ПЕТРУСЬ

ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ
ПРОСОЧУВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ З ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПРИВОДОМ

В.Т. КОНДРАТОВ

ТЕОРИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ: ОСОБЕННОСТИ T-МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОЙ
НЕЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ

В.В. РОМАНЮК

РЕГУЛЯРНА ОПТИМАЛЬНА СТРАТЕГІЯ ПРОЕКТУВАЛЬНИКА У КЛАСИЧНІЙ КОНСТРУКЦІЇ З ЧОТИРМА
ОПОРАМИ, НА ЯКІ ДІЮТЬ ЧАСТКОВО НЕВИЗНАЧЕНІ СТИСКАЮЧІ ЗУСИЛЛЯ

С.В. ПЕТЕГЕРИЧ, Т.В. ІВАНШЕНА, М.П. БЕРЕЗНЕНКО

ХІМІЧНІ МЕТОДИ НАДАННЯ ФОРМОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЯМ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ ЗІ ШТУЧНОЇ ШКІРИ

Д.Л. КОБЕЦЬ

СУТНІСТЬ ПРОЦЕСІВ ПРАЦІ ДЛЯ СКЛАДАЛЬНИХ РОБІТ ЗА УМОВ ЇХ АВТОМАТИЗОВАНОГО
ПРОЕКТУВАННЯ І НОРМУВАННЯ

ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

А.Л. СЛАВІНСЬКА

МЕТОДОЛОГІЯ ТИПІЗАЦІЇ ЛЕКАЛ ДЕТАЛЕЙ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ

А.Л. СЛАВІНСЬКА, Т.О. БЕРЕЗЮК

ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ УМОВ ЗБАЛАНСОВАНOSTІ СИЛУЕТНИХ ЛІНІЙ ЧОЛОВІЧОГО ПІДЖАКА

В.О. ПРИВАЛА, А.А. МИЧКО

ОБГРУНТУВАННЯ ЗОН РОЗТАШУВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ВОДО- І ВІПРОЗАХИСНИХ ПРОКЛАДОК У ВЕРХНЬОМУ ОДЯЗІ

Г.С. ОЛІЙНИК

ДЕКОРАТИВНО-МЕБЛЕВІ ТКАНИНИ: ФОРМУВАННЯ АСОТИМЕНТУ

Т.А. НАДОПТА, Ю.В. ПУХАЛЬСЬКА

ХАРАКТЕРНІ КРИВІ ПРОФІЛЬНОГО АБРИСУ ПРОТОТИПУ ВЗУТТЯ

К.О. ПРИСЯЖНА, І.А. МАНДЗЮК, О.Г. МУЧАК, Т.В. ІВАНШЕНА

ДОСЛІДЖЕННЯ СТУПЕНЮ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВЗУТТЯ

І.Т. СОЛТИК, А.Б. ДОМБРОВСЬКИЙ

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ПАРПРОНИКНОСТІ МАТЕРІАЛІВ ВЕРХУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВЗУТТЯ ПРАЦІВНИКАМ МОЛОЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Г.А. ТІХОSOVA, Т.М. ГОЛОВЕНКО, О.В. КНЯЗЄВ

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ТРЕСТИ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО

Г.В. САВЧЕНКО, Б. М. ЗЛОТЕНКО, А.А. ГОРБАЧОВ

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОАКТИВОВАНОЇ ВОДИ НА ТЕРМОСТАБІЛЬНІСТЬ ДЕРМИ КРОЛЯ

Є.О. КОРОЛЕНКО

ВПЛИВ ДОДАТКОВОЇ ОБРОБКИ ПЕНЬКОВОГО ВОЛОКНА НА ЙОГО ЯКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Л.С. СТЕПАНОВА, І.А ПІГОЛЬ

ДЛЯ ДЕНАТУРУЮЧОГО АГЕНТУ НА ПРОТЕОЛІТИЧНУ АКТИВНІСТЬ

Т.С. ЯРОШЕВИЧ

СУЧАСНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ КАРТОПЛЯНОЇ ХВОРОБИ ХЛІБА ТА ЗАСОБИ ЗАПОБІГАННЯ ЇЇ РОЗПОВСЮДЖЕННЮ

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

О.А. РЕМІННИЙ

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ КРУГОВИХ БІНАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ ДЛЯ ПОШУКУ ЕЛЕМЕНТІВ В БАЗАХ ДАНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

І.З. ЯКИМЕНКО

ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ОСНОВИ СТРУКТУРИЗАЦІЇ ТА ОПРАЦЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ В КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ

В.І. МЕЖУЄВ

АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПРЕДМЕТНО-ОРІЄНТОВАНОГО МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Ю.М. БОЙКО, В.М. СВОРІНЬ

ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМІВ АДАПТИВНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ В СИСТЕМАХ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ

О.С. АНДРОЩУК

НЕЙРОМЕРЕЖНІ МОДЕЛІ КЛАСИФІКАЦІЇ ТЕКСТОВИХ ДОКУМЕНТІВ

В.С. ЯКОВИНА, Я.М. ЧАБАНИЮК, М.М. СЕНІВ, У.Т. ХІМКА

ОЦІНЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ З ІНДЕКСОМ СКЛАДНОСТІ ПРОЕКТУ

О.М. БЕРЕЗЬКИЙ, І.Г.ЦМОЦЬ

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТА АРХІТЕКТУРА КОМП'ЮТЕРНИХ ЗАСОБІВ АНАЛІЗУ І СИНТЕЗУ ЗОБРАЖЕНЬ

О.В. ПОМОРОВА, Т.О. ГОВОРУЩЕНКО, О.С. ОНИЩУК

ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

М.В. ЗАХАРЧЕНКО, В.Й. КІЛЬДІШЕВ, С.В. ХОМИЧ, О.Г ПРИШЛЯК

КОМПЕНСАЦІЯ НАДЛИШКОВОСТІ В БЛОКОВИХ КОРЕКТУЮЧИХ КОДАХ ЗА РАХУНОК ТАЙМЕРНИХ СИГНАЛІВ

С.Д. ШТОВБА, В.В. МАЗУРЕНКО, О.Д. ПАНКЕВИЧ

ВПЛИВ КІЛЬКОСТІ НЕЧІТКИХ ПРАВИЛ НА ТОЧНІСТЬ БАЗИ ЗНАНЬ МАМДАНІ

В.В. ТОПАЛОВ

НОВА УМОВА ФОРМУВАННЯ ПЕРЕМЕЖУВАЧА S-ТИПУ У СКЛАДІ ТУРБОКОДУ

О.В. ОСАДЧУК, М.В. ДЕУНДЯК, В.П. ДЕУНДЯК

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТУ У ВИГЛЯДІ ПРОЕЛЕКТРИКА ДЛЯ РАДІОВИМІРЮВАЛЬНОГО ПРИЛАДУ НА ОСНОВІ ОПТИКО-ЧАСТОТНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

О.В. ОСАДЧУК, А.О. СЕМЕНОВ, С.В. БАРАБАН

ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ТЕМПЕРАТУРИ НА ОСНОВІ СЕГНЕТОКОНДЕНСАТОРА

Л.Б. ЛІЩИНСЬКА

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДВОХЗАТВОРНОГО ПОЛЬОВОГО ТРАНЗИСТОРА У РЕЖИМІ ВІДКРИТОГО ПЕРШОГО І ЗАКРИТОГО ДРУГОГО ПЕРЕХОДІВ

О.В. БОНДАРЕНКО, О.М. ВЛАСОВ, О.М. СТАЩУК, Ю.С. ЧЕРКАШИНА

ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ЗВ'ЯЗОК МІЖ АНІЗОТРОПНИМ ТА ІЗОТРОПНИМ ОПТИЧНИМИ ВОЛОКНАМИ

І.В. ТРОЦИШИН

РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИНЦИПІВ КВАНТОВОЇ ТЕОРІЇ ВИМІРЮВАНЬ АМПЛІТУДНИХ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛІВ НА ПРИКЛАДІ АТЕНЮАТОРА-ПОДІЛЬНИКА ТРОЦИШИНА

О.М. ВОЗНЯК, О.В. ВОЙЦЕХОВСЬКА

АМПЛІТУДНО-ФАЗОВИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ ОБМОТОК

Т.В. СІЧКО

АПАРАТ ФУНКЦІОНУВАННЯ СТРАТЕГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ В КОРПОРАТИВНІЙ АВТОМАТИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ РЕГІОНАЛЬНИХ ОСВІТНІХ ЦЕНТРІВ

**ДОКТОР ТЕХНІЧНИХ НАУК, ПРОФЕСОР Р.І. СІЛІН –
ВИДАТНИЙ ОРГАНІЗАТОР ВИЩОЇ ШКОЛИ І РОЗВИТКУ НАУКИ**



Пріоритетним у розбудові незалежної молодії Української держави є наявність особистостей високого інтелекту, які володіють сучасними знаннями, досвідом, постійно аналізують динаміку вітчизняних та світових подій як в соціальному, так і в економічному напрямках, здатні випереджати і прогнозувати розвиток, акумулювати можливості і сили, підпорядковані колективи на найважливіших ділянках для досягнення мети. Досвід свідчить, що навіть, якщо всі необхідні історичні умови наявні, велику роль відіграють особисті якості керівника: його кваліфікація, світогляд, масштаб мислення, вміння працювати з людьми і вести їх за собою, воля, розум, цілеспрямованість. Особливо почесне місце серед славетної когорти видатних особистостей, що своєю невтомною, титанічною працею, яскравим розумом, організаторським талантом внесли неоцінний вклад у розвиток науки, освіти і культури в Україні і зробили нашу країну ще більш відомою у світовому співтоваристві належить автору багатьох монографічних

узагальнень, підручників, посібників, доктору технічних наук, професору, академіку Академії інженерних наук, Української технологічної академії, Міжнародної академії інформатизації, Академії триботехніки, Президенту Національного комітету України з питань машинознавства, Заслуженому працівнику народної освіти України, багаторічному ректору першого вищого навчального закладу в м. Хмельницькому, раднику ректора Хмельницького національного університету, публіцисту, гуманісту, людині з енциклопедичним характером знань Радомиру Івановичу Сіліну. Радомир Іванович належить до тієї когорти українських вчених, які своєю довголітньою сумлінною й подвижницькою працею заслужили щирю любов серед колега-науковців і численних учнів та повагу серед наукового загалу і громадськості.

Р.І. Сілін народився 27 вересня 1931 р. в м. Курську (Російська Федерація) в сім'ї службовців. Дитинство його було обпалене війною: життя майбутнього ректора університету в Хмельницькому на той час відраховувало неповних десять років. З 1943 р. він став червоноармійцем, рядовим топографічної служби 65 моторизованого топографічного загону. Юний Радомир звільняв Харків, Кіровоградщину, пройшов Молдавію, Румунію, Угорщину, тодішню Чехословаччину та Австрію. Звістка про капітуляцію Німеччини застала його у Відні. У червні 1945 р. Радомира Івановича було демобілізовано з лав радянської армії. У переможному 1945 р. Радомир Іванович у своїх неповних 14 років вже був нагороджений двома медалями: «За перемогу над Німеччиною у Великій Вітчизняній війні 1941-1945 років» і «За взяття Відня».

Після завершення війни продовжував навчання у школі спочатку у Курську, а згодом в старовинному українському місті Львові, куди переїхав за місцем служби батька. У 1956 р. Р.І. Сілін одержав диплом з відзнакою випускника Львівського політехнічного інституту. Здібного і перспективного молодого випускника залишають в рідному інституті на посаді асистента кафедри технології машинобудування. Як кожний справжній вчений Р.І. Сілін пройшов тривалий і складний шлях свого професійного зростання. В 1962 р. Радомир Іванович захистив в Київському політехнічному інституті кандидатську дисертацію. У 1965 р. Р.І. Сіліна на 10 місяців направляють в США, де він проходив наукове стажування в університетах цієї країни. Результатом наукових пошуків став захист в 1973 р. докторської дисертації.

В грудні 1974 р. Міністерство освіти України направляє Радомира Івановича в Хмельницький технологічний інститут побутового обслуговування на посаду ректора. За роки його керівництва провінційний інститут став визнаним у країні і світі університетом. Восени 2001 р. професор Р.І. Сілін передав ректорські повноваження своєму вихованцеві доктору технічних наук, професору М.Є. Скибі. Такий непростий, але багатий здобутками шлях від Хмельницького технологічного інституту побутового обслуговування до Технологічного університету Поділля пройшов колектив його працівників протягом 27-ми років під керівництвом ректора професора Р.І. Сіліна.

За останні роки відзначається позитивна динаміка якісних і кількісних показників розвитку всіх основних напрямків діяльності університету. Це стало підставою для клопотання про надання Хмельницькому державному університету статусу національного. 21 липня 2004 р. Президент України підписав Указ, в якому зазначалося: «Ураховуючи загальнодержавне і міжнародне визнання результатів діяльності Хмельницького державного університету у розвиток національної освіти і науки постановляю: надати Хмельницькому державному університету статус національного».

В сучасних умовах Хмельницький національний університет за підсумками рейтингу вищих закладів освіти входить до складу 10 кращих ВНЗ України. Тепер він визнаний в Україні та поза її межами як могутній освітній, науковий та культурний заклад з потужною матеріально-технічною базою, висококваліфікованим кадровим потенціалом та розвинутою інфраструктурою. У ВНЗ започатковано і успішно розвиваються 17 наукових шкіл, функціонують докторантура та аспірантура, працюють 4 Спеціалізовані вчені ради для захисту докторських та кандидатських дисертацій. Підготовка фахівців ведеться з 43 спеціальностей за 37 напрямками.

Вже впродовж багатьох років Радомир Іванович підтримує тісні ділові контакти з такими відомими в усій країні вченими і громадсько-політичними діячами як з Президентом НАН України Б. Патонем, Головою Верховної Ради України В. Литвином, Президентом АПН України В. Кременем, секретарем Ради національної безпеки і оборони Р. Богатирьовою, головою Державного агентства з питань науки, інновацій та інформації В. Семиноженком, народними депутатами України Б. Тарасюком, А. Гриценком, М. Томенком, І. Кириленком, А. Яценюком, В. Кравчуком, О. Лукашуком, лідером Об'єднаної демократичної опозиції Ю. Тимошенко, колишнім послом України в США і Канаді Ю. Щербаком, послом США в Україні Д. Тефтом, ректором Кам'янець-Подільського національного університету імені І. Огієнка професором О. Завальнюком, директором Центру дослідження історії Поділля Інституту історії України НАН України при Кам'янець-Подільському національному університету імені І. Огієнка академіком Л. Баженовим, академіками НАН України В. Смолієм і П. Троньком, народним художником України М. Мазуром, керівниками сільгоспідприємств, Героями України П. Івашуком, В. Петринюком, М. Шаповалом.

З іменем професора Р.І. Сіліна зв'язано становлення Національної Ради України з машинознавства, Президентом якої він є і яка представляє нашу країну в Міжнародній федерації з теорії машин і механізмів. Після розпаду СРСР Росія стала правонаступницею і автоматично залишилася в ІFToMM, а новоутворені незалежні держави опинилися за межами цієї організації. Керівництво ІFToMM завжди розуміло, що Україна володіє могутнім науковим потенціалом, українські вчені достойні працювати в цій організації, робило неодноразові пропозиції різним відомствам вирішити питання про входження України в ІFToMM. І

звичайно, Україна, виявившись відсунутою від цього можливого міжнародного співробітництва, втрачала свій авторитет і вагу в світовому співтоваристві. Як з'ясувалося пізніше, з боку деяких наших великих вчених були зроблені спроби вирішити цю проблему, однак труднощі перебудови, відсутність коштів, бюрократичні перепони, ослаблена увага керівництва країни до науки, відсутність офіційного визнання і юридичного оформлення Національного комітету з ТММ не давали можливості досягнути успіху.

Радомир Іванович розумів, що представництво України в такій впливовій міжнародній організації, як IFToMM, сприятиме зростанню престижу і авторитету нашої молоді держави в світі, а розташування Національної Ради в Хмельницькому національному університеті підніме його статус в Україні і в усьому світі. І він взявся за цю роботу і вирішив проблему без бюрократичних зволікань і з найменшими витратами.

Професор Р.І. Сілін вдало поєднує педагогічну діяльність з науковою. В значній мірі саме завдячуючи наполегливості Радомира Івановича в галузі наукових пошуків відзначається позитивна динаміка якісних і кількісних показників розвитку всіх основних напрямків діяльності університету. В університеті діють 17 наукових шкіл. Науковий рівень цих шкіл засвідчує проблемність тем та науковий імідж керівників. Професор Р.І. Сілін вже впродовж багатьох років очолює наукову школу «Теоретичні основи напружено-деформованого стану контактуючих тіл». Він є головою Спеціалізованої вченої ради для захисту докторських і кандидатських дисертацій з спеціальностей 05.02.02 – машинознавство, та 05.02.04 – тертя та зношення в машинах.

Він став бажаним доповідачем на вітчизняних і міжнародних наукових конференціях. Вчений гідно представляв Україну з науковими доповідями на всесвітніх конгресах, конференціях і інших міжнародних наукових форумах у США, Англії, Франції, Німеччині, Японії, Китаї, Австралії, Ізраїлю, Швейцарії, Норвегії, Фінляндії, Іспанії, Італії, Канаді, Чехії, Бразилії, Аргентині, Болгарії, Єгипті й інших країнах. Професор Р.І. Сілін достойно представляє на таких міжнародних форумах нашу країну. Він відразу звертає увагу до себе керівників делегацій вільним володінням англійською мовою, ерудицією, глибоким знанням питань, що обговорюються. Він вміє бути цікавим і привабливим для інших. Його слухають з особливою увагою, коли він говорить про проблеми машинознавства, про комп'ютеризацію, торсійні поля, вищу школу, освіту взагалі і про наш університет зокрема, Україну, Поділля, історію, мистецтво. Його знають і шанують такі добре знані в своїх країнах і в наукових колах світу вчені як Р. Коуп і Б. Бушан (США), А. Морецький, С. Питко, Л. Добжанський і М. Щерек (Польща), К. Фролов, І. Блехман, В. Потураєв і І. Гончаревич (Росія), Л. Сосновський (Білорусь), І. Гарбар (Ізраїль), Е. Сантнер (Німеччина), П. Джост (Великобританія), Ф. Франек (Австрія), А. Зелений і Я. Суханек (Чехія), Ю. Подгурскас і К. Рагульскіс (Литва), Е. Лавендел (Латвія) та інші.

За підручниками і навчальними посібниками професора Р.І. Сіліна навчаються студенти не тільки Хмельницького національного університету, а й багатьох інших ВНЗ країни. Спільно з професором Вашингтонського університету Р. Коупом видав два навчальних посібники з практичного менеджменту. Значний науковий резонанс міжнародної наукової спільноти викликали книги Радомира Івановича «Людина і Всесвіт» (2007) та «Взаємозв'язок Всесвіту і Людини» (2009). На ці дві книги з'явилися схвальні рецензії в авторитетних світових виданнях, вони перекладені багатьма мовами світу.

У 1981 р. професор Р.І. Сілін в складі делегації України брав участь в міжнародному конгресі ЮНЕСКО з питань технології освіти. На початку XXI ст. ім'я видатного вченого сучасності з міста Хмельницького облетіло весь світ. У 2000 р. Американським Біографічним Інститутом він обраний членом дослідницької Колегії Радників цього інституту Людиною року, а Кембріджським Біографічним Центром (Англія) Людиною тисячоліття. В цьому ж році ім'я вченого вносять до еліти Міжнародної академії інформатизації. В наступному році професора Р.І. Сіліна призначають особистим Радником Генерального директора Міжнародного Біографічного Центру Кембриджа і вводять до складу 500 світових лідерів впливу.

Професор Р.І. Сілін - досвідчений вихователь наукових кадрів. Під його керівництвом захищені 41 кандидатська і 24 докторських дисертацій. Наукова діяльність професора Р.І. Сіліна гідна подивування. Його роботи підготували ґрунт для багатьох відкриттів. Перелік його наукових праць містить понад 400 назв. Частина з них опублікована за кордоном. Багато з них стали класичним надбанням світової науки. Науковий авторитет професора Р.І. Сіліна стрімко зростає з роками напруженої праці. 15 квітня 1993 р. Указом Президента України «за вагомий особистий внесок у розвиток і впровадження наукових досліджень та підготовку кадрів» йому присвоєно почесне звання «Заслужений працівник народної освіти України», він також удостоєний більше двадцяти державних нагород.

УДК 621.891

Р.В. СОРОКАТИЙ, М.О. ДИХА
Хмельницький національний університет
В.Г. ПИСАРЕНКО
КНВО "Форт" МВС України, м. Вінниця

МОДЕЛЮВАННЯ НАКОПИЧЕННЯ ПОШКОДЖЕНЬ ПОВЕРХНІ ВНАСЛІДОК ЗНОШУВАННЯ

Побудована імовірнісна модель накопичення пошкоджень поверхні внаслідок зношування. Модель базується на термодинамічній теорії руйнування і марківських випадкових процесах з дискретним часом та станами. Запропоновано спосіб визначення параметрів розробленої моделі на основі імовірнісно-фізичного підходу.

The probabilistic model of accumulation of tribodamages is built. For description of process of accumulation of damages the thermo-cinetic theory of destruction and mathematical vehicle of the Markov's chains is used. Taking probabilistic-physical approach, the method of determination of parameters of the developed model is offered.

Ключові слова: модель, трибопошкодження, випадковий процес, процеси Маркова.

Вступ. Вдосконалення розрахункових методів є необхідною умовою для керування процесами надійності машин на стадії проектування.

Труднощі в розробці розрахункових методів прогнозування ресурсу і зносу вузлів тертя обумовлені, в першу чергу наявністю різних за природою процесів які проходять на поверхнях тертя, а також впливом на них великої кількості взаємопов'язаних факторів. Недостатня вивченість складних фізико-хімічних процесів, які відбуваються на поверхнях контакту при терті, імовірнісний характер процесів, випадковий характер параметрів зовнішньої дії, властивостей матеріалів ускладнює створення методів розрахунку зносу та прогнозування ресурсу вузлів тертя.

Особливості моделювання процесів зношування. Методи прогнозування ресурсу вузлів тертя повинні враховувати особливості зношування, як специфічного типу руйнування. Багаторазовість елементарних актів руйнування є основною особливістю зношування, яка різнить цей процес із об'ємним руйнуванням матеріалів. Методи прогнозування ресурсу вузлів тертя повинні дати відповідь, як довго буде проходити процес зношування до досягнення граничної величини зносу.

Процес зношування та його моделювання необхідно розглядати на двох масштабних рівнях: макрорівень, який визначає кінетику зміни макроформи тіл при зношуванні, та макрорівень, що описує кожен елементарний акт руйнування і видалення окремої частинки з поверхні зношування.

Аналіз перебігу процесів на макрорівнях дозволяє розробити феноменологічну модель зношування пари тертя на макрорівні, де швидкість зношування приймається як функція макрохарактеристик спряження.

Побудова моделі зношування на макрорівні вимагає визначення фізичного механізму елементарного акту руйнування; вибору критерію руйнування, який відповідає даному механізму; розрахунку напружено-деформованого стану; розрахунку температури поверхневого шару та інших характеристики, що визначають критерій руйнування; визначення характеристик поверхневого шару після видалення зруйнованої частинки.

Найбільш складним етапом моделювання процесів зношування є аналіз механізму зношування і вибір критерію руйнування. До числа переважаючих факторів при виборі критерію руйнування відносять напруження, температуру, механічні характеристики матеріалів. При цьому необхідно враховувати, що сам механізм руйнування визначається рівнем напружень та температур в контактному шарі. Для визначення початку руйнування і моделювання процесу видалення частинки зношування з поверхні застосовують методи механіки руйнування. Характер зношування залежить від матеріалів пари тертя, умов навантаження, кінематики пари тертя, присутності і природи мастильних матеріалів та інших умов.

Використання таких підходів до розрахунку зносу реальних спряжень складної конфігурації є надзвичайною складною, а в більшості випадків, враховуючи складність процесів, що перебігають в зоні тертя і їх недостатній рівень вивченості на фізичному рівні, є практично неможливими для реалізації. Тому, в трибології, зазвичай, використовують тільки основні фактори, що впливають на перебіг процесів руйнування поверхні внаслідок зношування.

Циклічні навантаження поверхні, які мають місце при відносному переміщенні елементів пари тертя, породжують в контактному шарі неоднорідне поле внутрішніх напружень, що є причиною накопичення в цьому шарі пошкоджень. У більшості випадків, при аналізі стаціонарного процесу зношування, приймають, що на цьому етапі переважає стадія дисимінованих пошкоджень, а розвиток магістральних тріщин, які призводять до відділення частинок зносу, перебігає майже миттєво.

Найбільш складним і трудомістким процесом при побудові моделей процесів зношування є аналіз механізму зношування, що ґрунтується на вивченні процесів накопичення пошкоджень в зоні трибоконтактної взаємодії.

При побудові методів прогнозування зношування необхідно враховувати той факт, що процеси накопичення трибо пошкоджень є еволюційними, нестационарними випадковими процесами і методи повинні базуватися на опису феноменологічних процесів деградації [1].

Побудова моделі накопичення пошкоджень поверхні при зношуванні. Трибопошкодження відносяться до класу кумулятивних пошкоджень. Під кумулятивним пошкодженням розуміють незворотне накопичення пошкоджень при циклічній дії [1]. На основі опрацювання експериментального матеріалу авторами [1] доведено, що імовірнісні моделі феноменологічних процесів накопичення пошкоджень, побудовані на основі випадкових процесів Маркова з дискретним часом і станами, описують процеси кумулятивних пошкоджень з великим ступенем адекватності.

Для визначення характеристик полів напружень та температур як найбільш впливових факторів на процес накопичення пошкоджень в реальних вузлах тертя в більшості випадків використовують чисельні методи комп'ютерного моделювання. В свою чергу, вказані методи передбачають просторово-часову дискретизацію розрахункових моделей.

В зв'язку з вищевказаним, представимо процес накопичення трибопошкоджень в дискретній формі, використавши для цього модель удару [2].

Прийmemo наступні припущення:

1. Процес експлуатації складається з циклів навантаження (ЦН), що повторюються. Цикл навантаження – це період функціонування виробу, протягом якого можуть накопичуватися пошкодження. Циклами навантаження вимірюється час, що є в даному випадку дискретним.

Припущення, що виникнення пошкоджень можливо тільки в період циклу навантаження не призводить до втрати в фізиці процесу, але надає перевагу при побудові розрахункових алгоритмів.

2. Стани пошкоджуваності є дискретними і перехідними. Якщо накопичена кількість одиничних пошкоджень окіл деякої точки перевищить граничне значення, відбудеться руйнування.

Припущення про дискретність станів добре співвідноситься з експериментальними даними про перервний характер перебігу дисимінованих пошкоджень в мікроб'єсах.

3. Накопичення пошкоджень в ЦН залежить тільки від цього циклу і від стану пошкодження на його початку, а характеристики, що визначають жорсткість ЦН, залишаються незмінними в межах даного циклу.

Це припущення постулює, що пошкодження розглядаються тільки на початку і в кінці ЦН. Модель нічого не говорить про кількісні аспекти, що відбуваються всередині ЦН, таким чином, модель є вкладеною, так як інтерес представляє початок і кінець циклу навантаження. Ця умова є умовою імовірнісного процесу Маркова, тобто накопичення пошкодження залежить тільки від циклу навантаження і стану пошкоджуваності на його початку. Яким чином досягнуто цього рівня пошкоджуваності – несуттєво.

4. Для означення ймовірнісних характеристик процесу накопичення трибопошкоджень використаємо припущення, що пошкодження можуть виникати тільки в період ЦН. Позначимо ймовірність того, що в період циклу навантаження пошкодження не з'являться, через w_{ij} . Тоді ймовірність появи пошкоджень в даному ЦН дорівнює $1 - w_{ij}$, оскільки події утворюють повну групу. Якщо в ЦН концентрація трибопошкоджень перевищить порогове значення P_{TP}^* і відбудеться руйнування, то система перейде в поглинаючий стан, з нульовою ймовірністю вийти з нього. Будемо вважати, що до моменту виникнення пошкоджень в ЦН реалізується послідовність незалежних випробувань, з ймовірністю "успіху" в одному випробуванні $1 - w_{ij}$.

Таким чином, отримано модель накопичення кумулятивних трибо пошкоджень, яку можна описати випадковим процесом Маркова з дискретним часом та станами. Дискретна модель є вкладеною в неперервний фізичний процес накопичення кумулятивних пошкоджень.

Визначення параметрів моделі. Параметри ланцюга Маркова вважають заданими, якщо задано вектор початкових станів та матрицю перехідних ймовірностей. Для більшості випадків компоненти вектора початкових станів $\pi_j(t=0)$, визначають з припущення, що в початковий момент часу система не мала пошкоджень і знаходилася в першому стані:

$$[\pi_j(t=0)] = [1, 0, 0, \dots, 0] \quad (1)$$

Ймовірності станів системи в момент часу $t > 1$ визначається як добуток вектора безумовних ймовірностей $[\pi_j(t-1)]$ в момент часу $(t-1)$ на матрицю перехідних ймовірностей $[W_{ij}]$, яка задає поведінку системи в момент часу t :

$$[\pi_j(t)] = [\pi_j(t-1)] \times [W_{ij}], \quad i, j = 1, 2, \dots, K_C, \quad (2)$$

де $[\pi_j(t)]$ – вектор безумовних ймовірностей знаходження системи в j -х станах ($j = 1, 2, \dots, K_C$) в момент часу t ;

$[W_{ij}]$ – матриця перехідних ймовірностей;

K_C – кількість станів системи.

Матрицю перехідних ймовірностей $[\mathbf{W}_{ij}]$ вважають заданою, якщо задано вигляд і визначені компоненти матриці w_{ij} .

Авторами [1] доведено, що матриці перехідних ймовірностей з одиночними скачками наверх та наявністю поглинаючого стану найбільш повно відображають сутність кумулятивних пошкоджень:

$$[\mathbf{W}_{ij}] = \begin{bmatrix} w_{11}(t) & w_{12}(t) & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & w_{22}(t) & w_{23}(t) & 0 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & w_{cc}(t) & w_{c(c+1)}(t) & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, c = 1, \dots, K_c \quad (3)$$

Питання визначення компонентів матриці перехідних ймовірностей розглядалося з позиції визначення відповідності між параметрами математичної моделі і фізичними характеристиками процесу накопичення пошкоджень.

В більшості фізичних підходів до моделювання пошкоджуваності, швидкість накопичення пошкоджуваності $V_{TP}(x, y, z, t)$ розглядається як функція напружень в даній точці, температури та інших параметрів, залежно від механізму руйнування, виду матеріалу і т. і.

Для опису процесу накопичення пошкоджень скористаємось термодинамічною теорією руйнування [3], яка робить можливим дослідження сумісного впливу напруженого стану та температурних ефектів на руйнування в явному вигляді.

У відповідності до термодинамічної теорії швидкість накопичення пошкоджень задається співвідношенням [3]:

$$V_{TP}(x, y, z, t) = \frac{dP(x, y, z, t)}{dt} = \frac{1}{t^*} \exp\left(-\frac{U - g \cdot S(x, y, z, t)}{k \cdot T(x, y, z, t)}\right), \quad (4)$$

де U – енергія активації;

t^* , γ – характеристики матеріалу;

k – стала Больцмана;

$S(x, y, z, t)$ – характеристика поля напружень в точці з координатами (x, y, z) в момент часу t ;

$T(x, y, z, t)$ – абсолютна температура в точці з координатами (x, y, z) в момент часу t .

Виходячи з фізичної сутності процесу накопичення трибопошкоджень, можна вважати, що перехід зі стану в стан відбуваються під дією потоку трибопошкоджуваності. При реалізації події потоку відбувається перехід системи в наступний стан.

В даному випадку, під подією потоку трибопошкоджуваності розуміють зміну концентрації трибопошкоджень на деяку величину P_{TP} . Потік трибопошкоджуваності, у відповідності до центральної граничної теореми потоків, буде потоком Пуассона, а саме має властивості ординарності та відсутності післядії, що не порушує основну вимогу випадкового процесу Маркова.

Виходячи із фізичної сутності інтенсивності потоку як середньої кількості подій в одиницю часу для елементарної ділянки Δt , яка прилягає до t [4], інтенсивність потоку трибопошкоджуваності $\lambda_{TP}(t)$ в момент часу t визначиться як швидкість трибопошкоджуваності в момент часу t на величину P_{TP} :

$$\lambda_{TP}(t) = \frac{V_{TP}(x, y, z, t)}{P_{TP}}, [\text{час}^{-1}], \quad (5)$$

де $V_{TP}(x, y, z, t)$ – швидкість накопичення трибопошкоджень в момент часу t , $((\text{об} \cdot \text{см} \cdot \text{час})^{-1})$;

P_{TP} – величина, яка визначається з умови ординарності потоку трибопошкоджуваності, $(\text{об} \cdot \text{см}^{-1})$.

З урахуванням виразу (4) можна записати:

$$I_{TP}(t) = \frac{1}{t^*} \exp\left(-\frac{U - g \cdot S(x, y, z, t)}{k \cdot T(x, y, z, t)}\right) \quad (6)$$

Величина P_{TP} визначається з умови, що за один цикл навантаження ймовірність появи величини концентрації трибопошкоджень більшої за P_{TP} нехтовно мала.

Таким чином, за функцією швидкості накопичення трибопошкоджень можна визначити основну характеристику потоку трибопошкоджуваності, який представлено у вигляді випадкового процесу – інтенсивність потоку пошкоджуваності $\lambda_{TP}(t)$, яка визначає переходи системи зі стану в стан.

Імовірність переходу $w_{ij}(t)$ марківського ланцюга із стану i , в якому він знаходився в момент часу t , в стан j за елементарний проміжок часу Δt , визначається за виразом:

$$w_{ij}(t) \approx I_{TP}(t) \cdot \Delta t, \text{ для } i \neq j. \quad (7)$$

З врахуванням (6) отримаємо:

$$w_{ij}(t) = \frac{\frac{1}{t^*} \exp\left(-\frac{U - g \cdot S(x, y, z, t)}{k \cdot T(x, y, z, t)}\right)}{P_{TP}} \cdot \Delta t. \quad (8)$$

Якщо врахувати, що при досягненні деякого порогового значення концентрації трибопошкоджень відбувається руйнування і система попадає в поглинаючий стан, то:

$$P_{TP} = \frac{P_{TP}^*}{K_C - 1} \quad (9)$$

Тоді (8) прийме вигляд:

$$w_{ij}(t) = \frac{\frac{1}{t^*} \exp\left(-\frac{U - g \cdot S(x, y, z, t)}{k \cdot T(x, y, z, t)}\right)}{P_{TP}^*} \cdot \Delta t \cdot (K_C - 1). \quad (10)$$

Таким чином, використовуючи імовірнісно-фізичний підхід, отримано параметри моделі накопичення пошкоджень поверхні внаслідок зношування, яка описується випадковим процесом Маркова з дискретним часом та станами.

Безумовно, для отримання адекватних моделей і розв'язку задач для отримання характеристик полів напружень $\sigma(x, y, z, t)$ та температур $T(x, y, z, t)$ в реальних вузлах тертя необхідно звернутися до чисельних методів. Використовуючи вказані характеристики, в рамках даної моделі можна відтворити різні типи руйнування.

Враховуючи особливості процесів зношування, матеріали і умови функціонування трибоспрями, в більшості випадків можна вважати, що миттєве поле напружень впливає на траєкторію розвитку тріщини менше, ніж властивості пошкодженого матеріалу, а характерний час розвитку тріщини менше характерного часу накопичення пошкоджуваності. Тому приймається, що тріщини поширюються миттєво, а напрям розвитку в кожній точці визначається напрямом мінімального спадання накопиченої пошкоджуваності. Побудувавши за допомогою запропонованої імовірнісної моделі, лінії рівнів функції накопичення пошкоджень, можна визначити найбільш імовірні напрями траєкторій руху поширення тріщин, та оцінити тип руйнування і характер процесу зношування.

Висновки. В результаті проведених досліджень побудовано ймовірнісну модель накопичення пошкоджень поверхні внаслідок руйнування при зношуванні, яка ґрунтується на термокінетичній теорії руйнування. Для побудови моделі використано математичний апарат ланцюгів Маркова. Визначення параметрів моделі базується на ймовірнісно-фізичному підході. Використання запропонованої моделі разом з чисельними методами визначення характеристик полів напружень та температур дозволить побудувати повну модель процесу, оцінити тип руйнування і характер процесу зношування.

Література

1. Богданов Дж. Вероятностные модели накопления повреждений / Дж. Богданов, Ф. Козин; [пер. с англ.]. – М.: Мир, 1989. – 344 с.
2. Esary J. D. Shock models and wear processes / J. D. Esary, A.W. Marshall, F. Prochan // Applied Probability. – 1973. – Vol. 4. – P. 627– 650.
3. Регель Р. В. Кинетическая природа прочности твёрдых тел / Р. В. Регель, А. И. Слуцкер, Э. Е. Томашевский. – М.: Наука, 1974. – 560 с.
4. Венцель Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е. С. Венцель, Л. А. Овчаров – М.: Наука, 1991. – 384 с.

Надійшла 7.3.2011 р.

М.А. ФАРАДЖАЛЛАХ

Национальный авиационный университет, г. Киев

В.Е. ПАНАРИН

Институт металлофизики НАНУ

С.С. БЫСЬ

Хмельницкий национальный университет

ПРОБЛЕМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОВЫШЕНИИ КАЧЕСТВА ДЕТОНАЦИОНАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ

На підставі аналізу експериментальних результатів показано, що поверхнєве руйнування покриттів обумовлене впливом не тільки напруг, що виникають у процесі пружнопластичної деформації при терті, а й пов'язане з залишковими напруженнями. Запропоновано режими термічної обробки, що змінюють характер розподілу залишкових напружень.

Based on the analysis of experimental results showed that the surface coating damage due to the influence not only the stress arising in the process of elastoplastic deformation during friction, but also due to residual stresses. Proposed modes of heat treatment, changing the distribution of residual stresses.

Ключові слова: покриття, залишкові напруження, відпал, інтенсивність зношування.

Технологические остаточные напряжения формируются в ходе технологического процесса изготовления детали или ее ремонта. Остаточные напряжения оказывают существенное влияние не многие эксплуатационные свойства деталей машин. Они способствуют деформации деталей при изготовлении и эксплуатации и зачастую оказываются причиной их аварийного разрушения. Механизм формирования технологических остаточных напряжений достаточно полно рассмотрен с качественной стороны [1]. Причиной их образования является несовместимость деформаций различных объемов материала детали, возникающих в результате пластических и термопластических деформаций, изменений химического состава и фазово-структурных превращений. С позиций механики деформируемого твердого тела формирование технологических остаточных напряжений представляет собой сложный процесс, особенно, когда изменения объема материала имеет место в тонком поверхностном слое.

Систематизированные сведения о технологических остаточных напряжениях, обусловленных условиями технологии формирования детонационных поверхностных слоев и влияния на их эксплуатационные свойства при нагружении трением, в литературе крайне ограничены.

Целью работы является определение величины уровня и характера распределения остаточных напряжений в детонационных покрытиях и обоснование путей их минимизации.

Методика исследования. Для детонационного напыления использовали композиционные порошковые материалы системы $\text{SiC-Al}_2\text{O}_3\text{-Cr}_2\text{O}_3$.

Одним из плодотворных методов изучения технологических остаточных напряжений является метод Н. Н. Давиденкова [2], позволяющий определять характер распределения остаточных напряжений, их величину и глубину залегания с помощью прибора, осуществляющего записывать изменения стрелы прогиба образца в процессе непрерывного стравливания напыленного слоя.

Снятие слоев материала осуществлялось с помощью электролитического травления. Состав, концентрация и режим травления подбираются так, чтобы скорость травления составляла 3-5 мкм/мин. Напряжение на электродах составляло 10 в, плотность тока – 15 а/дм², температура электролита 25°. Состав электролита – 850 см³ H_3PO_4 с удельным весом 1,56 и 150 см³ H_2SO_4 удельным весом 1,89, а также 50 г хромового ангидрида.

Непрерывная запись прогиба осуществлялась с помощью индуктивного датчика и передавалась на самописец, где фиксировалась зависимость прогиба от времени. Наконечник датчика опирался на корундовую пластину-опору диаметром 4 мм и толщиной 1,5 мм.

Прочность сцепления покрытий осуществлялась с помощью штифтовым методом [3].

Результаты исследования и их обсуждение. На рис. 1 показано влияние толщины напыленного слоя на прочность сцепления. В качестве подложки была использована сталь 45.

С ростом толщины покрытия до некоторой величины (0,20– 0,22 мм) наблюдается увеличение усилия, необходимого для отрыва штифта от напыленного слоя. После достижения величины 1100 МПа (для покрытия на основе карбида кремния) дальнейшее нарастание толщины покрытия сопровождается уменьшением прочности сцепления.

Причины, приводящие к наличию максимума на кривой $G_{\text{сш}} = f(\delta)$, на наш взгляд, обуславливаются тем, что в области малых толщин имеет место, преимущественно, когезионное разрушение. Таким образом, значения, полученные при испытаниях, в определенной мере отражают не прочность

сцепления, а прочность самого покрытия, подтверждая тем самым, что при детонационном напылении степень взаимодействия близка к единице [3, 4].

Малая толщина напыленного слоя (0,1 мм) вызывает прорыв покрытия, при увеличении толщины прочность сцепления несколько возрастает, но остается незначительной и при испытаниях имеет место

деформация напыленного слоя его прогиб и растрескивание.

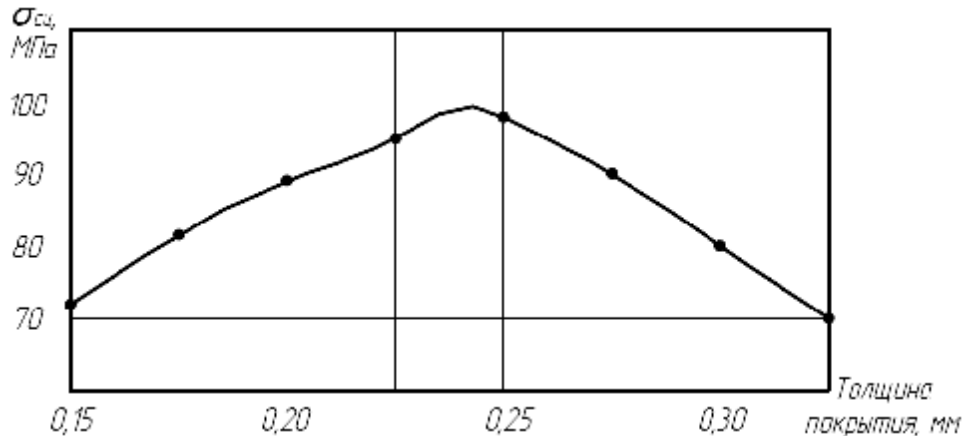


Рис. 1. Зависимость прочности сцепления от толщины напыляемого покрытия на основе карбида кремния

Вследствие роста толщины покрытия происходит подавление этих явлений, что выражается в увеличении фиксируемой при испытаниях прочности.

В то же время увеличение толщины покрытия сопровождается нарастанием внутренних напряжений в системе «покрытие – основа», результатом чего является снижение прочности сцепления. И разрушение при этом, как правило, носит адгезионный характер.

Таким образом, работоспособность и долговечность детонационных покрытий зависит от величины и характера распределения остаточных напряжений. Высокие значения остаточных напряжений являются причиной появления микротрещин или отслаивания покрытий.

Структурообразование при детонационном напылении подчиняется общим закономерностям, характерным для напыляемых покрытий [5]. При нанесении слоя имеет место местный нагрев подложки в пятне напыления [3]. Таким образом, в результате теплового действия осуществляется местный, чрезвычайно локальный нагрев под каждой частицей в зоне ее удара и деформации, что приводит к тому, что в различных точках сечения температуры различны. В результате чего при нормальной температуре в напыленном гетерогенном слое покрытия возникают технологические остаточные напряжения, которые в зависимости от ряда факторов могут быть растягивающими, сжимающими или же переменными по знаку.

На образцы из стали 45 наносились детонационные покрытия на основе карбида кремния, так и нержавеющей аустенитной стали. Были исследованы образцы с покрытием различной толщины, которая составляла 100, 200, 300 мкм.

На рис. 2 представлены графики распределения остаточных напряжений покрытий на основе карбида вольфрама. Максимум остаточных напряжений несколько смещен от поверхности вглубь покрытия. С увеличением толщины покрытия величина остаточных напряжений возрастает. С увеличением глубины залегания остаточных напряжений их величины уменьшаются.

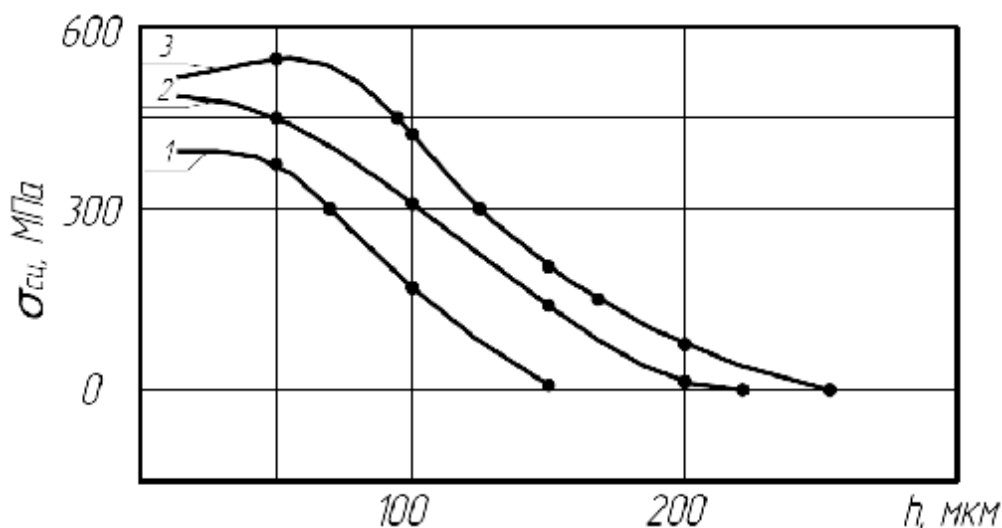


Рис. 2. Распределение остаточных напряжений в покрытиях на основе карбида вольфрама в зависимости от толщины: 1 – 100 мкм; 2 – 200 мкм; 3 – 300 мкм

Образцы напыленные композиционным порошком на основе карбида кремния, также исследовались в зависимости от толщины покрытий, которая составляла 100, 200 и 300 мкм. Испытания этой партии

образцов показало, что в образцах при всех толщинах покрытий наблюдаются растягивающие остаточные напряжения (рис. 3).

Как следует из графиков характера распределения остаточных напряжений» максимум остаточных напряжений находится на некотором расстоянии (40– 80 мкм) от поверхности. С увеличением толщины покрытия величина остаточных напряжений возрастает. Так, при толщине покрытия 200 мкм остаточные напряжения составляют около 275 МПа, а при толщине 400 мкм они превышают 550 МПа. Во всех случаях величина остаточных напряжений с увеличением глубины их залегания, после максимума, резко падает. Вблизи основы образца величина напряжений сходит на нет. Глубина залегания, в основном, соответствует толщине покрытия.

Таким образом, величина остаточных напряжений значительно возрастает при увеличении толщины напыляемых покрытий.

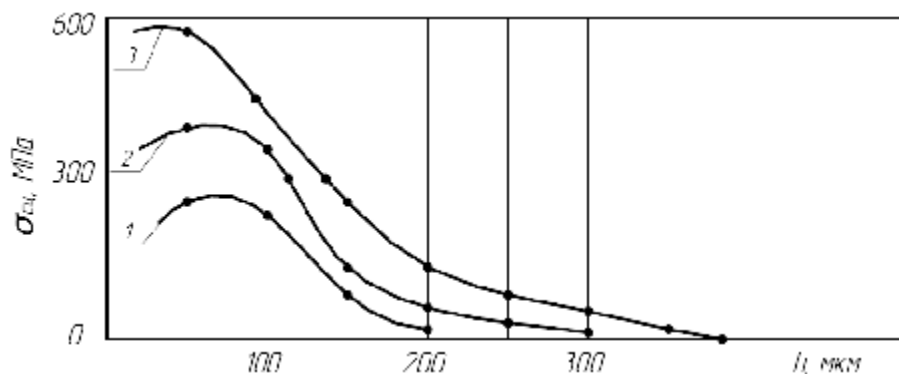


Рис. 3. Распределение остаточных напряжений в покрытиях на основе карбида кремния в зависимости от их толщины: 1 – 100 мкм; 2 – 200 мкм; 3 – 300 мкм

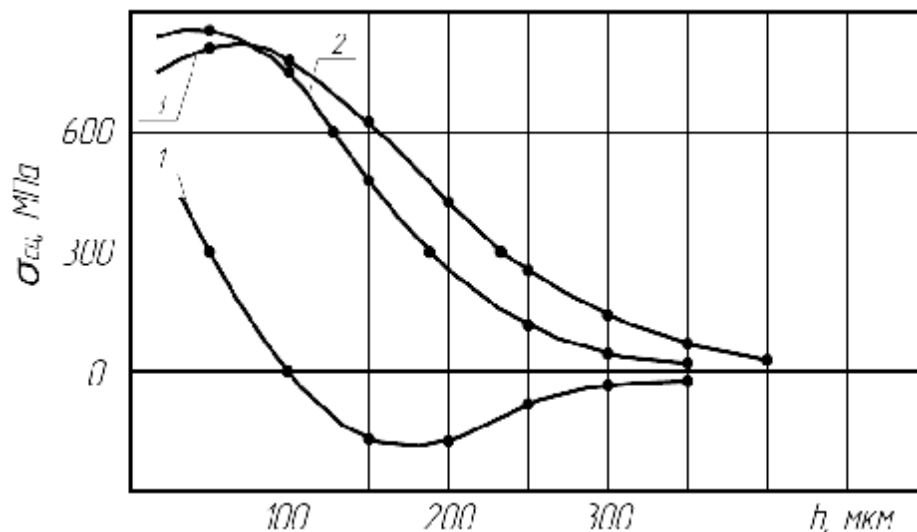


Рис. 4. Распределение остаточных напряжений в покрытиях на основе карбида кремния после отжига при температуре 200°C. Толщина покрытий: 1 – 100 мкм; 2 – 200 мкм; 3 – 300 мкм

Одной из технологических операций для снятия остаточных напряжений является термическая обработка – отжиг [6]. Отжиг изменяет характер распределения остаточных напряжений. Изменение в распределении тем заметнее, чем выше температура отжига. Отжиг исследуемой партии образцов проводился при температурах 200°C, 300°C и 400°C.

Характер распределения остаточных напряжений после отжига при температуре 200°C представлен на рис. 4. Величина напряжений заметно уменьшилась, особенно резко уменьшаются напряжения в покрытиях больших толщин. Кроме того, в покрытиях малых толщин с увеличением глубины залегания растягивающие остаточные напряжения переходят в сжимающие. Глубина залегания остаточных напряжений также в основном соответствует толщине покрытия.

Характер распределения остаточных напряжений после отжига при температуре 400°C изменяется еще больше (рис. 5). В этом случае величина напряжений продолжает уменьшаться и при толщинах покрытий менее 0,5 мм они переходят в сжимающие. Величина сжимающих напряжений тем больше, чем меньше толщина покрытия. С увеличением глубины залегания величины напряжений уменьшаются и вблизи поверхности сходят на нет.

Повышение температуры отжига до 400°C приводит к дальнейшему перераспределению остаточных напряжений в сторону уменьшения их абсолютной величины. Это представлено на рис. 6.

Уменьшились. растягивающие остаточные напряжения при больших толщинах, уменьшились почти вдвое сжимающие напряжения. Таким образом, при этой температуре отжига величина напряжений по сравнению с неотожженными образцами на много ниже.

Знак остаточных напряжений во многом зависит от сочетания коэффициентов термического расширения материалов основы и покрытия. Когда коэффициент термического расширения напыляемого материала равен или больше коэффициента термического расширения основы, в напыленном покрытии возникают растягивающие остаточные напряжения. В других случаях могут возникать сжимающие остаточные напряжения. При напылении покрытия на основе нихрома на образец из углеродистой конструкционной стали 45 разница в коэффициентах термического расширения незначительная. Чем тоньше слой покрытия, тем меньше разница в близлежащих слоях покрытия и основы. Следовательно, с увеличением толщины напыляемого слоя будет, в основном, проявляться разница в коэффициентах термического расширения в размерах нагретых и охлажденных частиц и в уже запыленных значительно остывших слоях. Поэтому с увеличением толщины покрытия остаточные напряжения возрастают. Это согласуется с распределением остаточных напряжений, приведенным на рис. 3.

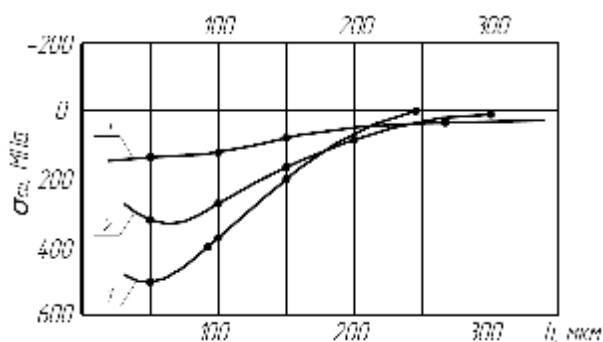


Рис. 5. Распределение остаточных напряжений в покрытиях после отжига при температуре 300°C. Толщина покрытий: 1 – 100 мкм; 2 – 200 мкм; 3 – 300 мкм

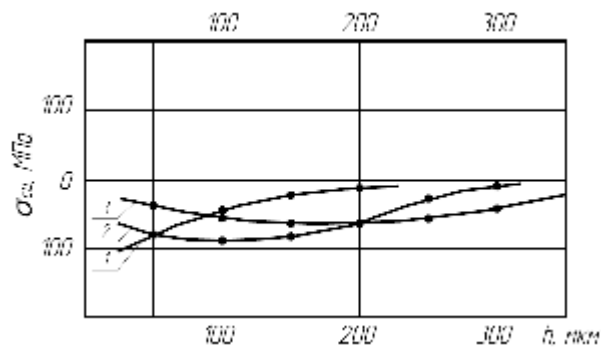


Рис. 6. Распределение остаточных напряжений в покрытиях после отжига при температуре 400°C. Толщина покрытий: 1 – 100 мкм; 2 – 200 мкм; 3 – 300 мкм

Термическая обработка образцов при различных температурах приводит к перераспределению остаточных напряжений. С увеличением температуры отжига характер распределения остаточных напряжений изменяется. Наблюдается заметное уменьшение остаточных напряжений сначала в более толстых покрытиях, а затем и в более тонких покрытиях, когда напряжения из растягивающих переходят в сжимающие.

Как известно, внутренние напряжения растяжения снижают временное сопротивление, а напряжения сжатия могут увеличивать усталостную прочность [6]. Аналогичное влияние внутренние напряжения оказывают на предел выносливости.

Таким образом, на основании проведенных испытаний можно сделать вывод о том, что в поверхностных слоях, подвергнутых упрочнению путем детонационного напыления, возникают остаточные напряжения, которые по своей абсолютной величине не опасны для поверхностного слоя с точки зрения его целостности и качества.

При увеличении толщин напыляемых покрытий возрастание остаточных напряжений можно значительно снизить путем термической обработки, в процессе которой растягивающие напряжения переходят в сжимающие, что положительно сказывается на эксплуатационных характеристиках покрытий.



Рис. 7. Микроструктура поверхностей трения покрытий



Рис. 8. Микрофотография поверхности трения покрытий после минимизации остаточных напряжений (x 360)

Микроструктура поверхностей трения покрытий, отличающихся наличием остаточных напряжений,

представлена на рис. 7 и характеризуется наличием предложенных микротрещин, очагов схватывания даже при незначительных нагрузках, составляющих 0,5 МПа.

На рис. 8 показана микрофотография поверхности трения покрытий после минимизации остаточных напряжений, как видно в данных условиях испытывания ($V=0,5$ м/с, $P = 10$ МПа) наблюдается нормальный механо-химический износ, и получена оптимальная гетерогенная долговечная трибоструктура, позволяющая снизить интенсивность изнашивания в 1,5– 2,0 раза (рис. 9).

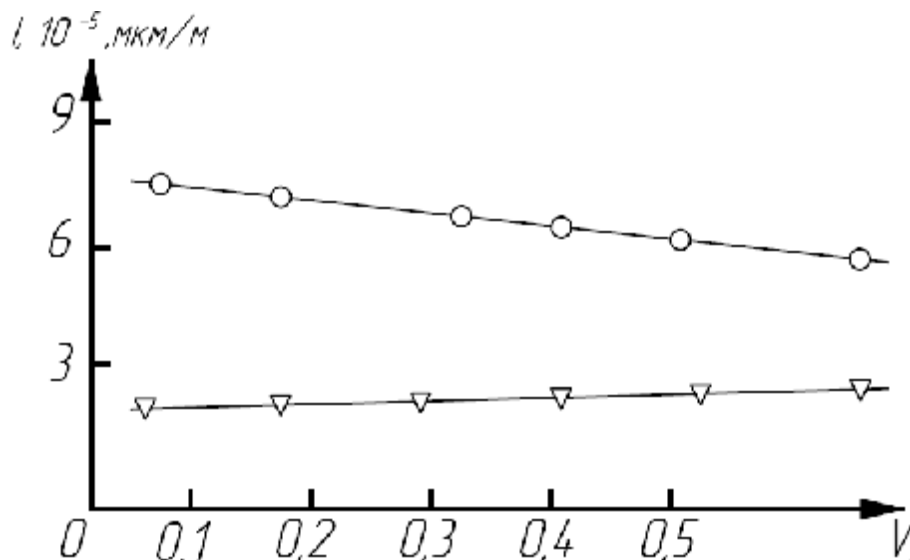


Рис. 9. Зависимость интенсивности изнашивания детонационных покрытий SiC-Al₂O₃-Cr₂O₃, до отжига (1) и после минимизаций напряжений (2) (P=10 МПа)

Выводы. На основании анализа экспериментальных результатов изучено влияние внутреннего напряженного состояния покрытий на сопротивление износу. Показано, что поверхностное разрушение покрытий обусловлено влиянием не только напряжений, возникающих в процессе упругопластической деформации при трении, но и связано с остаточными напряжениями.

Установлены закономерности распределения остаточных напряжений, их общий характер, величина и глубина залегания.

Предложены на основании экспериментальных исследований режимы термической обработки, изменяющие характер распределения остаточных напряжений.

Литература

1. Крагельский И. В. Развитие науки о трении / И. В. Крагельский, В. С. Щедров. – М.: Изд-во Акад. наук СССР, 1956. – 233 с.
2. Механизм упрочнения твердых тел / [под ред. М. Л. Бернштейна]. – М.: Metallургия, 1965. – 167 с.
3. Бородин И. Н. Композиции никеля с твердыми частицами / И. Н. Бородин // Защита металлов. – 1989. – № 5. – С. 622– 626.
4. Бородин И. Н. Композиции никеля с твердыми частицами / И. Н. Бородин // Защита металлов. – 1989. – № 5. – С. 622– 626.
5. Эпик А. П. Восстановление деталей методом газотермического напыления / А. П. Эпик, Ю. М. Ковальчук. – К.: Знание, 1980. – 20 с.
6. Сонин В. И. Газотермические напыления материалов в машиностроении / Сонин В. И. – М.: Машиностроение, 1973. – 152 с.

Надійшла 18.3.2011 р.

ГРАНИЧНІ НАПРУЖЕННЯ ПРИ ЗГИНІ

Доведено неправомірність припущення про рівність граничних напружень конструкційних сталей при деформаціях розтягу і згину. Показано, що при згині межа текучості суттєво вища порівняно з розтягом. Запропоновано додатково ввести стандартні показники статичної і циклічної міцності конструкційних сталей.

Illegality of supposition about equality of maximum tensions of construction steel at tension and bend deformations has been well-proven. It is shown that at a bend the limit of fluidity is substantially higher comparatively with tension. Additional introduction of the standard indexes of static and cyclic durability of construction steel has been suggested in the article.

Ключові слова: напруження, межа міцності, межа текучості.

Вступ

Величина граничного напруження за простого опору є визначальною при обчисленні коефіцієнта запасу як за цього простого опору, так і за складного, компонентом якого він є.

Тому визначення і уточнення граничних напружень матеріалу за простих опорів завжди є актуальними.

Особливо актуальною є проблема визначення граничного нормального напруження при статичному згині.

Автором вже порушувалось питання неправомірності припущення про рівність граничних напружень конструкційних сталей при розтязі і згині [1, с.42], [2, с.27], тобто

$$S_{mз} = S_{mр} \quad (1)$$

де $S_{mз}$ і $S_{mр}$ – межа текучості при згині і розтязі відповідно.

Мета роботи:

1) обґрунтування неправомірності припущення про рівність меж текучості конструкційної сталі при згині і розтязі;

2) визначення граничного напруження конструкційної сталі при статичному згині.

Основний розділ

Способи розв'язання поставлених задач різні. Тому доцільно розглянути кожен з них окремо.

Доведення неправомірності використання припущення (1):

$$S_{mз} = S_{mр} \quad (1)$$

Оскільки для розв'язання цієї задачі використано діаграми граничних амплітуд напружень, нагадаємо основні питання, що стосуються циклічної міцності матеріалу і особливостей зазначених діаграм.

В роботі розглядається лише багатоциклова міцність (число циклів до руйнування $N > 5 \cdot 10^4$) з регулярним циклом напружень, що характеризується наявністю одного максимуму і одного мінімуму (рис. 1).

Між параметрами циклу існують прості співвідношення:

$$p_{cp} = (p_{max} + p_{min}) / 2; \quad (2)$$

$$p_a = (p_{max} - p_{min}) / 2; \quad (3)$$

$$p_{max} = p_{cp} + p_a \quad (4)$$

$$p_{min} = p_{cp} - p_a \quad (5)$$

До параметрів циклу напружень належать також коефіцієнт несиметрії

$$R = p_{min} / p_{max} \quad (6)$$

і характеристика

$$r = p_a / p_{cp} \quad (7)$$

Залежність між коефіцієнтом несиметрії і характеристикою циклу

$$r = (1-R) / (1+R); \quad (8)$$

$$R = (1-r) / (1+r). \quad (9)$$

Граничним напруженням при циклічному навантаженні є **межа (границя) витривалості** p_R – найбільше за абсолютною величиною значення циклічного напруження, яке матеріал витримує не руйнуючись базове (задане) число циклів при коефіцієнті несиметрії R .

Стандартний показник циклічної міцності – межа витривалості p_{-1} (S_{-1} чи t_{-1}) за симетричного циклу напружень.

Інші значення p_R визначають графічно або аналітично. При графічному визначенні p_R

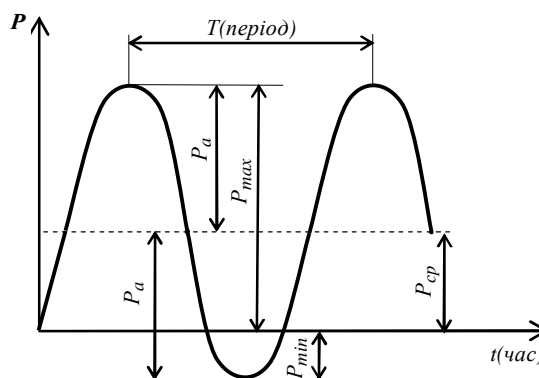


Рис. 1. Регулярний цикл напружень: параметри циклу – максимальне p_{max} , мінімальне p_{min} , середнє p_{cp} , амплітудне p_a напруження

$$y_s = \frac{s_{-1} - s_0/2}{s_0/2}, \quad (12)$$

де s_0 – межа витривалості матеріалу при віднульовому циклі напружень ($s_{\max} = s_0$; $s_{\min} = 0$).

Граничні середнє і амплітуднє напруження

$$s_a^0 = s_{cp}^0 = s_0/2, \quad (13)$$

а характеристика циклу напружень $r_0 = 1$. Тобто $q_0 = 45^\circ$.

За відсутності даних про s_0 величину y_s можна обчислити за формулою [3, с.422]:

$$y_s = 0,02 + 2 \cdot 10^{-4} s_m \quad (s_m \text{ – число МПа}), \quad (14)$$

де s_m – межа статичної міцності матеріалу.

Пряма KD утворює з додатним напрямком осі абсцис кут 135° . Відповідно гострий кут ODK дорівнює 45° .

Довільна точка відтинку KD зображає граничний цикл, максимальнє напруження якого дорівнює межі текучості при розтязі.

Наприклад, максимальнє напруження граничного циклу, що зображений точкою N_m і подібний до робочого циклу M ,

$$s_R(\kappa) = \overline{ON'_m} + \overline{N'_m N'_m} = \overline{ON'_m} + \overline{N'_m D} = s_m.$$

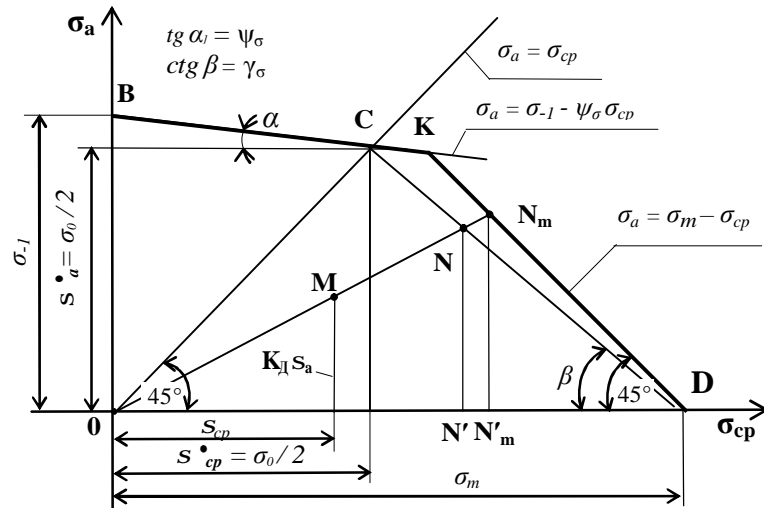


Рис. 3. Схематизовані діаграми граничних амплітуд напружень. Циклічний розтяг-стиск. BKD – діаграма Кінасошвілі, BCD – її модифікація. Сталь 20: $s_m=420$ МПа; $s_m=250$ МПа; $s_{-1}=120$ МПа; $y_s=0,104$; $g_s=1,300$

Модифікована діаграма Кінасошвілі. Модифікована діаграма запропонована автором. Її зображає ламана лінія BCD . Модифікація полягає в заміні характерної точки K точкою C .

Т. C зображає граничний віднульовий цикл напружень. Це точка перетину прямої BK і променя, проведеного з початку координат під кутом 45° до осі абсцис. Відтинки OC – геометричне місце точок віднульових циклів напружень.

Межа витривалості, що відповідає робочому циклу M і визначена за діаграмою BCD , менша межі текучості s_m :

$$s_R(c) = \overline{ON'} + \overline{NN'} < s_R(\kappa) = s_m,$$

так як обидва відтинки, $\overline{ON'}$ і $\overline{NN'}$, менші відповідних відтинків $\overline{ON'_m}$ і $\overline{N'_m N'_m}$.

Рівняння прямої CD :

$$s_a = g_s (s_m - s_{cp}), \quad (15)$$

де $g_s = ctg b$.

Коефіцієнти g_s і y_s пов'язані співвідношенням:

$$g_s = (s_m / s_{-1})(1 + y_s) - 1. \quad (16)$$

Обґрунтування більшої достовірності модифікованої діаграми.

1) Т. C зображає граничний віднульовий цикл, що розмежовує знакопостійні цикли, які належать

відтинку CD , і знакозмінні, які належать відтинку BC .

Тобто вона розмежовує цикли, при яких деформування є принципово різним.

Зміна напрямку деформації протягом кожного періоду знакозмінного циклу спричиняє різке зниження опірності матеріалу циклічному навантаженню.

2) Експериментально встановлено, що за одного і того ж виду деформації максимальне напруження довільного граничного циклу напружень (межа витривалості) завжди менше граничного статичного напруження. Тобто завжди

$$S_R < S_m \quad (17)$$

Пояснення результату експерименту.

При досягненні межі текучості S_m за одноразового розтягу зразка пластична деформація матеріалу відбувається в макрооб'ємі, а при руйнуванні зразка за багатоциклової втоми – в мікрооб'ємі. Деформація в мікрооб'ємі передеє деформації в макрооб'ємі. Вона виникає при меншому рівні напружень. Тому $S_R < S_m$.

Для доведення неправомірності припущення $S_{mз} = S_{mp}$ використаємо рис. 4.

Він відрізняється від рис. 3 наявністю модифікованої діаграми B_1C_1D циклічного згину, побудованої за умови $S_{mз} = S_{mp}$. Матеріал той же – сталь 20.

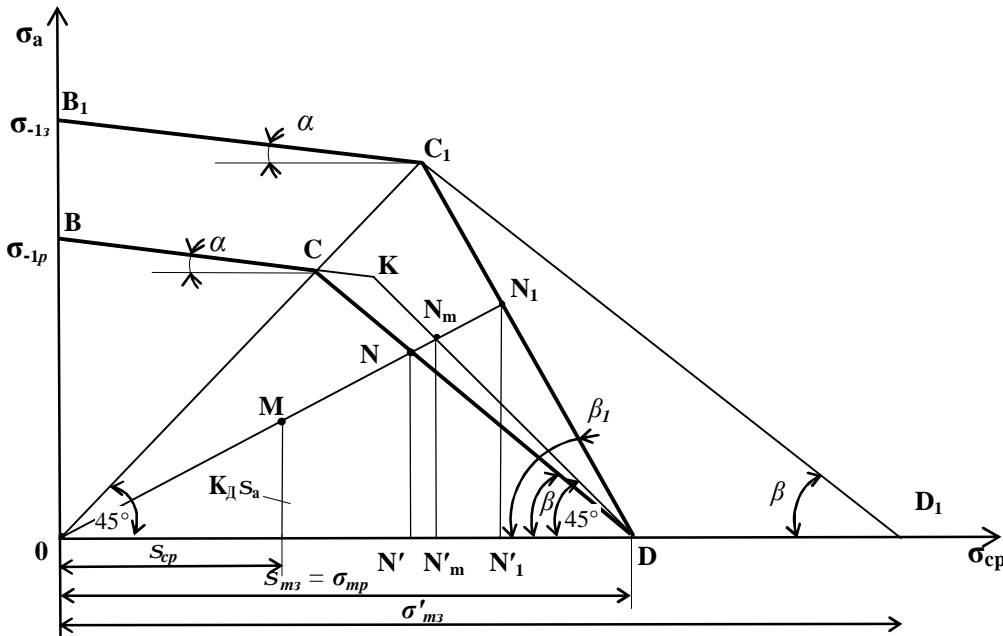


Рис. 4. Схематизовані діаграми граничних амплітуд напружень. Розтяг-стиск: BKD – діаграма Кінасошвілі; BCD – її модифікація. Згин: B_1C_1D – модифікована діаграма Кінасошвілі. Сталь 20: $S_{cp}=420$, $S_{mp}=250$, $S_{-1p}=120$, $S_{-1s}=170$ (с в МПа); $y_s=\text{tga}=0,104$; $g_s=\text{ctgb}=1,300$; $g'_s=\text{ctgb}_1=0,624$

Визначимо графічним способом межі витривалості за обох видів деформацій: розтягу-стиску і згину.

Розглянемо робочі цикли, параметри яких (S_{cp} і $K_D S_a$) однакові. Ці цикли зображає т. M .

Маємо на увазі, що точки лінії KD зображають граничні цикли, максимальне напруження яких дорівнює межі текучості S_{mp} .

Граничне напруження при розтязі-стиску (див. діаграму BCD)

$$S_R(c) = \overline{ON'} + \overline{NN'}$$

Як показано вище, оскільки відтинки $\overline{ON'}$ і $\overline{NN'}$ менші відповідних відтинків $\overline{ON'_m}$ і $\overline{N_mN'_m}$, то межа витривалості при розтязі-стиску менша межі текучості:

$$S_R(c) < S_{mp}$$

Аналогічно визначаємо граничне напруження при циклічному згині (див. діаграму B_1C_1D):

$$S_R(c_1) = \overline{ON'_1} + \overline{N_1N'_1}$$

Так як довжини відтинків $\overline{ON'_1}$ і $\overline{N_1N'_1}$ більші відповідних відтинків $\overline{ON'_m}$ і $\overline{N_mN'_m}$, то межа витривалості при циклічному згині більша межі текучості:

$$S_R(c_1) > S_{mp}. \quad (18)$$

Отже граничне напруження знакопостійного циклу при деформації згину більше межі текучості при розтязі. При статичному згині ця різниця напружень буде більш суттєвою.

Таким чином, неправомірність припущення $S_{mp} = S_{mз}$ доведена.

Межа текучості при згині завжди більша межі текучості при розтязі:

$$S_{mз} > S_{mp}. \quad (19)$$

Орієнтовна межа текучості вуглецевої конструкційної сталі при згині

Як видно із суміщених діаграм Кінасошвілі (рис. 4), відтинки BC і B_1C_1 , що належать діаграмам розтягу-стиску і згину відповідно, паралельні. Так як коефіцієнти чутливості матеріалу $Y_s = tga$ до знакозмінних циклів напружень розтягу-стиску і згину рівні.

Можна сподіватись, що коефіцієнти чутливості $g_s = ctgb$ до знакопостійних циклів також рівні.

А це означає, що відтинки діаграм розтягу-стиску і згину, точки яких зображають відповідні знакопостійні цикли напружень, не можуть мати спільної т. D , а повинні бути паралельними. Тобто $\overline{CD} // \overline{C_1D_1}$.

Тоді точка D_1 зобразить дійсне напруження при статичному згині ($S'_{mз}$ на рис. 4).

В такому разі відношення $\overline{OB_1}/\overline{OB}$ і $\overline{OD_1}/\overline{OD}$ рівні. Тобто

$$\frac{S_{-1з}}{S_{-1р}} = \frac{S_{mз}}{S_{mp}}. \quad (20)$$

І величину межі текучості конструкційної сталі при згині можна визначити із співвідношення:

$$S_{mз} = (S_{-1з}/S_{-1р}) S_{mp}. \quad (21)$$

Для підтвердження правомірності припущення (20) використано механічні характеристики сірих (СЧ) і ковких (КЧ) чавунів, які наведено в таблицях 1 і 2 [4, с.652].

Граничні напруження при згині цих матеріалів відомі.

В таблиці 3 наведено механічні характеристики вуглецевих конструкційних сталей [4, с.646].

Таблиця 1

Механічні характеристики сірих чавунів

Марка	S_{mp}	$S_{mз}$	$S_{-1р}$	$S_{-1з}$	$\frac{S_{mз}}{S_{mp}}$	$\frac{S_{-1з}}{S_{-1р}}$
					МПа	
СЧ 18-36	180	360	35	90	2,00	2,57
СЧ 24-44	240	440	65	120	1,83	1,85
СЧ 28-48	280	480	75	150	1,71	2,00
СЧ 32-52	320	520	70	140	1,63	2,00
СЧ 35-56	350	560	75	150	1,60	2,00
Ср.					1,75	2,08

Таблиця 2

Механічні характеристики ковких чавунів

Марка	S_{mp}	$S_{mз}$	S_{mp}	$S_{mз}$	$S_{-1р}$	$S_{-1з}$	$\frac{S_{mз}}{S_{mp}}$	$\frac{S_{mз}}{S_{mp}}$	$\frac{S_{-1з}}{S_{-1р}}$
							МПа		
КЧ 30-6	300	490	190	310	70	120	1,63	1,63	1,71
КЧ 33-8	330	530	210	330	80	130	1,61	1,57	1,63
КЧ 35-10	350	570	220	340	80	140	1,63	1,55	1,75
КЧ 37-12	370	580	230	350	80	140	1,57	1,52	1,75
КЧ 50-4	500	720	270	420	110	180	1,44	1,56	1,64
Ср.							1,58	1,57	1,70

Механічні характеристики вуглецевих конструкційних сталей

Марка	S_{mp}	S_{-1p} МПа не менше	S_{-13}	$\frac{S_{-13}}{S_{-1p}}$	S_{m3}^* МПа
Сталь 10	210	120	160	1,333	256
- " - 20	250	120	170	1,417	305
- " - 30	300	170	200	1,176	366
- " - 35	320	170	220	1,294	390
- " - 40	340	180	230	1,278	415
- " - 45	360	190	250	1,316	439
- " - 50	380	200	270	1,350	464
- " - 60	410	220	310	1,409	500
Ср.				1,321	

Позначення механічних характеристик в табл. 1, 2, 3.

S_{mp} , S_{m3} і S_{mp} , S_{m3} – межа міцності і межа текучості при розтязі і згині відповідно;

S_{-1p} , S_{-13} – межа витривалості при симетричному розтязі-стиску і згині відповідно.

Як видно з таблиці 1, у разі сірих чавунів середні значення величин S_{-13}/S_{-1p} і S_{m3}/S_{mp} складають 2,08 і 1,75 відповідно.

У разі ковких чавунів (табл. 2) $S_{-13}/S_{-1p} = 1,70$, а S_{m3}/S_{mp} і S_{-13}/S_{-1p} практично однакові і складають 1,58 і 1,57 відповідно.

Для вуглецевих конструкційних сталей $S_{-13}/S_{-1p} = 1,32$ (табл. 3).

Розбіжність q між відношеннями показників циклічної і статичної міцності у разі крихких сірих чавунів

$$q(\text{СЧ}) = 2,08/1,75 = 1,19.$$

Для пластичних ковких чавунів

$$q(\text{КЧ}) = 1,70/1,57 = 1,08.$$

Можна сподіватись, що для більш пластичних (порівняно з ковкими чавунами) конструкційних сталей розбіжність q (КЧ) буде меншою 1,08.

Тому межа текучості вуглецевих конструкційних сталей S_{m3} при згині щонайменше на 22 % ($1,32/1,08=1,22$) вища порівняно з S_{mp} при розтязі.

В табл. 3 наведено очікувані найменші значення межі текучості вуглецевих конструкційних сталей при згині, обчислені за формулою:

$$S_{m3}^* = (S_{-13}/S_{-1p}) S_{mp} / 1,08.$$

Обговорення результатів дослідження

Доведено неправомірність припущення про рівність граничних напружень конструкційних сталей при статичних деформаціях розтягу і згину, яке широко використовується в практиці інженерних розрахунків.

Показано, що навіть при заниженій оцінці межа текучості вуглецевих конструкційних сталей в середньому не менше ніж на 22 % вища порівняно з межею текучості при розтязі.

Враховуючи масштаби використання конструкційних сталей в машинобудуванні і будівельній галузі, важко переоцінити економічний ефект завдяки уточненню показників міцності матеріалів.

Сьогодні розрахунок на циклічну міцність при згині у разі знакопостійного циклу напружень можна виконати лише дуже наближено. Оскільки нема якісної діаграми граничних амплітуд напружень. Із трьох опорних точок B_1 , C_1 і D_1 (рис. 4) лише т. B_1 визначена експериментально. Положення т. C_1 , що зображає граничний віддольовий цикл, визначається кутом α . А кут α (вірніше, $tg \alpha$) визначається з використанням емпіричної формули (14). Точку D опорною вважати, як показано, не можна. А положення т. D_1 невідоме.

На нашу думку, потрібно ввести додаткові показники міцності конструкційних сталей: межі текучості S_{m3} і тимчасової міцності S_{m3} при згині, межі витривалості S_{op} і S_{o3} при віддольових розтязі і згині відповідно.

Затрати на визначення цих показників мізерні порівняно з економічними вигодами.

Висновки

1. Припущення про рівність меж текучості конструкційних сталей при розтязі і згині є неправомірним.
2. Межа текучості вуглецевої конструкційної сталі при згині щонайменше на 22 % вища межі текучості при розтязі.
3. До стандартних механічних характеристик конструкційної сталі повинні належати:
 - 1) межа текучості і межа міцності при згині; .
 - 2) межа витривалості при віддольових циклах розтягу і згину.

Література

1. Павлов В. С. Визначення чинників, що впливають на граничне значення критерію міцності / В. С. Павлов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 1. – С. 37– 43.
2. Павлов В. С. Повна схематизована діаграма граничних амплітуд напружень / В. С. Павлов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 3. – С. 25– 30.
3. Корнілов О. А. Опір матеріалів: [підручник] / О. А. Корнілов. – К.: ЛОГОС, 2002 – 562 с.
4. Писаренко Г. С. Справочник по сопроотивленню материалов / Г. С. Писаренко А. П. Яковлев, В. В. Мат-веев. – К.: Наукова думка, 1988. – 734 с.

Надійшла 26.3.2011 р.

УДК 621.81

Б.Ф. ППА, М.М. РУБАНКА

Київський національний університет технологій та дизайну

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ ВАЛІВ
НЕРЕВЕРСИВНИХ ВУЗЛІВ ТА МЕХАНІЗМІВ МАШИН**

Представлено результати досліджень з удосконалення різьбових з'єднань валів. Запропоновано нову конструкцію з'єднання валів нереверсивних вузлів та механізмів машин – різьбове з'єднання з фрикційною шайбою, що дозволяє знизити величину напружень в різьбовому з'єднанні валів, і тим самим підвищити ефективність його роботи. Наведено метод вибору параметрів та оцінки працездатності і ефективності роботи запропонованого з'єднання валів.

The results of researches are presented from the improvement of screw-thread connections of billows. The new construction of connection of billows of unreversible knots and mechanisms of machines – screw-thread connection is offered with a friction puck, that allows to reduce the size of tensions in screw-thread connection of billows, and the same to promote efficiency of his work. The method of choice of parameters and estimation of capacity and efficiency of work of the offered connection of billows is resulted.

Ключові слова: різьбове з'єднання валів, різьбове з'єднання валів з фрикційною шайбою, напруження в різьбовому з'єднанні, ефективність різьбового з'єднання валів.

Вступ

Надійність та довговічність роботи вузлів та механізмів машин, в тому числі і машин легкої промисловості, в значній мірі залежать від надійності з'єднання валів між собою. В сучасних вузлах та механізмах машин з'єднання валів між собою здійснюється за допомогою муфт [1– 3]. Великий зовнішній діаметр муфт, що в 3 і більше разів перевищує діаметр з'єднуваних валів, та їх вага [1] призводять до збільшення моменту інерції обертальних мас механічної системи, де використовується з'єднання валів, що в свою чергу, викликає значні динамічні навантаження [4] і, в цілому, призводить до зниження надійності та довговічності роботи з'єднання. Відоме також різьбове з'єднання нереверсивних валів [5]. З'єднання валів здійснюється за допомогою циліндричного різьбового стержня, кінці якого загвинчуються в різьбові отвори кінців валів. При цьому торці валів притискаються один до одного, створюючи необхідний момент сил тертя. Недоліком такого з'єднання валів є значні напруження, що виникають в різьбовому з'єднанні, що призводить до зниження надійності та довговічності його роботи.

Таким чином питання удосконалення конструкцій з'єднання валів з метою підвищення надійності та довговічності їх роботи є актуальним для машинобудування, зокрема легкого.

Об'єктом досліджень обрано різьбове з'єднання валів нереверсивних вузлів та механізмів машин та метод вибору його параметрів, здатних забезпечити працездатність такого з'єднання та ефективно підвищити надійність і довговічність його роботи.

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

Завданням досліджень стала розробка нової конструкції різьбового з'єднання валів нереверсивних вузлів та механізмів машин – різьбового з'єднання з фрикційною шайбою.

Основний розділ

Аналіз існуючих конструкцій з'єднань валів дає змогу запропонувати новий тип з'єднання, що

дозволяє підвищити ефективність його роботи. Запропоноване авторами з'єднання (рис. 1) відноситься до різьбового з'єднання нереверсивних вузлів та механізмів машин.

З'єднання валів містить ведучий 1 і ведений 2 вали та засіб для з'єднання валів, виконаний у вигляді різьбового з'єднання, зовнішня різьба 3 якого розташована на кінці 4 ведучого вала 1, а внутрішня різьба 5, параметри якої співпадають з параметрами зовнішньої різьби 3, розташована всередині глухого отвору 6 кінця веденого вала 2. Причому кінець 4 виконано меншого діаметра (зовнішній діаметр різьби) ніж діаметр ведучого вала 1. З'єднання валів містить також фрикційну шайбу 7, розташовану на кінці 4 ведучого вала 1 між його торцем та торцем веденого вала 2. Фрикційна шайба 7 може бути виконана, наприклад, із металокераміки ФМК – 11. В цьому випадку коефіцієнт тертя в зоні притиску торців ведучого 1 та веденого 2 валів до фрикційної шайби 7 збільшується приблизно в 4 рази в порівнянні з випадком відсутності фрикційної шайби [6].

З'єднання ведучого 1 і веденого 2 валів виконується та працює таким чином. Обмежуючи можливість обертання веденого вала 2, у внутрішню його різьбу 5 загвинчують кінець 4 ведучого вала 1 з попередньо надітою на нього фрикційною шайбою 7. При подальшому обертанні ведучого вала 1 його кінець 4 ще більше угвинчується в різьбу 5 глухого отвору 6 веденого вала 2, притискаючи торець ведучого вала 1 до фрикційної шайби 7 та останньої до торця веденого вала 2. За рахунок сил тертя, що виникають в зоні притиску торців валів до фрикційної шайби, та сил пружності кінця 4 ведучого вала 1 здійснюється подальша передача крутного моменту від ведучого вала 1 до веденого вала 2.

Розбір з'єднання валів відбувається у зворотній послідовності.

При цьому слід відмітити, що запропоноване з'єднання валів працює лише за умови нереверсивного їх обертання, що має місце в багатьох типах машин.

Розглянемо особливості розрахунку запропонованого з'єднання валів.

Умова працездатності запропонованого з'єднання має вигляд:

$$T_1 = kT, \quad (1)$$

де T_1 – сила тертя, що виникає в зоні притиску торців валів до фрикційної шайби,

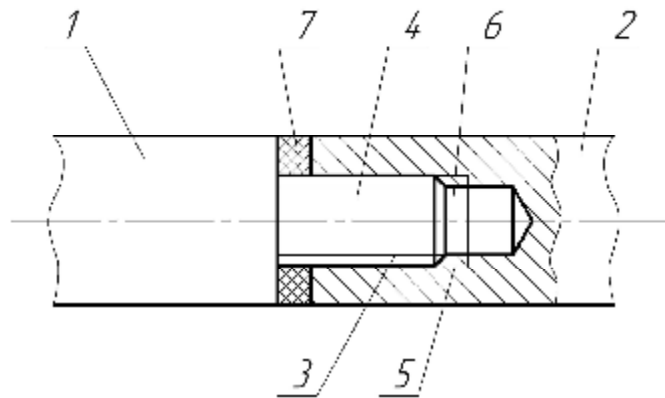


Рис. 1. Схема різьбового з'єднання валів з фрикційною шайбою

$$T_1 = \frac{1}{3} Q f \cdot \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2}, \quad (2)$$

Q – сила притиску торців валів до фрикційної шайби (осьова сила, зумовлена різьбовим з'єднанням);

f – коефіцієнт тертя пар торці валів – фрикційна шайба;

D – діаметр вала;

d – зовнішній діаметр різьби;

k – коефіцієнт надійності з'єднання;

T – крутний момент, що передається ведучим валом веденому.

Із умови міцності різьбового з'єднання валів (з'єднання відноситься до типу різьбових з'єднань, навантажених осьовою силою і крутним моментом) маємо [2]:

$$d_1 = 1,3 \sqrt{\frac{Q}{[s_\delta]}}, \quad (3)$$

де d_1 – внутрішній діаметр різьби;

$[s_\delta]$ – допустиме напруження розтягу матеріалу різьбового стержня (кінець ведучого вала).

Із рівнянь (2), (3), враховуючи умову (1), знаходимо необхідну силу притиску валів:

$$Q = \frac{3kT}{f} \cdot \frac{D^2 - d^2}{D^3 - d^3}, \quad (4)$$

$$Q = \frac{d_1^2 [s_p]}{1,69} = \frac{d^2 [s_p]}{2,856}, \quad (5)$$

де $d_1 = \frac{d}{1,3}$ (для метричних різьб) [2].

Прирівнюючи (4), (5), одержуємо:

$$d = 2,93 \sqrt{\frac{kT}{f[s_p]} \cdot \frac{D^2 - d^2}{D^3 - d^3}} \quad (6)$$

Підставивши (5) в (2), можемо знайти величину крутного моменту, що його може передати різьбове з'єднання валів:

$$T = \frac{d^2 [s_p] f}{8,568 k} \cdot \frac{D^3 - d^3}{D^2 - d^2} \quad (7)$$

При з'єднанні сталевих валів (найбільш поширений випадок в машинобудуванні) та наявності між ними фрикційної шайби, виконаної із металокераміки ФМК – 11, можемо прийняти: $[s_p] = 80 \text{ МПа}$, $f = 0,6$ [3, 6]. Тоді вирази (6), (7) приймають вигляд:

$$d = 0,423 \sqrt{kT \cdot \frac{D^2 - d^2}{D^3 - d^3}}, \quad (8)$$

$$T = 5,61 d^2 \frac{D^3 - d^3}{(D^2 - d^2)k} \quad (9)$$

Прийнявши із конструктивних міркувань $d = 0,5D$, вирази (7), (9) набувають більш зручного для практики інженерних розрахунків вигляду:

$$T = 1,09 d^3 f [s_p] \frac{1}{k}, \quad (10)$$

$$T = 13,08 d^3 \frac{1}{k} \quad (11)$$

Важливим при проектуванні різьбових з'єднань валів запропонованого типу є перевірка їх працездатності із умови обмеження питомого тиску в зоні взаємодії торців валів з фрикційною шайбою:

$$p = \frac{4Q}{p(D^2 - d^2)} \leq [p], \quad (12)$$

де p , $[p]$ – відповідно діючий та допустимий питомий тиск в зоні взаємодії торців валів з фрикційною шайбою.

В якості подальшого удосконалення різьбового з'єднання валів можна запропонувати з'єднання, схема якого представлена на рис. 2. На відміну від запропонованого раніше з'єднання, в даному з'єднанні в кінцях обох валів виконані різьбові отвори, а з'єднання валів здійснюється за допомогою додаткового засобу з'єднання валів, виконаного у вигляді диска зі стержнями 4, 5 з різьбою. З метою збільшення коефіцієнту тертя в зоні взаємодії торців валів з поверхнями диску засобу з'єднання валів використані дві фрикційні шайби 12, 13, надіті відповідно на стержні 4, 5.

Слід відмітити, що з'єднання валів (рис. 2) працездатне лише за умови нереверсивного їх обертання, як і з'єднання, представлене на рис. 1.

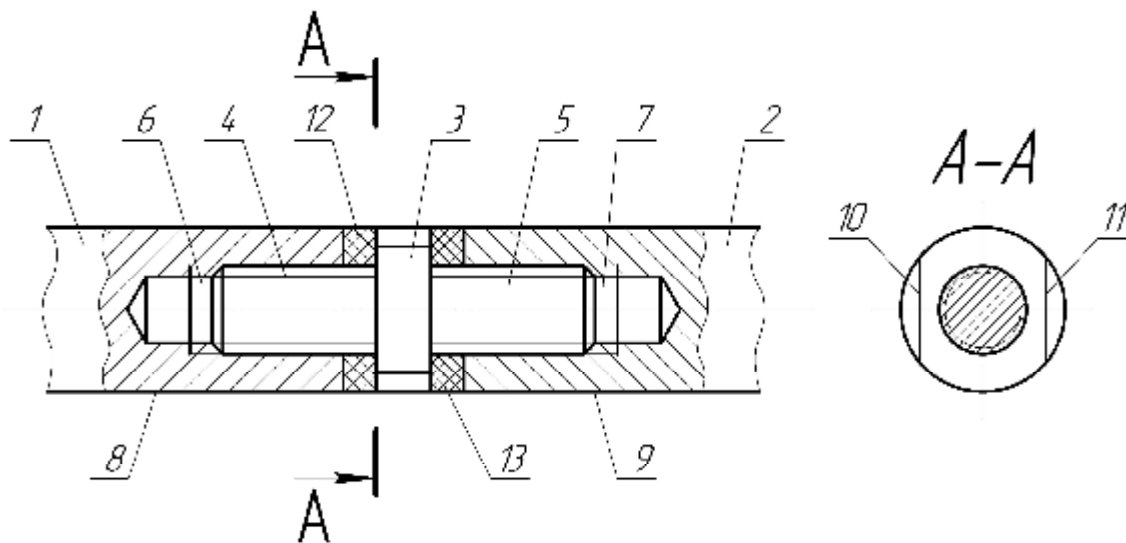


Рис. 2. Схема різьбового з'єднання валів з засобом для з'єднання та фрикційними шайбами: 1 – ведучий вал; 2 – ведений вал; 3 – засіб для з'єднання валів; 4, 5 – різьбові стержні; 6, 7 – різьбові отвори; 8, 9 – поверхні відповідно ведучого та веденого валів; 10, 11 – лиски; 12, 13 – фрикційні шайби

Аналізуючи результати досліджень, можемо зробити наступні висновки:

- запропоноване з'єднання валів відноситься до різьбового з'єднання і може бути використано для з'єднання окремих валів вузлів та механізмів машин між собою, зокрема для з'єднання вала електродвигуна з валом редуктора;
- різьбове з'єднання дозволяє значно зменшити інерційність механічної системи, де воно використовується і, таким чином, зменшити динамічні навантаження, що зумовлює підвищення надійності та довговічності роботи з'єднання;
- запропоноване з'єднання валів працездатне лише при умові нереверсивного їх обертання, що має місце в переважній більшості механізмів і машин;
- навантажувальна здатність запропоновано з'єднання може бути значно підвищена шляхом використання фрикційних шайб, встановлених між торцями валів;
- методика вибору параметрів різьбового з'єднання валів може бути використана при розробці нових перспективних видів з'єднань валів.

Література

1. Поляков В. С. Справочник по муфтам / Поляков В. С., Барабаш И. Д., Ряховский О. А. – [2-е изд.]. – Л.: Машиностроение, 1979. – 351 с.
2. Піпа Б. Ф. Деталі машин / Піпа Б. Ф., Хомяк О. М., Марченко А. І. – К.: КНУТД, 2011. – 358 с.
3. Гузенков П. Г. Детали машин / Гузенков П. Г. – М.: Высшая школа, 1982. – 351 с.
4. Піпа Б. Ф. Динаміка круглов'язальних машин / Піпа Б. Ф., Хомяк О. М., Павленко Г. І. – К.: КНУТД, 2005. – 294 с.
5. Пат. 27215 на корисну модель. Україна. F 16 B 21/00. З'єднання валів / Б. Ф. Піпа, І. В. Поладич (Україна). – Опубл. 25.10.2007, 2 с.
6. Райко М. В. Расчет деталей и узлов машин / Райко М. В. – К.: Техніка, 1966. – 500 с.

Надійшла 3.3.2011 р.

УДК 678.08

Ю.Б. МИХАЙЛОВСЬКИЙ, В.В. ЗАЯЦЬ
Хмельницький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ IMPACT ДЛЯ НЕЛІНІЙНОГО ДИНАМІЧНОГО АНАЛІЗУ МЕТОДОМ СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ У РОТОРНИХ ДИСКОВИХ ПОДРІБНЮВАЧАХ

Розглянуто особливості систем що використовують метод кінцевих елементів для вирішення інженерних та наукових задач. Наведено опис принципу роботи та можливості програмного продукту Impact, що використовується для нелінійного динамічного аналізу методом кінцевих елементів процесу подрібнення полімерних матеріалів у роторному дисковому подрібнювачі.

The features of the systems that use the method of eventual elements for the decision of engineering and scientific tasks have been considered in the article. Description of work principle and possibilities of Impact (software product) that is used for a nonlinear dynamic analysis by the method of eventual elements of growing process of polymeric materials in the rotor-disk grinder has been introduced in the article.

Ключові слова: метод кінцевих елементів, динамічний аналіз, подрібнювач, полімерні матеріали, Impact.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими практичними завданнями

Будь-яка інженерна розробка повинна задовольняти визначені критерії. Відповідність цим критеріям можлива тільки за комплексної оцінки впливу геометричних параметрів, властивостей використовуваних матеріалів і умов роботи виробу. Проведення такого аналізу з урахуванням всезростаючої складності інженерних розрахунків можливе лише із застосуванням найефективніших сучасних комп'ютерних технологій. Задачі з невеликою кількістю факторів доцільно розв'язувати аналітичним способом. Але що робити зі складними задачами, в яких кількість невідомих дуже велика? Для розв'язання таких задач використовуються чисельні методи, в основу яких покладена заміна розрахункової моделі з безперервним розподілом параметрів і нескінченним числом ступенів свободи дискретною моделлю, що має кінцеве число невідомих. Серед чисельних методів найбільш розповсюдженим є метод кінцевих елементів (МКЕ). Цей метод найзручніший для реалізації на ЕОМ.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми

Impact – програмний комплекс для нелінійного динамічного аналізу методом кінцевих елементів. Використовується для виконання інженерного аналізу і допомагає вирішувати багато проблем в області проектування міцних і легких конструкцій, модифікації виробів, що вже випускаються, скоротивши витрати

на виготовлення й випробування дослідних зразків.

Програма розроблена з використанням мови Java і може бути використана в різних операційних системах (Windows, Linux, Solaris, Unix та ін.).

Програмний комплекс **Impact** відноситься до класу програм для виконання нелінійного динамічного аналізу [1– 5], який завжди можна звести до статички (окремий випадок динаміки). Також зручність роботи полягає в тому, що будь-яку кінцево-елементну модель у **Impact** можна вирішити в динамічній постановці, задавши тільки закон зміни діючих навантажень, граничних умов. Комплекс дозволяє знаходити рішення для моделей із пружних і непружних тіл з лінійними і нелінійними характеристиками. Присвоєння властивостей пружних і непружних тіл виконується дуже просто. Процес моделювання теж досить простий і складається з опису геометричної форми з вказуванням властивостей матеріалів і присвоєння закону зміни діючих навантажень, граничних умов. Після розрахунку користувач одержує зміни в часі прискорення, швидкості, переміщень, деформацій, напружень у будь-якій точці створеної моделі. Це дозволяє інженеру проводити аналіз елементів і механізмів досить швидко і точно. Також отримані дані можуть використовуватися і для інших розрахунків, як наприклад, розрахунок втомлюваної міцності, оцінки довговічності конструкції в цілому і в окремих її вузлах і т.д.

Програмний комплекс Impact дозволяє розв'язувати наступні задачі:

- контактні просторові задачі;
- задачі руйнування;
- задачі формування;
- частотний аналіз;
- задачі з великими переміщеннями;
- розрахунок динамічних моделей з пружних, непружних і твердих тіл.

Формулювання цілей статті (постановка завдання)

Метою нашого дослідження була розробка загальної моделі взаємодії робочих органів (дисків) з матеріалом і перевірка їх для конкретних умов та обладнання. А також визначення основних факторів, що впливають на отримання потрібного нам результату, а саме, одержання потрібної дисперсності подрібнених полімерних матеріалів для подальшої переробки.

Виклад основного матеріалу досліджень

Програмний комплекс заснований на основному рівнянні динаміки, в ньому реалізовано наступний алгоритм.

1. Установка початкового стану задачі.
2. Формування матриці мас.
3. Розрахунок внутрішніх зусиль.
4. Корекція значень переміщень за залежністю:

$$\frac{1}{\Delta t^2} \{M\} \{D\}_{n+1} = \{F\}_n^{ext} - \{K\} \{D\}_n + \frac{1}{\Delta t^2} \{M\} \left[\{D\}_n + \Delta t \dot{D}_{n-\frac{1}{2}} \right], \quad (1)$$

де Δt – величина кроку в часі;

$\{M\}$ – матриця мас;

$\{D\}$ – матриця переміщень;

$\{F\}$ – матриця зовнішніх сил;

$\{K\}$ – матриця жорсткості;

n – номер кроку.

5. Корекція швидкостей відповідно за залежністю:

$$\Delta t \left\{ \dot{D} \right\}_{n+\frac{1}{2}} = \{D\}_{n+1} - \{D\}_n. \quad (2)$$

6. Виконання граничних умов.

7. Зберігання результатів розрахунку потокового кроку.

8. Зміна кроку розрахунку, у разі незавершення розрахунку поставленої задачі – повернення до третього етапу.

Impact побудований на модульному принципі і може працювати як цілком в автономному режимі, так й інтегруватися з іншими системами (рис. 1). Для цього він розділений на модулі:

- Pre Processor – використовується для створення геометричної моделі і підготовки вхідного файлу для розрахунку;
- Processor – використовується для коректування і розрахунку моделі;
- Post Processor – використовується для візуалізації результатів розрахунку;
- Graph – використовується для відображення числових даних і графічних залежностей;
- Help – містить опис документації.

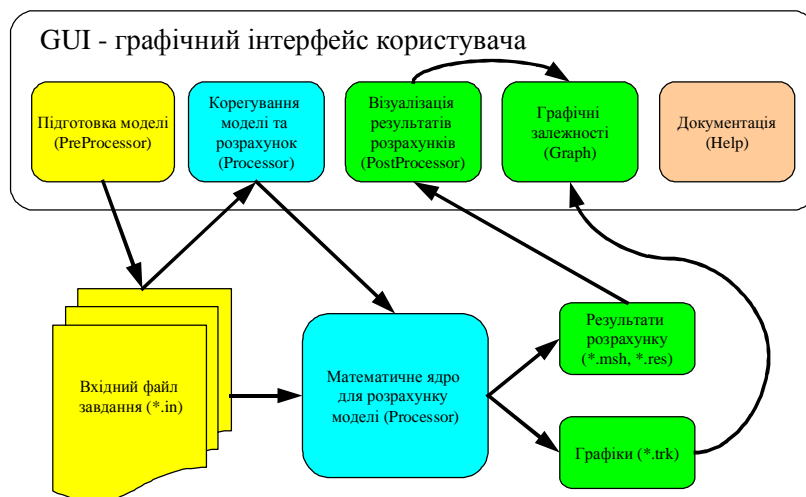


Рис. 1. Структура програмного комплексу Impact

У Impact закладено декілька законів опису властивостей матеріалів. Найпростіший – це пружний закон (**Elastic**). Також є закон, що описує властивості пружно-пластичного матеріалу (**Elastoplastic**). Даний закон дозволяє описати практично будь-який вид матеріалу. Такий опис може відбуватися вказуванням основних параметрів матеріалу або властивості матеріалу можна задавати у вигляді табличних залежностей параметрів. Третій тип матеріалу – пружина (**Spring**). Даний матеріал визначає жорсткість і демфування пружинного елемента і не може бути використаний з іншими типами елементів. Жорсткість і демфування можуть визначатися як функції або константи для всіх напрямків.

На даний момент у програмному комплексі реалізовані основні типи елементів, які дозволяють розв'язувати як двовимірні, так і просторові задачі (табл. 1). Програмний комплекс розроблено з можливістю поповнення бібліотеки новими елементами та матеріалами.

Таблиця 1

Базові типи елементів

Елемент	Опис елемента
	Beam_2 – Елемент, що передає момент обертвi відносно точок защемлення. Contact_Line – Контактний елемент. Rod_2 – Лінійний елемент-стрижень. Beam_Spring_2 – Елемент “пружина” із шістьма ступенями свободи.
	Contact_Triangle – Трикутний контактний елемент. Shell_C0_3 – Тривузловий плоский елемент, визначений у класичній теорії Belytchko.
	Shell_BT_4 – Чотирикутний плоский елемент, описаний Belichko-Tsai.
	Solid_Iso_4 – Ізопараметричний об'ємний елемент заснований на Solid_Iso_6 елементі.
	Solid_Iso_6 – Ізопараметричний об'ємний елемент.

Модель задачі формується в текстовому форматі, використовуючи спеціальну структуру даних.

Вхідні дані для розрахунку записуються в текстовому форматі файлу (*.in) і для їхнього створення може бути використаний PreProcessor, Processor чи будь-який текстовий редактор.

Структура даних складається з блоків, що можуть бути розташовані в будь-якій послідовності і можуть бути присутніми або відсутніми. Єдиним виключенням є блок Controls, який обов'язково повинен бути. Ключові слова і параметри можуть бути записані як прописними так і малими літерами (тобто регістр не враховується і це не призводить до помилки). Кожен блок має свої ключові слова і повинен починатися з

нового рядка і ключового слова, що визначає назву блоку. Далі представлений опис блоків і команд:

```
# Блок керування, в якому описуються команди контролюючі процес рішення
# і запису результатів. Використовується тільки один блок контролю.
CONTROLS
run from 0.0 to 1.0 step 0.00001
print every 0.01 step

# Блок визначає закон опису матеріалу. У цьому блоці описуються однотипні
# матеріали. При описанні може використовуватися кілька блоків матеріалів.
MATERIALS OF TYPE Elastic
Steel E = 200 NU = 0.3 RHO = 0.0000078
.....

# Блок визначає граничні умови. Реакції зв'язку дозволяють керувати
# переміщенням вузлів у різних напрямках за допомогою прискорень і
# швидкостей вузла. Для визначення цього необхідно вказати тільки ті
# компоненти прискорень і швидкостей, що діють на вузол.
# При цьому інші вказувати не потрібно. Якщо одна зі складових не
# зазначена, то вузол у цьому напрямку вільний. При описі може
# використовуватися кілька блоків граничних умов.
CONSTRAINTS OF TYPE Boundary_Condition
Fixed_All VX = 0 VY = 0 VZ = 0 VRX = 0 VRY = 0 VRZ = 0 AX = 0 AY = 0 AZ = 0 ARX = 0
ARY = 0 ARZ = 0
.....

# Блок опису зусиль, тиску і крутних моментів. Кожне зусилля описується з
# нового рядка і одним рядком. Значення обумовлені в цьому блоці, можуть
# застосовуватися до вузлів та деяких елементів. При описанні може
# використовуватися кілька блоків опису зусиль.
LOADS
Forcel FX = 0.05 FY = 0.05 AX = [0,0,1,1.5,5,off, 6,3,100,3] P = 3.0
.....

# Блок опису вузлів. Кожен рядок повинен визначати вузол (по одному вузлі
# в рядку). Impact розроблений для тривимірних просторових задач. Це
# означає, що для кожного вузла завжди повинні бути визначені три
# просторові координати. Якщо потрібно вирішити двовимірну задачу, кожен
# вузол повинен бути обмежений в русі у напрямку третьої координати.
NODES
1 X = 0.00 Y = 0.00 Z = 0.0 Constraint = FIXED
2 X = 0.00 Y = 50.0 Z = 0.0 Load = Forcel
3 X = 100.0 Y = 0.00 Z = 0.0
.....

# Блок визначає тип кінцевих елементів. Тільки один тип елементів може
# визначатися в цьому блоці. Якщо в моделі використовуються різні типи
# кінцевих елементів, то вони обов'язково описуються в різних блоках.
ELEMENTS OF TYPE Rod_2
1 nodes = [1,2] D = 10.0 Material = Steel
.....
ELEMENTS OF TYPE Shell_C0_3
323 nodes = [3,6,5] T = 10 material = Steel
.....
ELEMENTS OF TYPE Shell_BT_4
493 nodes = [3,6,5,4] nip = 5 t = 10 Material = Steel
.....
```

Розв'язання проблеми передбачає визначену послідовність дій. Але ця послідовність є лише загальною і може змінюватися відповідно до процесу підготовки моделі. Типова послідовність вирішення проблеми приводиться до наступної послідовності кроків.

Для реалізації нашої мети спочатку опишемо процес подрібнення полімерних відходів в нашому роторному дисковому подрібнювачі. Матеріал подається в зону робочої камери. Тут під впливом профільних дисків, які виконують функцію ножа, та нерухомих пластин, які виконують функцію контр-ножа, матеріал руйнується за рахунок зсувних деформацій. Процес подрібнення відбувається до того часу поки не отримаємо потрібну дисперсність, яка регулюється розміром отворів на ситі. Отже, виходячи з конструктивних обмежень, створюємо загальну модель, яка враховує:

- окружну швидкість руху дисків;
- геометрію елементів як дисків, так і шматків матеріалу;
- властивості матеріалів як дисків, так і подрібнюваного матеріалу;
- сили тертя дисків при обертанні;
- сили тертя при взаємодії дисків з матеріалом;
- матеріал, що може знаходитись як у вільному стані, так і взаємодіяти з іншими шматками.

Після опису загальної моделі реалізуємо її в програмному комплексі Impact.

Отже, на першому етапі – підготовка моделі. Для створення геометричної моделі і підготовки вхідного файлу для розрахунку використовується Pre Processor. Спочатку, як було сказано вище, створюємо геометричний об'єкт. Далі йде розбивка на сітку. Наступним кроком є задавання початкових і граничних умов, властивостей матеріалу та параметрів розрахунку. Все це зберігаємо у файлі та проводимо розрахунок.

На другому етапі коректуємо і розраховуємо модель за допомогою Processor. Після того, як модель створена, вона зберігається у файлі моделі, який можна розрахувати за допомогою Processor.

На третьому етапі, для візуалізації результатів розрахунку використовується Post Processor; за допомогою цього модуля створену модель можна покроково спостерігати в процесі розрахунку і, залежно від результатів, змінювати параметри моделі, а також слідкувати за розподілом навантажень, зміною деформацій і напружень. В результаті розрахунку за заданими параметрами кроку дані зберігаються на твердому диску у вигляді результатів розрахунку. Результати розрахунків представлені нижче.

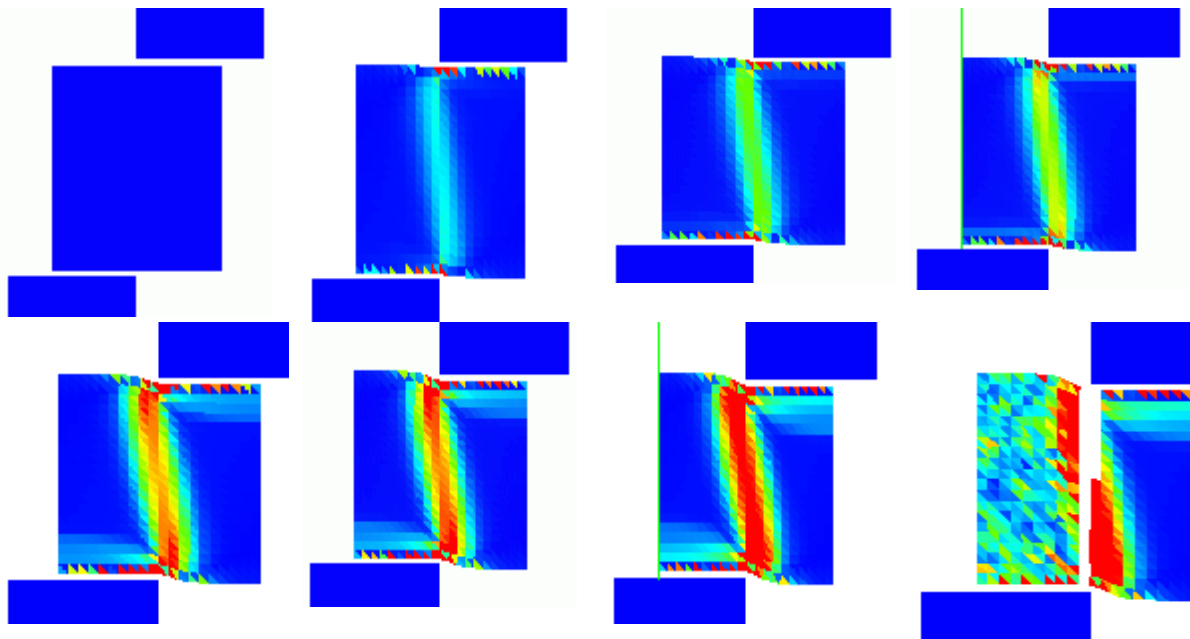


Рис. 2. Результати моделювання в програмному комплексі Impact

Висновки і перспективи подальшого розвитку даного напрямку

Розроблено модель та методику моделювання, яка дозволяє визначити питому роботу подрібнення залежно від конструктивних та технологічних параметрів. При цьому враховуються матеріал диска та його параметри, а також враховуються властивості матеріалу, що переробляється, та ступінь його дисперсності.

При проектуванні, за допомогою представленої моделі, можна буде визначити всі існуючі параметри і фактори взаємодії інструменту з матеріалом. В подальшому представлена модель може бути використана для загального проектування дискових роторних подрібнювачів.

Література

1. Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures – Ted Belytschko, Wing Kam Liu, Brian Moran., 1989.
2. Explicit Algorithms For The Nonlinear Dynamics Of Shells – Ted Belytschko, Jerry I. Lin, Chen-Shyh Tsay., 1984.
3. Скиба М. Є., Михайловський Ю. Б., Головка Г. С. Моделювання процесу подрібнення композиційних матеріалів з використанням методу скінчених елементів / М. Є. Скиба, Ю. Б. Михайловський, Г. С. Головка // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2003. – № 6. – С. 7– 10.
4. Concepts And Applications Of Finite Element Analysis, Third edition – Robert D. Cook, David S. Malkus, Michael E. Plesha, ISBN 0-471-84788-7
5. The Finite Element Method – Linear Static and Dynamic Finite Element Analysis – Thomas J. R. Hughes, ISBN 0-484-41181-8
6. Nonlinear Finite Elements for Continua and Structures – Ted Belytschko, Wing Kam Liu, Brian Moran. ISBN 0-471-98773-5
7. Explicit Algorithms For The Nonlinear Dynamics Of Shells – Ted Belytschko, Jerry I. Lin, Chen-Shyh Tsay, Computer methods in applied mechanics and engineering 42 (1984), page 225– 251
8. An Explicit Formulation For An Efficient Triangular Plate-Bending Element – Jean-Louis Batoz, International journal for numerical methods in engineering, Vol. 18, page 1077-1089 (1982)

Надійшла 21.3.2011 р.

ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ СИЛОВОЇ ФІКСАЦІЇ ПАКЕТУ ДЕТАЛЕЙ ПЕРЕД ЇХ СКРІПЛЕННЯМ У ЗАГОТОВКУ

В статті наводиться фізична модель процесу силової фіксації деталей при складанні заготовок верху взуття. Розглядається фіксація виробів, які складаються з одного, двох та трьох шарів матеріалу. Наведено математичні залежності, що описують даний процес.

In the article analytical research of process of the power fixing of details is pointed at drafting of purveyances of top of shoe. Fixing of wares which consist of one, two and three layers of material is examined in detail. Mathematical dependences which describe the process are resulted.

Ключові слова: заготовки верху взуття, деталі верху взуття, попередня фіксація, палета.

Вступ

Загальновідомо, що виготовлення заготовок верху взуття (ЗВВ) за допомогою традиційного скріплення деталей на швейних машинах можливо реалізувати за допомогою двох методів: послідовного, коли кожна наступна деталь по чергово приєднується до попередніх, і паралельного, за якого одночасно зшиваються усі деталі заготовки. Очевидно, що перша схема як більш універсальна передбачає ручне виконання усіх допоміжних операцій і тому є менш продуктивною, що суттєво збільшує собівартість виробництва. На відміну від неї друга більш продуктивна, і крім того дозволяє стабільно випускати вироби підвищеної якості за рахунок локалізації людського фактора. Хоча слід визнати, що ці переваги стають відчутними лише при масовому виробництві. Поряд з цим, застосування другої схеми обов'язково потребує наявності автоматизованого обладнання, оснащеного спеціальною оснасткою (палетами), що робить її використання неефективним при випуску малих серій і відповідно малоприйнятним для малих підприємств. У той же час, на сучасному етапі розвитку взуттєвої промисловості саме малі підприємства стали найбільш розповсюдженими організаційними структурами в галузі. Це пояснюється тим, що цей тип виробництва є більш динамічним з точки зору зміни асортименту і має ряд інших маркетингових переваг.

Усі відомі схеми та конструкції палет мають один суттєвий недолік, пов'язаний з їх обмеженими технологічними можливостями. Останнє визначається їх вузькою спеціалізацією і можливістю застосування лише для конкретних моделей взуття. Крім того одна палета може використовуватись тільки для обмеженого розмірного ряду, який, як правило, не перевищує трьох розмірів. Таке обмеження суттєво підвищує собівартість виробництва, струмуючи тим самим можливості подальшого застосування засобів автоматизації складальних процесів при виробництві малих серій. Тому постає проблема адаптації сучасних засобів автоматизації саме до умов малих підприємств.

Аналіз досліджень та публікацій

Загальноприйнята, технологічно обумовлена схема [1] фіксування в потрібному положенні деталей перед складанням ЗВВ має забезпечити умови, за яких контури поверхонь, які спрягаються, чи зони спряження будуть розташовуватись в межах встановленого допуску одна відносно одної. Умови такого контакту можуть бути різними [2], але вони мають надійно забезпечити збереження потрібного положення об'єктів складання, повністю виключивши при цьому будь-який вплив навколишнього середовища.

В умовах автоматизованого виконання процесу, що розглядається, його якісне забезпечення можливе лише при дотриманні наступних вимог:

- недопущення відносного зміщення деталей в процесі формування пакету та його скріплення у ЗВВ;
- забезпечення вільного доступу робочих органів обладнання, які скріплюють деталі по шву, під час складального процесу;
- створення умов для розширення номенклатури моделей і розмірів заготовок, що має забезпечуватись конструкцією спеціальної оснастки при мінімальній кількості її переналагоджувань.

Відповідно для проектування таких пристосувань, в першу чергу, необхідно дослідити явища, які безпосередньо відбуваються у зоні контакту деталей ЗВВ з робочими органами оснащення.

Раніше нами було визначено [3], що найбільш ефективним та вживаним на сьогодні є силовий спосіб фіксації пакетів деталей ЗВВ з затисканням останніх по площині в процесі отримання виробу.

Формулювання цілей статті

В даній роботі розглядається процес силової фіксації елементів плоских багатопарових виробів. Зокрема обґрунтовуються запропоновані припущення для побудови фізичної моделі процесу силової фіксації деталей при виготовленні ЗВВ за допомогою розробленої конструкції універсальної палети [4].

Виклад основного матеріалу досліджень

Відомо, що ЗВВ складається з деталей, деформаційні властивості матеріалів яких описуються складними рівняннями [5]. Зокрема [6, 7] вітчизняні та зарубіжні науковці неодноразово вказували, що матеріал ЗВВ є в'язко-пружним. Тобто матеріали такого типу можливо математично змоделювати за допомогою відомих фізичних моделей (рис. 1). Пружиною моделюються пружні властивості матеріалу деталей, а гідравлічним поршнем – його в'язкі властивості.

В подальшому погляди науковців на ці процеси дещо розходились. Так, представники Литовської школи [6] пропонували розглядати деформаційну поведінку матеріалів верху взуття як нелінійну, з нелінійним гідравлічним чи негуківським пружним елементом.

Так як для конструювання обладнання необхідно визначити фізичну суть деформації та математично описати ці процеси, науковцями нашого університету були розглянуті усі їх можливі види для матеріалів легкої промисловості, які виникають під час формування деталей стисканням чи розтягом. Фізична модель, яка найбільш точно характеризує процес деформації матеріалу на їх думку – це модель в'язко-пружної деформації. Тобто, коли матеріал в деформованому стані, частина пружної деформації переходить в пластичну, а частина – в еластичну. Через деякий час, коли сили пружності стануть меншими від границі плинності матеріалу деталі, пластична деформація зникає раптово, а еластична – поступово і залишається лише пластична деформація [8].

Проте, науковцями Київської [9] та Московської [10] наукових шкіл було встановлено, що матеріал деталей легкої промисловості в певному проміжку деформацій можна розглядати як пружний. Тобто на підставі вище наведених результатів та відомих досліджень [10, 11, 12], за умови, що для всіх резонансних кривих для матеріалів деталей, коли частота силової дії прямує до 0, можна у першому наближенні припустити, що відношення величини прикладеної сили F до коефіцієнту жорсткості k , буде відповідати закону Гука.

Отже, матеріал деталей верху взуття, що фіксується в спеціальному пристосуванні стисканням в першому наближенні, будемо розглядати як пружний.

Тому, для побудови фізичної моделі процесу фіксації деталей методом їх затискання за допомогою спеціальної оснастки при виготовленні ЗВВ, нами були зроблені наступні припущення:

1. Вважаємо, що у першому наближенні матеріал деталей має на діаграмі розтягу початкову ділянку, що описується законом Гука.

2. Фізико-механічні властивості матеріалів деталей, що фіксуються, однакові.

3. Усі робочі поверхні притискних елементів, що фіксують деталі в пакеті, не деформується і мають однакові фізико-механічні властивості.

4. В процесі отримання ЗВВ дією маси притискних елементів на шари деталей, що з'єднуються, нехтуємо, беручи до уваги лише зовні прикладену силу притискання.

З розгляду фізичної моделі процесу фіксації деталей ЗВВ, у відповідності до прийнятих припущень, стає очевидним, що при деформуванні матеріалу деталей виникає сила, яка прагне відновити їх початкові розміри та форму. Сила пружності буде пропорційна деформації тіла деталі.

Відповідно розподіл зусиль при фіксації одного шару матеріалу, наприклад союзки, матиме наступний вигляд:

$$F + kx + mg - N_1 - N_2 = F + F + mg - F - (F + mg) = 0, \quad (1)$$

де F – сила стискання шару матеріалу деталі;

x – величина деформації;

k – коефіцієнт пружності матеріалу деталі;

m – маса деталі;

N_1 – нормальна реакція деталі, $N_1 = F$;

N_2 – нормальна реакція з урахуванням ваги деталі, $N_2 = F + mg$.

Рівняння рівноваги для схеми фіксації пакету, що складається з двох деталей, наприклад союзки та беречь матиме наступний вигляд:

$$\begin{aligned} F + kx_1 + m_1g + kx_2 + m_2g - N_1 - N_2 - N_3 = \\ = F + \frac{F}{2} + m_1g + \left(\frac{F}{2} + m_1g\right) + m_2g - F - \left(\frac{F}{2} + m_1g\right) - \left(\frac{F}{2} + (m_1 + m_2)g\right) = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

де kx_1 – деформація першої деталі, оскільки в системі їх дві, то $kx_1 = F/2$;

kx_2 – деформація другої деталі з урахуванням дії ваги першої, $kx_2 = F/2 + m_1g$;

m_1, m_2 – маси верхньої і нижньої деталей відповідно;

N_1 – нормальна реакція матеріалів двох деталей, $N_1 = F$;

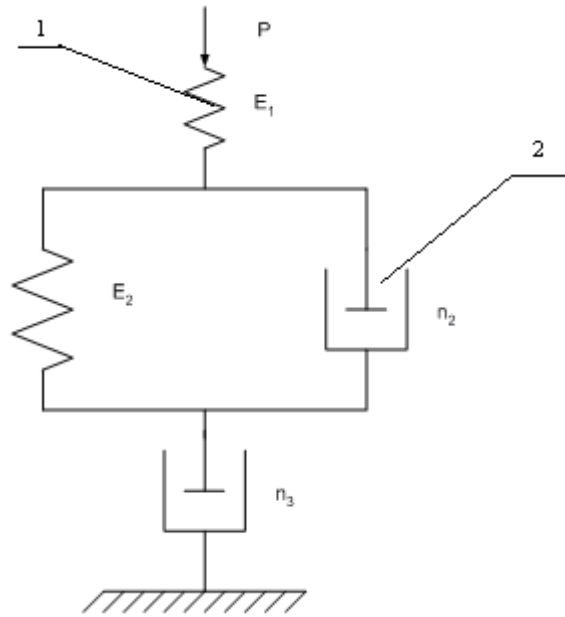


Рис. 1. Модель в'язко-пружної деформації: 1 – пружина, 2 – поршень, E_1, E_2 – модулі пружності матеріалу, h_1, h_2 – характеристика плинності матеріалу

N_2 – нормальна реакція першої пружини з урахуванням її ваги, $N_2 = F/2 + m_1g$;

N_3 – нормальна реакція другої пружини з урахуванням ваги обох пружин, $N_3 = F/2 + (m_1 + m_2)g$.

Розподілення зусиль при фіксації трьохшарових пакетів деталей, що складаються з союзки з накладеними берцями та настрочним язичком, аналогічно буде визначатися рівнянням:

$$\begin{aligned} & F + kx_1 + m_1g + kx_2 + m_2g + kx_3 + m_3g - N_1 - N_2 - N_3 - N_4 = \\ & = F + \frac{F}{3} + m_1g + \left(\frac{F}{3} + m_1g\right) + m_2g + \left(\frac{F}{3} + (m_1 + m_2)g\right) + m_3g - \\ & - F - \left(\frac{F}{3} + m_1g\right) - \left(\frac{F}{3} + (m_1 + m_2)g\right) - \left(\frac{F}{3} + (m_1 + m_2 + m_3)g\right) = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

де kx_1 – деформація першої пружини, оскільки в системі їх три, то $kx_1 = F/3$;

kx_2 – деформація другої пружини з урахуванням дії ваги першої, $kx_2 = F/3 + m_1g$;

kx_3 – деформація третьої пружини з урахуванням дії ваги першої та другої, $kx_3 = F/3 + m_1g + m_2g$;

m_1, m_2, m_3 – маси верхньої, середньої і нижньої пружини відповідно;

N_1 – нормальна реакція від трьох пружин, $N_1 = F$;

N_2 – нормальна реакція першої пружини з урахуванням її ваги, $N_2 = F/3 + m_1g$;

N_3 – нормальна реакція другої пружини з урахуванням ваги обох пружин, $N_3 = F/3 + (m_1 + m_2)g$;

N_4 – нормальна реакція третьої з урахуванням ваги трьох пружин, $N_4 = F/3 + (m_1 + m_2 + m_3)g$.

На нашу думку, згідно з запропонованою фізичною моделлю в подальшому буде можливо змодельовати, аналітично описати та визначити необхідну величину фіксуєчого зусилля для виготовлення багатошарових виробів легкої промисловості за допомогою спеціальних пристосувань.

Висновки

1. В першому наближенні припускається можливість моделювання матеріалу деталей як пружних елементів.

2. На цій основі запропонована фізична модель процесу силової фіксації багатошарових конструкцій ЗВВ, що складаються з одно-, дво- чи трьохшарового пакету деталей.

3. Запропонований підхід дозволить в подальшому дослідити силовий метод попередньої фіксації деталей ЗВВ за допомогою спеціальної оснастки. При цьому буде можливо визначити величину необхідного зусилля притискання шарів пакету деталей, що не викличе пошкодження поверхні їх матеріалів і буде гарантувати надійне збереження положення окремих деталей в пакеті при виготовленні ЗВВ.

Література

1. Тонковид Л.А. Автоматизация сборочных процессов в обувном производстве / Тонковид Л. А. – К.: Техніка, 1984. – 248 с.
2. Горященко С.Л. Розробка пристроїв для автоматизованого складання плоских заготовок верху взуття: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.10 “Машины легкої промисловості” / С. Л. Горященко. – К., 2001. – 17 с.
3. Майдан П.С. Класифікація способів та методів попередньої фіксації плоских деталей верху взуття перед їх з'єднанням у заготовку / П. С. Майдан, Г. М. Драпак // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 3. – С. 90–95.
4. Пат. 44619 Україна, МКВ⁷ А 43 D 111/00. Палета для складання багатошарових плоских виробів / Майдан П. С., Горященко С. Л., Драпак Г. М.; заявник та власник Хмельницький нац. ун-т. – № 200904066; заявл. 27.04.2009; опубл. 12.10.2009, Бюл. № 19.
5. Майдан П. С. Аналіз математичних моделей процесу фіксації плоских м'яких заготовок верху взуття: праці IV всеукр. наук. – техн. конф. [“Актуальні проблеми комп'ютерних технологій”], (Хмельницький, червень 2010 р.) / Майдан П. С // Мін-во освіти і науки України, Хмельн. націон. ун-т. – Хмельницький: ХНУ АН України, 2010. – С. 200–205.
6. Миллюшас В. Исследование текстильных материалов при постоянной деформации / В. Миллюшас // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. – 1974. – № 4. – С. 36–39.
7. Лыба В.П. Теория и практика проектирования комфортной обуви: автореф. дис. на соискание науч. степени доктор техн. наук: 05.19.06 “Технология обувных, коженно-галантерейных и шорных изделий” / Лыба Владимир Петрович. – К., 1996. – 38 с.
8. Кармаліта А.К. Методика математичного моделювання технології та механізмів легкої промисловості: [навч. посібник для студ. технол. та механ. спец. вищ. навч. закл. та спец. лег. пром.] / Кармаліта А. К., Піскорський Г. А., Скиба М. Є. – К.: ІЗМН, 1997. – 184 с.
9. Поломошных С.П. Исследования поштучного отделения из накопителя мягких деталей верха обуви: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.02.13 “Машины и агрегаты” / С.

П. Поломошных. – К., 1978. – 22 с.

10. Белокуров В.П. Развитие теоретических основ и разработка методов определения вязкоупругости материалов легкой промышленности в квазистатическом и динамическом резонансном режиме: автореф. дис. на соискание науч. степени доктора техн. наук: спец. 05.19.01 “Материаловедение производств текстильной и легкой промышленности” / В. П. Белокуров. – М., 2007. – 49 с.

11. Колесникова П. А. Эксплуатационные свойства тканей и современные методы их оценки / Колесникова П. А. – М.: Ростехиздат, 1960. – 475 с.

12. Кукин Г. Н. Учение о волокнистых материалах / Г. Н. Кукин, А. Н. Соловьев – М.: Гизлегпром, 1949. – 377 с.

Надійшла 14.3.2011 р.

УДК 677.055

Б.Ф. ППА, В.П. МІСЯЦЬ

Київський національний університет технологій та дизайну

ЗНИЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАПРУЖЕНЬ У ГОЛЦІ В'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ

Представлено результати досліджень впливу жорсткості системи голка – клин на динамічні напруження, що виникають у голці в'язальної машини при ударі її об клин.

The results of researches of influence of inflexibility of the system are presented a needle is a wedge on dynamic tensions which arise up in the needle of knitting machine at the blow of it at a wedge.

Ключові слова: голка в'язальної машини, удар голки об клин, ударні хвилі напружень, динамічні напруження.

Вступ

Особливістю роботи голки в'язальної машини є ударна взаємодія її з клином [1– 7]. При цьому в момент удару голки об клин у її стержні виникають ударні хвилі напружень (динамічні напруження [8]), що є однією із основних причин відмовлення голок (руйнування гачка голки). Існуючий метод визначення величини динамічних напружень, що виникають у стержні голки при ударі її об клин, недосконалий, оскільки при цьому розглядається випадок жорсткого удару голки (стержня) об клин. У дійсності ж при ударі голки об клин має місце пружний удар, зумовлений жорсткістю системи голка-клин. Тому питання досліджень впливу жорсткості системи голка – клин на динамічні напруження, що виникають в голці при взаємодії її з клином, є актуальним для теорії проектування в'язальних машин.

Об'єктом досліджень обрана пара голка – клин в'язальної машини та аналіз впливу її жорсткості на динамічні напруження у стержні голки.

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

Завданням досліджень стало удосконалення теорії ударної взаємодії голки в'язальної машини з клином з метою оцінки впливу жорсткості системи голка – клин на величину динамічних напружень, що виникають при цьому у голці.

Основний розділ

При розгляді питання розповсюдження хвиль напружень, що виникають у момент удару, розглянемо стержень, схема якого представлена на рис. 1, а. Вісь стержня приймаємо за вісь Х. Сила удару прикладена до точки О стержня.

За початкові умови приймаємо: при $t = 0$

$$u = 0; \quad \frac{\partial u}{\partial t} = 0;$$

$$\text{гранична умова (при } x = 0): \quad EF \frac{\partial u}{\partial x} = -N(t),$$

де $u = u(x, t)$ – подовжнє переміщення перетину стержня при ударі;

E – модуль нормальної пружності матеріалу стержня;

F – площа поперечного перерізу стержня;

$$\frac{\partial u}{\partial x} = e \text{ – відносне подовження стержня;}$$

$N(t)$ – зусилля стиску, зумовлене ударом.

Очевидно: $N(t) \equiv 0$ при $t \leq 0$.

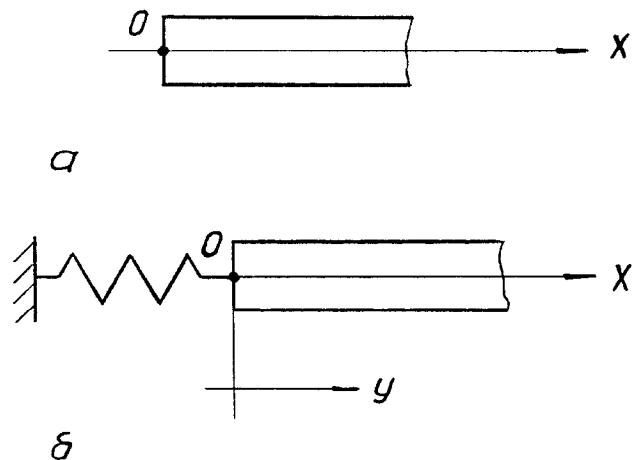


Рис. 1. До аналізу процесу поширення пружної подовжньої хвилі напружень у стержні голки в'язальної машини: а – при жорсткому ударі голки об клин; б – при пружному ударі голки об клин

Переміщення перетинів стержня в момент удару описується диференціальним рівнянням:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2}, \quad (1)$$

де $a = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$ – швидкість поширення звуку в матеріалі стержня;

ρ – масова погонна щільність матеріалу стержня.

Припустимо, що вздовж стержня поширюється подовжня хвиля:

$$u = f(x - at), \quad (2)$$

що задовольняє рівняння (1).

Тоді рівняння руху перетинів стержня можна представити у вигляді:

$$\frac{\partial u}{\partial x} - f'(x - at). \quad (3)$$

Розв'язуючи рівняння (3) з використанням граничних умов, маємо:

$$EFf'(-at) = -N(t).$$

Звідки:

$$f'(-at) = -\frac{N(t)}{EF}. \quad (4)$$

Вираз (4) запишемо у вигляді:

$$-\frac{1}{a} \cdot \frac{d}{dt} f(-at) = -\frac{N(t)}{EF}.$$

Або у вигляді:

$$\frac{d}{dt} f(-at) = \frac{aN(t)}{EF}. \quad (5)$$

Рішення рівняння (5) знайдемо, використовуючи метод варіації довільної постійної, проінтегрувавши:

$$f(-at) = \int_0^t \frac{aN(t)}{EF} dt = \frac{a}{EF} \int_0^t N(t) dt. \quad (6)$$

З рівняння (6) маємо:

$$f(x - at) = \frac{a}{EF} \int_0^{t - \frac{x}{a}} N(t) dt = u(x, t).$$

Використовуючи отриману залежність (6), можна знайти подовжнє переміщення перетинів стержня при ударі.

Розглянемо тепер випадок удару стержня з урахуванням його пружних властивостей (пружний удар) – рис. 1, б.

При ударі стержня подовжнє переміщення його перетинів визначається з умови:

$$W = u(x, t) + v_0 t,$$

або, враховуючи (6):

$$W = \frac{a}{EF} \int_0^{t - \frac{x}{a}} N(t) dt + v_0 t. \quad (7)$$

де W – подовжнє переміщення перетину стержня при ударі (пружний удар);

v_0 – початкова швидкість стержня (швидкість удару).

Зусилля стиску, зумовлене ударом, знаходиться з рівняння:

$$N(t) = cy(t), \quad (8)$$

де c – жорсткість стержня (пари голка– клин) в зоні удару.

Підставляючи (8) у (7), знаходимо:

$$W = \frac{ac}{EF} \int_0^{t - \frac{x}{a}} y(t) dt + v_0 t. \quad (9)$$

Рівняння (9) представимо у виді:

$$\frac{ac}{EF} \int_0^t y(t) dt + v_0 t = y(t). \quad (10)$$

Розв'язуючи рівняння (10), одержуємо:

$$\frac{ac}{EF} y(t) + v_0 = \frac{d}{dt} y(t),$$

або:

$$y'(t) - \frac{ac}{EF} y(t) = v_0. \quad (11)$$

Розв'язуючи (11), знаходимо:

$$y(t) = -\frac{EF}{ac} v_0 + A e^{\frac{ac}{EF} t}. \quad (12)$$

Постійну інтегрування A знаходимо, використовуючи початкові умови: при $t = 0$ $y(t) = 0$:

$$A = \frac{EF}{ac} v_0. \quad (13)$$

Підставляючи (13) у (12), маємо:

$$y(t) = \frac{EF}{ac} v_0 \left(-1 + e^{\frac{ac}{EF} t} \right). \quad (14)$$

Зусилля стиску визначимо, підставивши (14) у (8):

$$N(t) = \frac{EF}{a} v_0 \left(-1 + e^{\frac{ac}{EF} t} \right). \quad (15)$$

Напруження в перетинах стержня при ударі будуть дорівнювати:

$$s(t) = \frac{N(t)}{F} = \frac{E}{a} v_0 \left(-1 + e^{\frac{ac}{EF} t} \right). \quad (16)$$

Представивши голку у вигляді стержня кусочно-перемінного перетину, величину максимальних напружень у перетинах окремих i -х ділянок стержня, знаходимо з умови (враховуючи, що

$$s(t)_i = s_{i \max} \text{ при } t = \frac{2l_i}{a}):$$

$$s_{i \max} = \frac{E v_0}{a} \left(-1 + e^{\frac{2c l_i}{E F_i}} \right). \quad (17)$$

Аналізуючи отримані залежності (16), (17), доходимо висновку, що жорсткість системи голка–клин впливає на величину напружень у стержні голки, зумовлених ударною хвилею. При цьому зниження жорсткості зумовлює зниження величини напружень.

Як відомо [9], голка має складну геометричну форму. Тому при ударі голки об клин у її тілі виникає складне поле напружень, що залежить від геометричної форми голки. Отримані рівняння (16) і (17) є лише деяким наближенням опису процесу зміни напружень у тілі голки при ударі її об клин.

Однак отримані результати дозволяють зробити висновок, що зниження жорсткості системи голка–клин сприятливо впливає на підвищення довговічності голок в'язальних машин.

Література

1. Мильченко И.С. Основы проектирования трикотажных машин / Мильченко И. С. – М.: Ростехиздат, 1962. – 226 с.
2. Рабочие процессы трикотажных машин / [Далидович А. С. и др.]. – М.: Легкая индустрия, 1976. – 368 с.
3. Волощенко В.П. Эксплуатационная надежность машин трикотажного производства / Волощенко В. П., Пипа Б. Ф., Шипуков С. Т. – К.: Техніка, 1977. – 136 с.
4. Гарбарук В.Н. Проектирование трикотажных машин / Гарбарук В. Н. – Л.: Машиностроение, 1980. – 472 с.
5. Повышение надежности трикотажного оборудования / [Пипа Б. Ф., Волощенко В. П., Шипуков С. Т., Орлов В. А.]. – К.: Техніка, 1983. – 111с.

6. Хомяк О.Н. Повышение эффективности работы вязальных машин / О. Н. Хомяк, Б. Ф. Пипа – М.: Легпромбытиздат, 1990. – 208 с.
7. Мойсеєнко Ф.А. Проектування в'язальних машин / Мойсеєнко Ф. А. – Харків: Основа, 1994. – 336 с.
8. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Писаренко Г.С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. – К.: Наукова думка, 1975. – 704 с.
9. Справочник трикотажника / [Крассий Г. Г. и др.]. – Киев: Техника, 1975. – 320 с.

Надійшла 13.3.2011 р.

УДК 677.055

Б.Ф. ПІПА, В.В. ЧАБАН, Г.І. ПАВЛЕНКО
Київський національний університет технологій та дизайну

ЗНИЖЕННЯ НАВАНТАЖЕНЬ ОПОРИ ГОЛКОВОГО ЦИЛІНДРА КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ

Представлено результати досліджень з удосконалення конструкції привода круглов'язальної машини з метою зниження навантажень опори голкового циліндра. Запропоновано нову конструкцію привода, здатного практично повністю компенсувати радіальні та осьові навантаження опори голкового циліндра, та метод вибору необхідних його параметрів.

The results of researches are presented from the improvement of construction of machine with the purpose of decline of loadings of support of needle cylinder. The new construction of drive is offered, capable practically fully to compensate the radial and axial loadings of support of needle cylinder, and method of choice of his necessary parameters.

Ключові слова: круглов'язальна машина, голковий циліндр, опора голкового циліндра.

Вступ

Відомі приводи круглов'язальних машин, у яких передача руху голковому циліндру здійснюється за допомогою однієї пари циліндричних зубчастих передач [1– 3]. Недоліком таких конструкцій приводів є те, що при передачі руху голковому циліндру за допомогою однієї пари зубчастих циліндричних коліс на опору голкового циліндру діють значні осьові навантаження, зумовлені вагою голкового циліндра, зубчастого колеса та зусиллям відтяжки трикотажного полотна, які в окремих випадках перевищують 1000 Н. Крім того на опору голкового циліндра діють радіальні навантаження, зумовлені силами, що виникають в циліндричному зубчастому зачепленні (для круглов'язальних машин типу КО вони досягають 1704,5 Н [4]). Все це призводить до підвищеного зносу опор голкового циліндру, що викликає биття голкового циліндра і, як наслідок, поломку голково-платинових виробів та зниження якості трикотажного полотна.

Відомий також привід круглов'язальної машини [5], що містить електродвигун, кінематично зв'язаний за допомогою пасової передачі з шестернею, що входить в зачеплення з зубчастим колесом голкового циліндру, жорстко з'єднаним з рамою механізму товароприйому, що містить на верхніх кінцях пальці циліндричної форми, причому зубчаста передача виконана косозубою. Привід дозволяє усунути радіальне та осьове биття голкового циліндру і поломку голково-платинових виробів. Але суттєвим недоліком його є складність конструкції, що зумовлює низьку надійність та довговічність роботи привода, а також низький коефіцієнт корисної дії, зумовлений наявністю багатьох зубчастих та ланцюгових пар в ланці передачі руху від електродвигуна до голкового циліндра.

Таким чином питання розробки високонадійної та довговічної конструкції привода круглов'язальної машини, здатної ефективно знизити навантаження опори голкового циліндра, є актуальним для теорії проектування в'язальних машин.

Об'єктом досліджень обрано привід круглов'язальної машини та метод вибору його параметрів, здатних ефективно знизити навантаження опори голкового циліндра.

При розв'язанні задач, поставлених у даній роботі, були використані сучасні методи теоретичних досліджень, що базуються на теорії теоретичної механіки, деталей машин та проектування в'язальних машин.

Завданням досліджень стала розробка нової конструкції привода круглов'язальної машини та методу вибору його параметрів, здатних ефективно знизити навантаження опори голкового циліндра.

Основний розділ

В запропонованому приводі, кінематична схема якого представлена на рис. 1, рух голкового циліндра здійснюється за допомогою двох конічних пальців рами механізму товароприйому, розташованих діаметрально протилежно один відносно другого по краях голкового циліндра.

Привід круглов'язальної машини (рис. 1) містить електродвигун 1, кінематично зв'язаний за допомогою пасової передачі 2 з шестернею 3, що знаходиться в зачепленні з зубчастим колесом 4. Зубчасте колесо 4 жорстко з'єднане з рамою 5, на верхніх кінцях якої містяться кронштейни-водиля 6 з пальцями 7 конічної форми з меншими основами зверху. Пальці 7 встановлені в отвори 8 основи 9 голкового циліндра 10. На рамі 5 під основою 9 голкового циліндра 10 розташований механізм товароприйому 11, який

зв'язаний за допомогою ланцюгової передачі 12 з кінчною зубчастою передачею 13. З метою зниження динамічних навантажень, що виникають під час роботи круглов'язальної машини, та усунення неточності зборки механізму пальці 7 можуть бути виконані складовими. В цьому випадку між робочою кінчною поверхнею 14 пальця та циліндричним стержнем 15 кронштейнів-водиля 6 встановлена пружна втулка 16.

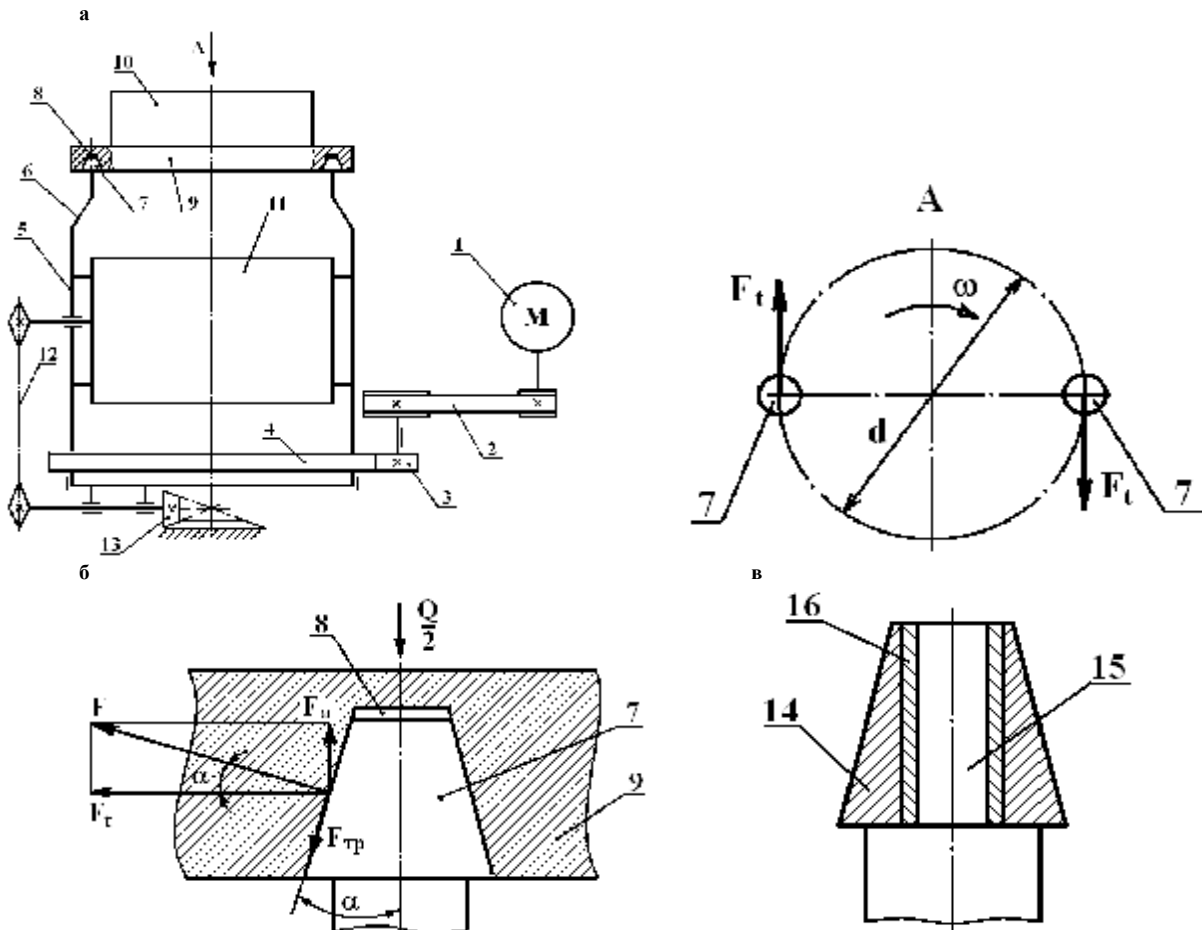


Рис. 1. Привід круглов'язальної машини: а – кінематична схема приводу; б – схема сил, що діють на палець водила; в – схема робочої частини пальця

Привід круглов'язальної машини працює таким чином. При вмиканні електродвигуна 1 його обертальний рух за допомогою пасової передачі 2 передається шестерні 3, що знаходиться в зачепленні з зубчастим колесом 4, жорстко з'єднаним з рамою 5. Обертальний рух зубчастого колеса 4 передається рамі 5. Кронштейни-водиля 6, жорстко з'єднані з рамою 5, передають рух пальцям 7, встановленим в отворах 8 основи 9 голкового циліндра 10. Таким чином обертальний рух від електродвигуна 1 передається голковому циліндру 10. Рух механізму товароприйому 11, що відтягує та накатає в ролон трикотажне полотно (на рис. 1 не показано), здійснюється при обертанні рами 5 за допомогою ланцюгової передачі 12 і кінчної зубчастої передачі 13.

При такій передачі руху голковому циліндру усувається радіальний тиск на його опору. Крім цього наявність кінчних пальців зумовлює появу осьової сили, що діє на голковий циліндр та направлений вгору (протилежно напрямку осьового навантаження, зумовленого вагою голкового циліндра та зусиллям відтяжки полотна).

При наявності пружних втулок 16 динамічні навантаження та неточність зборки механізму усуваються за рахунок деформації пружних втулок.

Оскільки пальці розташовані діаметрально протилежно та мають кінчні поверхні з відповідним кутом конусності, то навантаження на опору голкового циліндра як радіальні, так і осьові взаємокомпенсуються, що призводить до підвищення надійності і довговічності роботи привода та спрощує його конструкцію.

Необхідну осьову силу, зумовлену кінчною поверхнею пальців можна знайти із умови рівноваги голкового циліндра:

$$F_a - F_{тр} \cos a - 0,5Q, \tag{1}$$

де F_a – осьова сила;

$F_{тр}$ – сила тертя в зоні взаємодії пальців з голковим циліндром;

a – кут нахилу утворюючої конуса робочої поверхні пальця;

Q – осьова сила, що діє на пальці,

$$Q_{min} = Q_1; \quad Q_{max} = Q_1 + Q_2; \quad (2)$$

Q_{min}, Q_{max} – відповідно мінімальна та максимальна величина осової сили Q ;

Q_1 – вага голкового циліндра;

Q_2 – зусилля відтяжки трикотажного полотна.

Очевидно (рис. 1):

$$F_a = F_t \operatorname{tg} a, \quad (3)$$

$$F_{TP} = Ff = \frac{F_t}{\cos a} f, \quad (4)$$

де F_t – колова сила, що передається голковому циліндру пальцями при роботі машини,

$$F_t = \frac{T}{d} = \frac{P}{wd}; \quad (5)$$

T – крутний момент, що передається голковому циліндру пальцями;

d – відстань між пальцями;

P – потужність привода голкового циліндра;

w – кутова швидкість голкового циліндра;

f – коефіцієнт тертя в зоні взаємодії пальців з голковим циліндром.

Підставляючи (3), (4) в (1) та враховуючи (2), (5), одержуємо:

$$a_{min} = \operatorname{arctg} \left(\frac{Q_1 wd}{2P} + f \right); \quad (6)$$

$$a_{max} = \operatorname{arctg} \left[\frac{(Q_1 + Q_2) wd}{2P} + f \right].$$

Таким чином, необхідний кут нахилу утворюючої конуса робочої поверхні пальця можна знайти із умови: $a_{min} \leq a \leq a_{max}$. (7)

Враховуючи (6), остаточно знаходимо:

$$\operatorname{arctg} \left(\frac{Q_1 wd}{2P} + f \right) \leq a \leq \operatorname{arctg} \left[\frac{(Q_1 + Q_2) wd}{2P} + f \right]. \quad (8)$$

При використанні в приводі круглов'язальної машини пальців з кутом нахилу утворюючої конуса, що відповідає умові (8), осьова сила, що діє на голковий циліндр з боку пальців, здатна компенсувати осьовий тиск на його опору, зумовлений вагою голкового циліндра та натягом полотна, що зменшить зношення опори та призведе до підвищення надійності і довговічності роботи як привода, так і круглов'язальної машини в цілому.

В якості приклада знайдемо необхідний діапазон кута нахилу утворюючої конуса робочої поверхні пальців кронштейнів-водил при використанні запропонованої конструкції привода у складі круглов'язальної машини КО-2 з діаметром голкового циліндра 450 мм. За вихідні дані в цьому випадку можемо прийняти (дані виробничого об'єднання "Чернівцілегмаш" [6]): $Q_1 = 520 \text{ Н}$; $Q_2 = 184 \text{ Н}$; $w = 4,9 \text{ с}^{-1}$ (швидкість в'язання полотна 1,1 м/с); $d = 650 \text{ мм}$; $P = 2 \text{ кВт}$; $f = 0,1$.

Підставивши вихідні дані в формулу (8), знаходимо:

$$\operatorname{arctg} \left(\frac{520 \cdot 4,9 \cdot 0,65}{2 \cdot 2 \cdot 10^3} + 0,1 \right) \leq a \leq \operatorname{arctg} \left[\frac{(520 + 184) 4,9 \cdot 0,65}{2 \cdot 2 \cdot 10^3} + 0,1 \right];$$

$$27^{\circ}15' \leq 33^{\circ}30'.$$

Використання запропонованої конструкції привода в складі круглов'язальної машини дозволяє:

- розширити асортимент приводів круглов'язальних машин;
- спростити конструкцію привода;
- знизити металомісткість круглов'язальної машини за рахунок спрощення конструкції привода;
- підвищити коефіцієнт корисної дії привода за рахунок зменшення кількості передач між електродвигуном та голковим циліндром;
- підвищити довговічність роботи привода і круглов'язальної машини в цілому за рахунок усунення навантажень, що діють на опору голкового циліндра;
- підвищити продуктивність круглов'язальної машини за рахунок підвищення довговічності роботи привода.

1. Гарбарук В. Н. Проектирование трикотажных машин / Гарбарук В. Н. – Л.: Машиностроение, 1980. – 472 с.
2. Коган Л. П. Однофонтурные кругловязальные машины / Л. П. Коган, Ю. В. Кесслер. – М: Легкая индустрия, 1968. – 108 с.
3. Присяжнюк П. А. Технология и кругловязальное оборудование в производстве изделий верхнего трикотажа / Присяжнюк П. А. – Минск: Высшая школа, 1982. – 319 с.
4. Хомяк О. Н. Повышение эффективности работы вязальных машин / О. Н. Хомяк, Б. Ф. Пипа. – М.: Легпромбытиздат, 1990. – 208 с.
5. А. с. 1694733 СССР, М. Кл.⁵ D 04 B 15/94. Привод кругловязальной машины / Б. Ф. Пипа, О. А. Стародуб, П. А. Присяжнюк (СССР). – № 4059919/12; заявл. 13.03.86; опубл. 30.11.91, Бюл. № 44. – 3 с.
6. Машины кругловязальные типа КО-2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Черновцы, 1992. – 86 с.

Надійшла 25.3.2011 р.

УДК 687.053

П.Г. КАПУСТЕНСЬКИЙ, Е.А. МАНЗЮК
Хмельницький національний університет

РОЗРАХУНОК МЕХАНІЗМА СЕКТОРАЛЬНОГО ЗУБЧАТОГО ПРИСКОРЮВАЧА ШВЕЙНОЇ МАШИНИ

Запропонована нова конструкція привода човникового пристрою з використанням прискорювачів на базі секторальних зубчатих передач із внутрішнім зачепленням. Встановлено основні залежності та співвідношення для проектування і розрахунку запропонованого рішення. Обґрунтовано конструкцію привода човника, що дозволило в значній мірі покращити експлуатаційні характеристики швейного обладнання.

A new design of the drive rotary hook device using accelerator-based sector with internal gears affected. The main dependencies and correlations for analysis and design of the proposed solution. Grounded design of the drive rotary hook device, which helped us greatly improve the performance of sewing equipment.

Ключові слова: привід човника, прискорювач, зубчаті прискорювачі.

Постановка проблеми

Сучасний парк швейного обладнання характеризується різноманітністю конструкцій, які обумовлені в першу чергу, як широтою його використання, так і розробкою специфічних технічних рішень для виконання вузькоспеціалізованих технологічних операцій. Значну частину цього обладнання складають швейні машини загального та спеціалізованого призначення. Незважаючи на широку різноманітність машин, існує ряд технічних рішень та підходів реалізації конструкцій складових механізмів. Вибір таких підходів зумовлений сучасним рівнем техніки, технологією виготовлення механізмів, значною практикою експлуатації швейних машин, їхньою надійністю, безвідмовністю роботи та продуктивністю. Відповідно до встановленої практики складові механізми конструкції машин набули назв за різноманітними ознаками, в тому числі за назвами робочих органів, тобто тих елементів, які виконують технологічні операції та перебувають в безпосередньому контакті із матеріалами швейного виробництва. Причина полягає в тому, що саме для забезпечення виконання робочими органами технологічних операцій, тобто надання їм відповідних необхідних просторових переміщень, та забезпечення реалізації технології, розроблялися конструкції приводних механізмів. Залежно від технологічних операцій, реалізувати які дозволяють робочі органи швейних машин, до механізмів приводів ставились відповідні вимоги, а практика експлуатації дозволила забезпечити утвердження найбільш вдалих з точки зору поставлених вимог конструкційних рішень приводів.

Відомий цілий ряд конструкцій механізмів приводів човника. В зв'язку з тим, що існує доволі широке різноманіття конструкцій човникових пристроїв, для механізмів приводів також характерних широкий спектр технічних рішень. Кожний човник розроблявся для забезпечення реалізації конкретних технологічних задач в різноманітних умовах експлуатації, що стало основною причиною, завдяки якій необхідно було розробляти конструкції приводів для певних груп човників, згідно з їх технологічним спрямуванням. В той же час можна виділити ряд спільних технічних підходів, які реалізуються в конструкційних рішеннях як складових елементах механізмів приводів човникових пристроїв з широким застосуванням. Використання саме цих рішень ґрунтується на досить різноманітних факторах, серед яких найбільш важливими є рівень техніки, обумовлений процесами проектування та виготовлення механізмів, матеріалами конструкцій, призначенням швейних машин та умовами експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Розглянемо один із технічних підходів, який знайшов практичне втілення в багатьох конструкціях швейних машин. Велике значення для петлеутворення має коефіцієнт робочого ходу човника, що є

відношенням кута повороту головного валу за час від початку захвату голкової петлі носиком човника (θ) до моменту її скидування до повного кута повороту головного валу за один цикл (j_0)

$$K_{\theta} = j_{\theta} / j_0. \quad (1)$$

Для покращення процесу роботи швейної машини намагаються якомога зменшити K_{θ} . Така обставина базується, перш за все, на умовах, які виникають при проектуванні швейної машини як складного технічного об'єкта та впливає з тактограми її роботи. В існуючих швейних машинах коефіцієнт робочого ходу має граничні значення 0.25 – 0.42 [1]. В загальному випадку кут повороту головного валу

$$j_{\theta} = (180^{\circ} + a) / i_{cp}, \quad (2)$$

де a – кут, який відповідає довжині носика човника;

i_{cp} – середнє значення передаточного відношення між головним та човниковим валами за період обводу петлі.

$$i_{cp} = j_{\theta, cp} / j_{z, v}, \quad (3)$$

де $j_{\theta, cp}$ – середня кутова швидкість човникового валу з період обводу петлі;

$j_{z, v}$ – кутова швидкість головного валу.

Щоб зменшити коефіцієнт робочого ходу в конструкціях приводів човників використовують прискорюючі механізми. Більш широко розповсюджені механізми прискорювачів з постійним передаточним відношенням, а в якості прискорювачів використовують зубчасті, ланцюгові та клинописові передачі з передаточним відношенням 2 та 3 [1– 4]. Такі механізми дозволяють забезпечити високу швидкості роботи швейних машин, хоча суттєвим недоліком є холостий хід човника, що значно зменшує його довговічність роботи.

Для прискорювачів зі змінним передаточним відношенням використовують шарнірні чотириохланкові механізми, кулісні механізми та багатоланцюгові механізми [1– 3]. Під час роботи таких систем виникають значні інерційні навантаження, що є причиною зношування деталей, вібрацій та шуму швейної машини. Тому їх використовують в машинах при невеликих швидкостях роботи.

Найбільш вдалим з точки зору проектного рішення стало використання прискорювачів зі змінним передаточним відношенням на базі кулісного механізму. Особливість його полягає в тому, що ведучою ланкою є куліса, яка при досить малому куті повороту може забезпечити великий кут повороту веденої ланки. Однак складність конструкції та значні динамічні навантаження обмежують швидкість роботи машин в яких реалізовано такий вид прискорювачів. Певна складність існує при забезпеченні необхідних умов змашування кулісного механізму. Крім того, конструкція кулісного механізму є досить специфічною, що вимагає додаткових витрат при виготовленні та підвищує собівартість обладнання.

Формулювання цілі статі

Проведення досліджень в напрямку розробки конструкційних рішень привода човникового пристрою з використанням прискорювачів. Конструкція привода повинна характеризуватись простотою виготовлення, надійністю та довговічністю експлуатації і відповідати сучасному рівню техніки. Розробка розрахункових моделей проектування запропонованої конструкції привода та обґрунтування параметрів вибору.

Виклад основного матеріалу

Сучасний стан техніки дозволяє виготовляти елементи конструкції машин в тому числі з неметалічних матеріалів. Методи та підходи до розрахунків навантажень та несучої здатності деталей машин дозволяють значно розширити спектр обладнання, а сучасні конструкційні матеріали дозволяють реалізувати нові тенденції в проектуванні механізмів та їх складових частин. Завдяки цьому необхідно удосконалювати техніку в напрямку реалізації цільових задач. На сьогоднішній день відомо ряд конструкцій прискорювачів в тому числі з використанням зубчатих передач. Хоча для швейних машин з коливальними човниковими комплектами (які здійснюють зворотно поворотні рухи) найбільш часто використовують кулісні механізми прискорювачів [2, 3]. Пропонуються нові рішення на базі зубчатих передач [5]. Авторами запропоновано використовувати механізм привода для коливальних човникових комплектів на базі секторальної зубчатої передачі з внутрішнім зачепленням рис. 1 [6]. Використання запропонованої конструкції привода човникового валу дозволяє зменшити габарити механізму привода та динамічні навантаження на елементи зубчатої передачі за рахунок збільшення площі контактування. Таке рішення забезпечує виконання технологічних операцій, є простим з врахуванням того, що елементи конструкцій можуть бути виготовлені з неметалічних матеріалів.

Застосування зубчатої передачі з внутрішнім зачепленням дозволяє збільшити площу контактування зубців, а тим самим забезпечити підвищення навантаження на передачу та відповідні вимоги до матеріалів з яких буде виготовлено ці елементи. Крім того, важливим є можливість проектування з необхідними габаритними розмірами прискорювачів та наявність широких можливостей у зміні передаточного відношення. Також, конструкція має мінімальну кількість елементів та характеризуються

простою як виготовлення, так і експлуатації при задовільному виконанні функціонального призначення. Жодних особливих налаштувань таке технічне рішення не потребує. Розрахункова модель такого механізму також є простою.

Визначимо залежність кута повороту човника від кута повороту головного вала за підходом, який поданий в роботі [1]. Для цього визначимо геометричні характеристики механізму в його крайніх положеннях.

Одне з крайніх положень зображено на рис. 1 (кривошип і шатун розташовані на прямій лінії).

З ΔO_1BO_3 визначимо як змінюється кут α .

$$\alpha = \alpha_1 - \alpha_2, \quad (4)$$

де α_1 – значення кута α в крайньому лівому положенні механізму;

α_2 – значення кута α в крайньому правому положенні механізму

$$(l_1 + r_1)^2 = l^2 + r_3^2 - 2lr_3 \cos \alpha_1. \quad (5)$$

Звідки

$$\cos \alpha_1 = \frac{l^2 + r_3^2 - (l_1 + r_1)^2}{2lr_3}, \quad (6)$$

де $r_1 = O_1A$; $r_3 = BO_3$; $l = O_1O_3$; $l_1 = AB$.

Таким же чином знайдемо значення кута α_2

$$(l_1 - r_1)^2 = l^2 + r_3^2 - 2lr_3 \cos \alpha_2; \quad (7)$$

$$\cos \alpha_2 = \frac{l^2 + r_3^2 - (l_1 - r_1)^2}{2lr_3}.$$

Кут, на який повертається зубчатий сектор, буде відповідати куту коливання α . Кут коливання човникового валу з врахування передаточного відношення зубчатого зачеплення

$$j = ai, \quad (8)$$

де i – передаточне відношення секторального зубчатого зачеплення.

Кут коливання човникового валу складає 206– 210° [1], що може забезпечити запропонована конструкція приводу.

Висновки

Розроблено конструкцію приводу коливального човникового комплексу з використанням прискорювача на базі секторального зубчатого зачеплення, що дозволяє спростити конструкцію швейної машини та забезпечити належне виконання функціонального призначення. Запропоноване рішення дозволяє на базі сучасного рівня техніки покращити технічні характеристики швейного обладнання. Надано методичку розрахунку та проектування таких механізмів, що може знайти практичне застосування; визначено основні конструкційні параметри приводу. Запропоновано нову конструкцію приводу човникових комплектів із застосуванням секторальних зубчатих прискорювачів та обґрунтовано його переваги практичного використання в існуючих конструкціях швейних машин. Таким чином, практичне застосування конструкцій приводів швейних машин, які базуються на сучасному рівні техніки та нових конструктивних матеріалах, дозволить покращити експлуатаційні характеристики швейного обладнання.

Перспективи подальших розвідок

Подальші дослідження розробки конструкцій приводів човникових комплектів з прискорювачами необхідно проводити в напрямку удосконалення за тими критеріями, які дозволяють спростити проектні рішення окремих елементів та технічних систем в цілому. Такі рішення повинні розроблятися базуючись на сучасних технічних досягненнях. Це дозволить проектувати швейне обладнання з належними технічними та експлуатаційними характеристиками.

Література

1. Вальщиков Н. М. Расчет и проектирование машин швейного производства / Вальщиков Н. М., Зайцев Б. А., Вальщиков Ю. Н. – Л.: Машиностроение, 1973. – 344с.
2. Горбарук В. П. Расчёт и конструирование челночных швейных машин / Горбарук В. П. – Л.: Машиностроение, 1977. – 230с.
3. Комисаров А. И. Проектирование и расчёт машин обувных и швейных производств / Комисаров А. И., Жуков В. В., Никифоров В. М. – М.: Машиностроение, 1978. – 431с.
4. Червяков Ф. И. Швейные машины / Ф. И. Червяков, А. А. Николаенко. – М.: Машиностроение. –

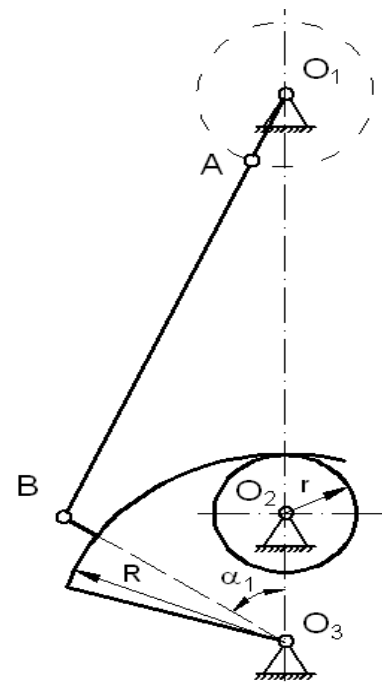


Рис. 1. Кінематична схема приводу човникового пристрою з використанням зубчатої передачі внутрішнього зачеплення

1976. – 415с.

5. Пат. 74694 CPP, МПК D05B 23/00 Mecanism de actionare a apucătorului rotativ-oscilant de la masina de cusut simplu / Barbu Andrei; Interprinderea mecanică. – № 87983; заявл. 12.10.76; опубл. 30.08.80.

6. Пат. 44995 Україна, МПК D05B 23/00 Механізм привода човникового вала / Манзюк Е. А., Капустенський П. Г.; Хмельницький національний університет. – № U200904125; заявл. 27.04.09; опубл. 26.10.2009 Бюл. № 20. 2009.

Надійшла 4.3.2011 р.

УДК 621.01

В.В. СТРЕЛЬБИЦКИЙ
Хмельницький національний університет

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ КОЛЕБАНИЙ ВИБРАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ИЗНОС РЕЗИНОВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ОПОР

У статті наведені результати дослідження зносу гумових елементів СКН 26 і СКН 40 вібраційних опор від частоти коливань робочого обладнання.

In the article the results of researches of wear of rubber elements of SKN26 and SKN40 of oscillation supports are presented from working frequency of vibrations of oscillation equipment.

Ключові слова: знос, гума, час, частота коливань.

Постановка проблемы в общем виде

Поскольку, в финишной обработке различных деталей важное место занимают методы упрочнения деталей наклепом, который осуществляется на вибрационных и виброударных машин, то необходимо их проектировать с заданными значениями параметров вибраций.

Одним из способов установления заданных значений параметров вибраций является использование гидравлических опор [1]. Однако, в процессе натурных испытаний предлагаемых опор [2] наблюдалась их осадка, которая увеличивалась со временем и могла свидетельствовать об износе резиновых элементов. Кроме того, наблюдался выход из строя опор вследствие увеличения частоты колебаний. 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 [3, 4] 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 вследствие изменения частот колебаний вибрационной машины.

Испытания проводились на установке ХТИ-7, конструкция которой описана в [1]. В качестве образцов были браны опоры с резиновыми элементами типа 1 [1].

Поддерживая постоянную амплитуду (2 мм) и частоту (24 Гц) колебаний плиты, 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.

Далее, резиновые элементы опор заменяли и повторяли испытания при частотах колебаний плиты 27 и 30 Гц.

Результаты испытаний представлены в табл. 1 и 2.

В процессе исследований было обнаружено следующее:

- 1) с увеличением частоты наблюдалось увеличение износа опорных поверхностей;
- 2) интенсивность износа резиновых элементов СКН 40 значительно меньше, по сравнению с элементами СКН26 (рис. 1);
- 3) после 50 часов работы опор содержащих резиновые элементы СКН 26 и СКН 40 при частоте колебаний 30 Гц наблюдалось разрушение краев внутреннего отверстия в виде отрыва элементов, чего не наблюдалось при более низких частотах (рис. 2).

В результате испытаний (табл. 1 и 2) была получена зависимость $h = f(t)$. Информация об износах была выявлена путем замеров подконтрольных образцов через определенные промежутки времени; предпочтение следует отдать корреляционному анализу зависимости между износом и временем в логарифмических координатах [5]. 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.



а) б)

Рис. 1. Износ опорных поверхностей резиновых элементов СКН 40 (а) и СКН 26 (б)



Рис. 2. Виды разрушений краев внутреннего отверстия резиновых элементов

Таблица 1

Износ h опорных поверхностей резинового элемента СКН 26 от времени работы t

№ п/п	Время работы t , ч	Износ h , мм, в зависимости от частоты колебаний		
		24 Гц	27 Гц	30 Гц
1	50	0,13	0,15	0,18
2	100	0,22	0,25	0,3
3	150	0,33	0,35	0,41
4	200	0,45	0,47	0,54
5	250	0,55	0,57	0,65
6	300	0,64	0,66	0,75
7	400	0,80	0,85	0,91

Таблица 2

Износ h опорных поверхностей резинового элемента СКН 40 от времени работы t

№ п/п	Время работы t , ч	Износ h , мм, в зависимости от частоты колебаний		
		24 Гц	27 Гц	30 Гц
1	50	0,12	0,14	0,15
2	100	0,20	0,22	0,25
3	150	0,30	0,32	0,35
4	200	0,41	0,44	0,47
5	250	0,50	0,52	0,56
6	300	0,61	0,63	0,67
7	400	0,74	0,77	0,80

Постоянные C и m определяем методом наименьших квадратов [5]. 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

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

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

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

Тогда, постоянные C и m ,

$$B = \frac{S_{xy}}{S_x r_{xy}}, \quad (8)$$

$$A = Y_{cp} - BX_{cp}, \quad (9)$$

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

$$m = B^{-1}. \quad (11)$$

По формулам (2)- (11) 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 СКН 26

Показатели расчета	Частота колебаний		
	24 Гц	27 Гц	30 Гц
Постоянная C	0,873	0,817	0,778
Постоянная m	0,0043	0,0061	0,0086

Таблица 4

Результаты расчета C, m резиновых элементов СКН 40

Показатели расчета	Частота колебаний		
	24 Гц	27 Гц	30 Гц
Постоянная C	0,875	0,855	0,805
Постоянная m	0,0039	0,0046	0,0064

Выводы:

1) элементы опоры, изготовленные из резины СКН 40, более износостойки, по сравнению с СКН 26;
2) с увеличением частоты колебаний наблюдалось увеличение утечки масла через зазор между металлическими и резиновыми элементами, который образован из-за разрушения краев внутреннего отверстия в виде отрыва резины.

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

В дальнейшем необходимо исследовать совместное влияние амплитуды и частоты колебаний, а также минерального масла на износ элементов опоры.

1. Стрельбицкий В. В. Экспериментальное исследование износа резиновых элементов гидравлических опор вибрационного оборудования / В. В. Стрельбицкий, О. П. Бабак // Вісник хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 4. – С. 50–53.
2. Пат. 60534 МКИ F16F19/08. Гідравлічний пружний елемент / Стрельбицкий В.В., Кіницький Я.Т., Нестер А.А. (Україна). – Заявл. 21.11.2002; опублік. 15.10.2003, Бюл. № 10.
3. Истирание резин / [Бродский Г.И., Евстратов В.Ф., Сахновский Н.Л., Слюдиков Л.Д.]. – М.: Химия, 1975. – 240 с.
4. Крыжановский В. К. Технические свойства полимеров / Крыжановский В.К., Буров В.В., Панаматченко А.Д. – СПб.: Профессия, 2005. – 248 с.
5. Ефремов Л.В. Практик инженерного анализа надежности судовой техники / Ефремов Л.В. – Л.: Судостроение, 1980. – 176 с.

Надійшла 12.3.2011 р.

УДК 674.048

Н.П. БАДЬОРА, І.В. КОЦ, В.В. ПЕТРУСЬ

Вінницький національний технічний університет

ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ПРОСОЧУВАЛЬНОГО АГРЕГАТУ З ГІДРОІМПУЛЬСНИМ ПРИВОДОМ

Запропоновано методику, що дозволяє проводити математичне планування експерименту параметрів роботи устаткування для імпульсного барометричного просочення деревини, що базується на використанні гідроімпульсного приводу.

Methodology is offered, that allows to conduct the mathematical planning of experiment of parameters of work of equipment for an impulsive under pressure and temperature thermal cyaniding, which is based on the use of hydro-impulsive drive.

Ключові слова: просочувальний агрегат, параметри роботи.

Вступ

Деревина є одним з найпоширеніших будівельних матеріалів, який широко застосовується як декоративний матеріал при будівництві та оздобленні будівель та споруд. Одним з недоліків деревини є її здатність до горіння та гниття, що значно впливає на її конкурентоспроможність у порівнянні з іншими будівельними матеріалами.

Одним зі шляхів вирішення цієї проблеми є просочення деревини розчинами антипіренів з використанням спеціального устаткування для імпульсного баротермічного просочення деревини, що базується на застосуванні гідравлічного приводу. Важливою складовою при використанні такого устаткування є визначення його основних параметрів роботи, які безпосередньо впливають на технологічні процеси при просоченні деревини.

Одним з найефективніших методів перевірки адекватності створеної моделі є математичне планування експерименту, яке дозволяє визначити дійсні параметри роботи даного устаткування.

Постановка задачі

Задачею роботи є розробка методики планування багатофакторного експерименту для просочувального агрегату з гідроімпульсним приводом і визначення основних факторів роботи устаткування, таких як тиск, температура та час; побудова регресійної моделі досліджуваної системи та поверхні відгуку площин з використанням прикладних програм.

Основна частина

При визначенні діапазонів варіювання факторів використовуємо умову, за якої будь-який вибір факторів, в передбачених планом експерименту діапазонах, був реалізований. Для цього були проведені пошукові експерименти з метою визначення областей, в яких такий вибір рівнів факторів був чітко реалізований. В результаті проведених пошукових експериментів для кожного фактора встановлені такі значення: X_{j0} – основний рівень фактора; $X_{j\max}$, $X_{j\min}$ – верхній та нижній рівні фактора; $\alpha X_{j\max}$, $\alpha X_{j\min}$ – зіркові верхній та нижній рівні фактора; α – зіркові плечі; I_j – інтервал варіювання.

Всі відзначені фактори, розмірні величини мають різні розмірності, а значення величин факторів мають різні порядки. Тому виконувалось кодування факторів, що представляє собою лінійне перетворення факторного простору за формулою [3]:

$$x_j = \frac{(\tilde{X}_j - \tilde{X}_{j0})}{I_j} \quad (1)$$

Встановлені наступні значення рівнів факторів в умовному масштабі: верхній +1; середній 0; нижній -1; зірковий верхній +1,682; зірковий нижній -1,682.

Основні рівні, інтервали варіювання та межі області експериментальних досліджень наведені в табл. 1.

Матриця планування і результати експерименту наведені в таблиці 2.

Кількість дослідів для повнофакторного експерименту при квадратичній регресії визначалась за формулою [3]:

$$N = 2^k, \quad (2)$$

де k – кількість факторів;

2 – кількість рівнів.

Для нашого випадку $N=2^3=8$ дослідів.

Таблиця 1

Фактори				Рівні факторів					
№	Назва	Позначення	Од. вимір.	-1,682	1	0	1	1,682	Інтервал варіювання
x ₁	тиск	X ₁	МПа	0,6	0,722	0,9	1,078	1,2	0,178
x ₂	температура	X ₂	⁰ С	40	48,11	60	71,89	80	11,89
x ₃	час	X ₃	год	0,5	0,8	1,25	1,7	2	0,45

Для побудови регресійної моделі досліджуваної системи використовуємо квадратичне рівняння регресії з ефектами взаємодії 1-го порядку, що має вигляд [3]:

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2, \quad (3)$$

де y – функція відгуку;

$b_0, b_1, \dots, b_3, b_{12}, \dots, b_{13}, b_{11}, \dots, b_{33}$ – коефіцієнти регресії.

Для визначення коефіцієнтів регресії $b_0, b_1, \dots, b_3, b_{12}, \dots, b_{13}, b_{11}, \dots, b_{33}$ використовувався метод найменших квадратів, що обчислюється за формулою [67]:

$$B = Y\Phi^{-1}, \quad (4)$$

де $B = \begin{bmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \dots \\ b_k \end{bmatrix}$ – матриця, що містить коефіцієнти регресії;

$\Phi = F^T F$ – інформаційна матриця Фішера;

$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_N \end{bmatrix}$ – матриця, що містить результати експериментів за матрицею планування;

$F = \begin{bmatrix} 1 & x_{1,1} & \dots & x_{1,k} \\ 1 & x_{2,1} & \dots & x_{2,k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_{N,1} & \dots & x_{N,k} \end{bmatrix}$ – матриця, що містить значення факторів $x_{i,j}$ (де i – номер дослідів за

матрицею планування, j – номер фактора);

N – кількість дослідів за матрицею планування.

Адекватність регресійної моделі перевірялася за критерієм Фішера [3]:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_{відм}^2} \leq [F(f_1, f_2)], \quad (5)$$

де S_{ad} – дисперсія адекватності;

$S_{відм}$ – дисперсія відтворюваності;

$[F(f_1, f_2)]$ – критичне значення критерію Фішера, яке рівне значенню розподілу Фішера;

$f_1 = N - d$ – кількість ступенів вільності дисперсії адекватності;

$f_2 = n - 1$ – кількість ступенів вільності дисперсії відтворюваності;

d – кількість значимих коефіцієнтів регресії;

n – кількість попередніх повторних дослідів, які проведено для середнього (нульового) рівня факторів.

Таблиця 2

Матриця планування і результати експерименту

№ дос- лід	X ₀	X ₁	X ₂	X ₃	X ₁ ²	X ₂ ²	X ₃ ²	Y
1	1	1	1	1	1	1	1	5,1
2	1	1	1	1	1	1	1	5,3
3	1	1	-1	1	1	1	1	5,3
4	1	-1	-1	1	1	1	1	5,0
5	1	1	1	-1	1	1	1	5,0
6	1	-1	1	-1	1	1	1	5,2
7	1	1	-1	-1	1	1	1	5,0
8	1	-1	-1	-1	1	1	1	5,1
9	1	-1,682	0	0	2,83	0	0	5,0
10	1	1,682	0	0	2,83	0	0	5,0
11	1	0	-1,682	0	0	2,83	0	5,0
12	1	0	1,682	0	0	2,83	0	5,0
13	1	0	0	-1,682	0	0	2,83	5,5
14	1	0	0	1,682	0	0	2,83	5,1
15	1	0	0	0	0	0	0	5,7
16	1	0	0	0	0	0	0	5,4
17	1	0	0	0	0	0	0	5,4
18	1	0	0	0	0	0	0	5,8
19	1	0	0	0	0	0	0	5,3
20	1	0	0	0	0	0	0	5,5
bi	5,259922	0,00732	-0,00732	-0,01498	-0,09324	-0,09324	-0,11092	
bei	10,87704	5,338235	0,078529	1,336138	-2,94284	-0,00066	-0,54777	
t	94,26831	0,197737	-0,19774	-0,40457	-2,58678	-2,58678	-3,07733	[t]=2,571

Розрахункове значення критерію F порівнювалося з критичним і при $F \leq [F(f_1, f_2)]$ регресійну модель вважаємо адекватною.

Дисперсії відтворюваності визначалася за формулою [3]:

$$S_{відм}^2 = \frac{1}{f_2} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, \quad (6)$$

де y_i – результат і-го повторного дослідів;

\bar{y} – середнє арифметичне значення результатів n повторних дослідів.

Кількість повторних дослідів знаходилася за формулою [1]:

$$n \geq \frac{1 + P_{дов} + 2n_{відк}}{1 - P_{дов}}, \quad (7)$$

де $P_{дов}$ – довірча ймовірність того, що похибка вимірювання знаходиться в допустимих межах;

$n_{відк}$ – число вимірювань, що відкидається.

Довірча ймовірність при нормуванні квантильної оцінки результуючої та випадкової похибок вимірювальної техніки обирається в межах (0,8...0,9), тоді при $n_{відк}=0$ [2].

$$n \geq \frac{1 + (0,8...0,9)}{1 - (0,8...0,9)} = 9...19.$$

Дисперсія адекватності визначалася за формулою [3]:

$$S_{ад}^2 = \frac{1}{f_1} \sum_{i=1}^N (y_i - \tilde{y}_i)^2, \quad (8)$$

де y_i – результат і-го дослідів, проведеного за матрицею планування;

\tilde{y}_i – результат і-го значення дослідів, передбаченого за допомогою регресійної моделі.

Перевірка закону розподілу експериментальних значень в кожній серії повторних дослідів проводилася шляхом порівняння відношень дисперсій кожного планового дослідів до сумарної дисперсії

експерименту з табличним значенням Кохрена [3], при перевищенні значення якого експерименти, що відповідають неоднорідним дисперсіям, повторювались заново, а в іншому випадку гіпотеза про однорідність дисперсій приймалася.

Значимість коефіцієнтів регресії проводилася за t-критерієм Стьюдента [3]:

$$t_i = \frac{b_i}{S_{\text{відм}} \sqrt{c_{i,i}}} > [t(f_2)], \quad (9)$$

де $[t(f_2)]$ – критичне значення t-критерію Стьюдента, яке рівне значенню розподілу Стьюдента; $c_{i,i}$ – відповідний елемент матриці Φ^{-1} .

Для функції відгуку у рівняння регресії згідно з проведеним багатофакторним експериментом для дійсних значень після відкидання ефектів взаємодії малої значимості має вигляд:

$$y = 5,33824x_1 + 0,0785x_2 + 1,3361x_3 - 2,9428x_1^2 - 0,00066x_2^2 - 0,54777x_3^2. \quad (10)$$

За даними таблиці 2 квадрат дисперсії адекватності рівний 0,0216.

При цьому $S_{\text{відм}}^2 = 0,0187$; $S_{\text{ад}}^2 = 0,02159$; $F = 1,153 < [F] = 2,721$, отже регресійна модель (10) адекватна. Коефіцієнт кореляції $R^2 = 0,6095$. Перевірка адекватності регресійної моделі проводилася за критерієм Фішера, який за результатами проведених дослідів складає 1,153, що не перевищує табличного значення 1,738. Отже, рівняння регресії (10) є адекватним.

За допомогою пакету прикладних програм MathCAD побудовано поверхні відгуку в площині (рис. 1) дійсних значень параметрів.

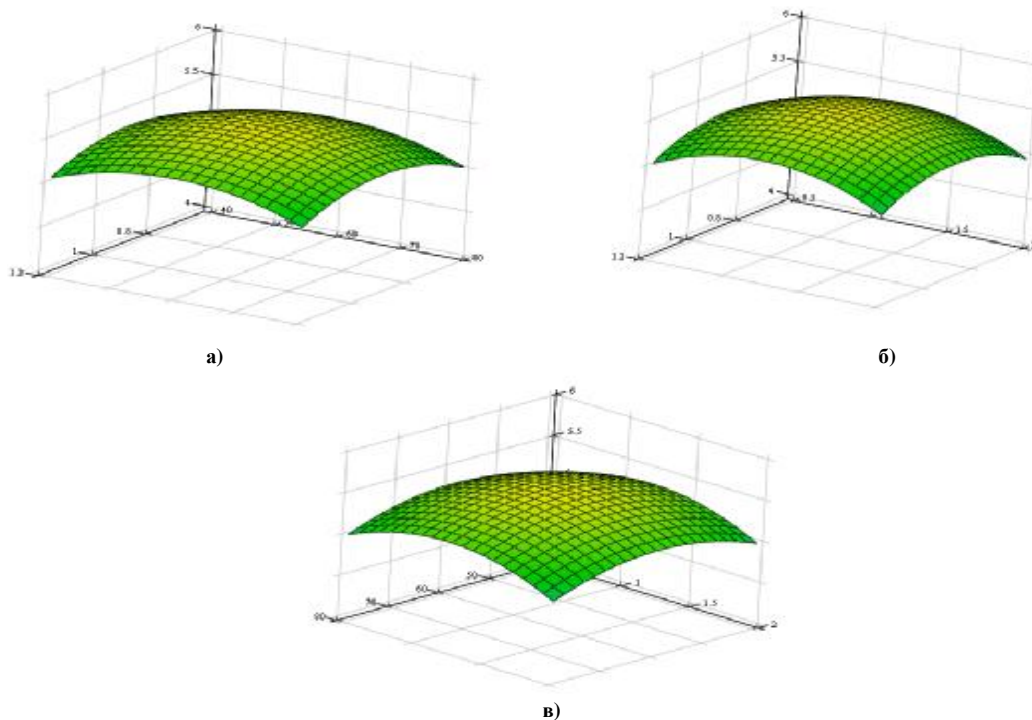


Рис. 1. Поверхні відгуку різниці верхнього та нижнього тисків в площині дійсних значень параметрів: а) x_1 - x_2 ; б) x_1 - x_3 ; в) x_2 - x_3

Висновок

Виконане математичне планування експерименту для таких основних факторів: температура, тиск та час; побудована матриця планування експерименту. На основі експериментальних результатів побудовано регресійну модель досліджуваної системи. Зображені поверхні відгуку площин на основі дійсних значень параметрів.

Література

1. Коц І. В. Гідроімпульсні ін'єктори для нагнітання будівельних сумішей при реконструкції будівель та споруд / І.В. Коц, В.В. Петрусь // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій: зб. наук. праць. – 2009. – Вип. 8. – С. 473 – 480.
2. Объемные гидравлические приводы / [Т. М. Башта, И. З. Зайченко, В. В. Ермаков, Е. М. Хаймович]. – М.: Машиностроение, 1969. – 628 с.
3. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 280 с.

Надійшла 16.3.2011 р.

ТЕОРИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ: ОСОБЕННОСТИ Т-МЕТОДА ДИНАМИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ РЕГРЕССИИ

В статье изложены особенности применения Т-метода динамической нелинейной регрессии для прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ при изменениях значения и знака погрешностей и их приращений.

In the article the features of application of T-method of dynamic nonlinear regression are expounded for prognostication and determination of time of work on a metrology refuse at the changes of value and sign of errors and their increases.

Ключевые слова: надежность, метрология, метод динамической нелинейной, регрессии.

Введение

В работах [1– 4] впервые описан запатентованный в Украине метод прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ (МО) средств измерений (СИ), названный нами Т-методом динамической нелинейной регрессии. Приведены соответствующие уравнения измерений и уравнения погрешностей. Исследования данного метода показали, что при изменении знака погрешностей и их приращений за время двух соседних проверок имеют место некоторые особенности работы с кривыми прогнозной функцией распределения (ФР) Кондратова – Вейбулла при прогнозировании и определения времени наработки на МО.

Ниже рассматриваются особенности Т-метода динамической нелинейной регрессии, связанные с изменением знака переменной составляющей ФР.

Объект исследований – Т-метод динамической нелинейной регрессии.

Предмет исследований – особенности процесса прогнозирования и определения времени наработки СИ на МО.

Целью работы является ознакомление ученых и специалистов с особенностями прогнозирования и определения времени наработки СИ на МО при изменениях знака погрешностей и их приращений за межповерочный интервал.

Результаты исследований

Особенности метода прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ

Особенность 1. Изменение знака приращений погрешностей

Погрешность измерения образцовой ФВ x_0 в моменты времени проведения последующих k -х проверок может принимать как положительные, так и отрицательные значения с разной полосой неопределенности. Поэтому, при определении времени наработки на МО, возможны случаи, когда погрешности, полученные в последовательные k -е моменты времени t_{xk1} и t_{xk2} проверок, имеют разные значения и знаки по отношению к погрешности, полученной в момент времени t_{x0} присвоения СИ класса точности или ввода его в эксплуатацию. В этом случае задача прогнозирования и определения времени наработки на МО решается следующим образом.

В k -е моменты времени t_{xk1} и t_{xk2} проведения проверок СИ определяются и запоминаются знаки и значения приращений погрешностей относительно исходной, полученной в момент времени t_{x0} , –

$$\Delta \xi_{xk10} = \overline{\xi_{xk1}}(t_{xk1}) - \overline{\xi_{x0}}(t_{x0}), \quad (1)$$

$$\Delta \xi_{xk20} = \overline{\xi_{xk2}}(t_{xk2}) - \overline{\xi_{x0}}(t_{x0}), \quad (2)$$

а также приращение

$$\Delta \xi_{xk21} = \overline{\xi_{xk2}}(t_{xk2}) - \overline{\xi_{xk1}}(t_{xk1}) \quad (3)$$

этих погрешностей. Как было показано в [2], знак переменной составляющей ФР Кондратова – Вейбулла не изменяется при следующих условиях и знаках приращений (1), (2) и (3):

$$+\Delta \xi_{xk10}, +\Delta \xi_{xk20}, +\Delta \xi_{xk21} \text{ – при условии, что } \Delta \xi_{xk20} \geq \Delta \xi_{xk10}; \quad (4)$$

$$+\Delta \xi_{xk10}, +\Delta \xi_{xk20}, -\Delta \xi_{xk21} \text{ – при условии, что } \Delta \xi_{xk20} \leq \Delta \xi_{xk10} \quad (5)$$

и

$$-\Delta \xi_{xk10}, +\Delta \xi_{xk20}, +\Delta \xi_{xk21} \text{ – при условии, что } \Delta \xi_{xk21} \geq |-\Delta \xi_{xk10}|. \quad (6)$$

Причем в двух последних случаях учитываются только погрешности $\overline{\xi_{x0}}(t_{x0})$ и $\overline{\xi_{xk2}}(t_{xk2})$, а погрешность

$\overline{\xi_{xk1}}(t_{xk1})$ считается условным промахом. Кривая ФР проводится через три точки, соответствующие погрешностям измерения в моменты времени t_{x0} , t_{xk1} и t_{xk2} .

Знак переменной (зависимой от времени) составляющей ФР изменяется на противоположный в случаях, когда приращения (1), (2) и (3) имеют знаки:

$$-\Delta\xi_{xk10}, -\Delta\xi_{xk20}, -\Delta\xi_{xk21} \text{ - при условии, что } |-\Delta\xi_{xk20}| \geq |-\Delta\xi_{xk10}|; \quad (7)$$

$$-\Delta\xi_{xk10}, -\Delta\xi_{xk20}, +\Delta\xi_{xk21} \text{ - при условии, что } |-\Delta\xi_{xk20}| \leq |-\Delta\xi_{xk10}| \quad (8)$$

и

$$+\Delta\xi_{xk10}, -\Delta\xi_{xk20}, -\Delta\xi_{xk21} \text{ - при условии, что } (-\Delta\xi_{xk10}) - |-\Delta\xi_{xk20}| \leq 0. \quad (9)$$

В двух последних случаях при расчетах также используются только погрешности $\overline{\xi_{xk0}}(t_{xk0})$ и $\overline{\xi_{xk2}}(t_{xk2})$, а погрешность $\overline{\xi_{xk1}}(t_{xk1})$ считается условным промахом. Кривая прогнозной ФР проводится аналогичным образом.

Необходимо отметить, что возможны и другие условия изменения знака параметра масштаба ФР, которые зависят от конкретных случаев принятия решения поверителями.

Предположим, что $k1$ -я поверка проводится в момент времени $t_{xk1} = t_{x4}$, например, в 12 часов 00 минут 07.05.2020 года (см. рис. 1). Вновь многократно измеряется образцовая ФВ x_0 , а полученные результаты статистически обрабатываются. Затем определяются и запоминаются знак и среднее значение погрешности

$$\xi_{x4} = \overline{\xi_{x4}}(t_{x4}) = \overline{\Delta_{04}} / x_0, \quad (10)$$

где $\overline{\Delta_{04}}$ – средняя по значению абсолютная погрешность результатов многократных измерения (см. рис. 1, точку E на графике 5, которая соответствует значению погрешности ξ_{x4} в момент времени t_{x4}).

Полученное значение погрешности ξ_{x4} (10) по модулю будет значительно меньшим, чем значение погрешности ξ_{x3} , полученное при предыдущей поверке, но близкое к значению, полученному при более ранней поверке (см. рис. 1, точки C, D и E , соответствующие моментам времени t_{x2}, t_{x3} и t_{x4} на кривых 2, 4 и 5, соответственно).

Значения верхней ($\Delta\xi_{д4в}$) и нижней ($\Delta\xi_{д4н}$) полуширины полосы неопределенности погрешности ξ_{x4} на момент времени t_{x4} определяются согласно уравнениям измерений

$$\Delta\xi_{д4в} = k_{34} \sigma_{в4} [\Delta_{04}] / x_0 = k_{34} \xi_{\sigma в4}, \quad (11)$$

и

$$\Delta\xi_{д4н} = k_{34} \sigma_{н4} [\Delta_{04}] / x_0 = k_{34} \xi_{\sigma н4}, \quad (12)$$

где $\xi_{\sigma в4} = \sigma_{в4} [\Delta_{04}] / x_0$ и $\xi_{\sigma н4} = \sigma_{н4} [\Delta_{04}] / x_0$ – верхнее и нижнее относительные среднеквадратические отклонения результатов измерений на момент времени t_{x4} ; k_{34} – коэффициент запаса ($1 \leq k_{34} \leq 1,42$);

$$\sigma_{в4} [\Delta_{04}] = + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left((x_{oi} - \overline{x_{04}})_{>0} \right)^2}{n(n-n^0)}} \quad (13)$$

- среднеквадратические отклонения результатов измерений при положительном знаке отклонений $x_{oi} - \overline{x_{04}}$;

$$\sigma_{н4} [\Delta_{04}] = + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left((x_{oi} - \overline{x_{04}})_{<0} \right)^2}{n(n-n^0)}} \quad (14)$$

- среднеквадратические отклонения результатов измерений при отрицательном знаке отклонений $x_{oi} - \overline{x_{04}}$; $\overline{x_{04}}$ – среднее значение результата измерения нормированной по значению ФВ x_0 ; $\sigma_{в4}$ и $\sigma_{н4}$ – верхнее и нижнее среднеквадратические отклонения результатов измерений на момент времени t_{x4} .

В тот же момент времени t_{x4} определяются знаки и значения приращений

$$\Delta\xi_{x40} = \overline{\xi_{x4}}(t_{x4}) - \overline{\xi_{x0}}(t_{x0}) = \xi_{x4} - \xi_{x0} \quad (15)$$

и

$$\Delta\xi_{x43} = \overline{\xi_{x4}}(t_{x4}) - \overline{\xi_{x3}}(t_{x3}) = \xi_{x4} - \xi_{x3} \quad (16)$$

погрешностей, полученных в моменты времени t_{x3} и t_{x4} предыдущей и текущей поверок.

Полученные значения погрешностей ξ_{x4} и ξ_{x5} анализируются, сравниваются между собой и с ξ_{x0} на предмет выполнения условий (4), (5) и (6), а затем решается вопрос относительно изменения знака (и

направления) переменной составляющей ФР.

Предположим, что выполняется условие (5). На первый взгляд следует поменять знак чувствительности на противоположный, поскольку $|\xi_{x5}| < |\xi_{x4}|$. Но необходимо знать и учитывать тенденцию дальнейшего изменения значения случайной погрешности. Если в момент времени t_{x5} значение погрешности ξ_{x5} меньше значения погрешности ξ_{x4} , т.е. выполняется условие (4), то знак ФР не меняется. Кривая прогнозной ФР (при $k_{\phi5} = 7$) пройдет через точки A , E и E' , соответствующие значениям погрешностей, полученными в моменты времени t_{x0} , t_{x4} и t_{x5} , а значение погрешности ξ_{x3} считается условным промахом (см. рис. 1, кривая 6).

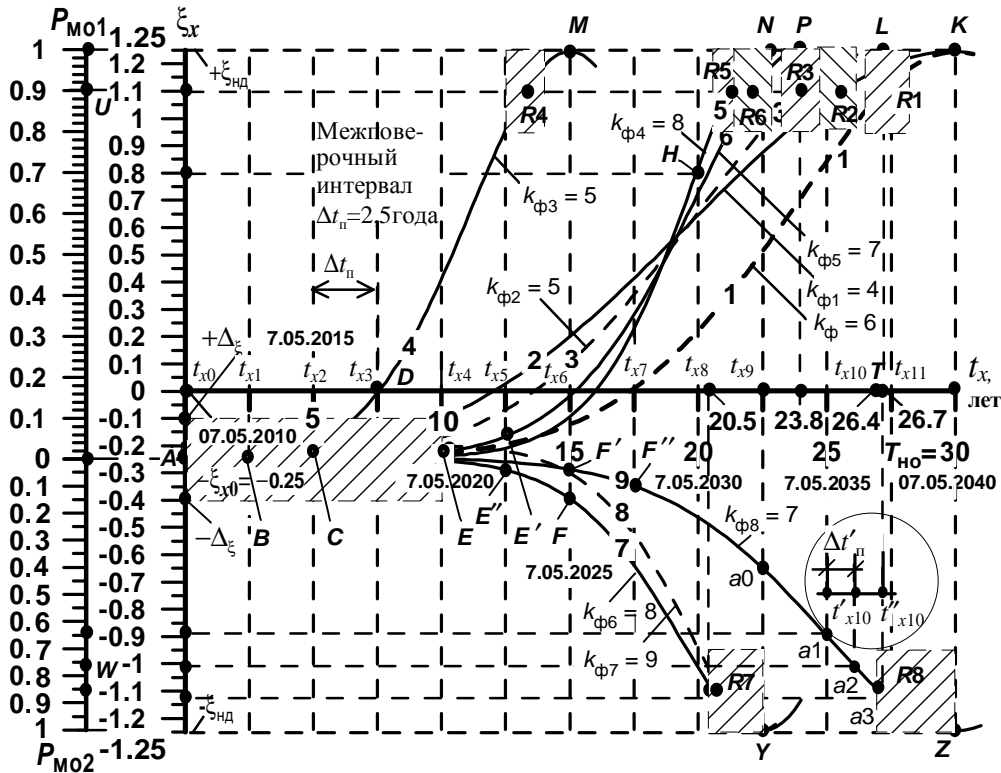


Рис. 1. Графический портрет ВФ-моделей МО СИ, поясняющий сущность и особенности метода динамической регрессии при разных знаках приращений погрешности

Знак чувствительности ФР изменяется на противоположный в случае, когда в момент времени t_{x5} будет получено значение погрешности ξ_{x5}'' , которое по модулю будет больше значения погрешности ξ_{x4} (см. рис. 1, точки E и E''), т.е. будет выполняться условие (7). В данном случае кривая прогнозной ФР пройдет через значения погрешностей, соответствующие моментам времени t_{x0} , t_{x1} и t_{x5} , отмеченные точками A , B и E'' (см. рис. 1, кривую 7 при $T_{нo4} = 22,5$ года и $k_{\phi6} = 8$).

При прогножном времени наработки на МО $T_{нo4}$ (в годах), параметре формы $k_{\phi4}$ и при выполнении условия (7) ФР Кондратова – Вейбулла принимает вид (т.е. меняет знак при S_{ξ} на противоположный)

$$\xi_x(t_x) = -S_{\xi} \cdot \left(\frac{t_x}{T_{нo4}}\right)^{k_{\phi4} - k_{\phi4}^0} \exp\left(-\left(\frac{t_x}{T_{нo4}}\right)^{k_{\phi4} - k_{\phi4}^0}\right) + \xi_{x0} \tag{17}$$

где $k_{\phi4}^0 = 1$.

Если при проведении шестой поверки получили отрицательное значение погрешности ξ_{x6} соответствующее не точке F , а F' (см. рис. 1, точку F'), т.е. меньшее, чем при предыдущей поверке (см. рис. 1, точку E''), то в этом случае выполняется условие (8) и кривая прогнозной ФР пройдет через точки E и F' , а точка E' или точка E'' будут считаться условным промахом (см. рис. 1, кривая 8). В данном случае особенностью построения кривой 8 прогнозной ФР (при $k_{\phi7} = 9$ и $T_{нo4} = 22,5$ года) является изменение начального значения погрешности ξ_{x0} в пределах полосы неопределенности $\pm 0,15$ (см. рис. 1, пунктирную кривую 8).

Это не противоречит 3ξ -гипотезе проф. Кондратова: при n поверках СИ необходимым и достаточным условием определения времени наработки на МО является обязательное прохождение кривых прогнозной ФР не менее, чем через три точки. Первая соответствует погрешности ξ_{x0} , определенной в момент времени t_{x0} введения СИ в эксплуатацию; вторая точка, полученная при $k1$ -й поверке, характеризует погрешность ξ_{xk1} , которая занимает промежуточное положение между первой и третьей точками. Обычно она должна быть размещена на кривой рядом с третьей точкой, соответствующей погрешности (ξ_{xk2}), полученной при $k2$ -й поверке.

Размещение на кривой второй точки ближе к третьей связано с необходимостью сохранения большего значения параметра формы или малого значения погрешности определения времени наработки на МО.

Возможен случай, когда в момент времени t_{x7} седьмой поверки получено отрицательное значение погрешности ξ_{x7} , которое по модулю больше, чем значение погрешности ξ_{x6} , полученное при шестой поверке (см. рис. 1, точки F' и F'' на кривой 9). В этом случае кривая прогнозной ФР пройдет через точки A , F' и F'' , соответствующие погрешностям ξ_{x0} , ξ_{x6} и ξ_{x7} (рис. 1, кривая 9 при $k_{ф8} = 7$ и $T_{но4} = 30$ лет).

По результатам седьмой поверки можно утверждать, что МО может наступить, с вероятностью $P_{\xi} = 0,85$, после 26,4 года использования СИ, т.е. в промежутке от 26,4 года до 30 лет (см. рис. 1, кривая 9 при $k_{ф7} = 7$ и заштрихованную полосу неопределенности относительно точки $R8$).

Далее, согласно предложенному методу, аналогичным образом определяются прогнозные значения времени наработки на МО, ее погрешность, а также вероятность МО СИ.

Особенность 2. Уменьшение межповерочного интервала

Предположим, что в t_{x10} -й момент времени предпоследней поверки ($i = 10$) получено такое значение погрешности $\xi_{x10} = 0,88 \pm 0,15$ результата измерения образцовой ФВ x_0 , при котором вершина кривой прогнозной ФР, проведенной через точки A , a_0 и a_1 , указывает на возможность МО в течение следующего межповерочного интервала, т.е. после 26,4 года использования СИ (рис. 1, точка $a1$ на кривой 9 и точка $R8$ с заштрихованной полосой неопределенности).

В этом случае интервал времени между запланированными поверками делится на более мелкие градации, например, через год. В результате получают новые интервалы времени $\Delta t'_{pi}$ двух-пяти дополнительных поверок с значениями межповерочных интервалов, например, $\{\Delta t'_{pi}\} = (\{t_{x11}\} - \{t_{x10}\}) / n$, где $n = 2...5$. Допустим, что интервал времени (от 07.05.2035 года до 07.05.2037 года) до ожидаемого МО разделен на два интервала продолжительностью $\Delta t'_{pi} = 1$ год (см. окружность на рис. 1, с дополнительной осью времени, на которой указанный интервал $\Delta t'_{pi} = t'_{x10} - t_{x10} = t''_{x10} - t'_{x10} = 1$ год разделен на две части, каждая из которых соответствует определенной календарной дате поверок).

В момент времени t'_{x10} осуществляется первая дополнительная поверка, при которой, например, получено значение погрешности $\xi'_{x10} = -1,1 \pm 0,15$ и значение вероятности МО $P_{мо} = 0,76 \pm 0,15$. Кривая 9 прогнозной ФР проходит через точки A , $a1$ и $a2$. Анализ кривой 9 показал, что в течение времени следующей дополнительной поверки возможен МО (см. на рис. 1, точку $a2$ на кривой 9, характеризующей погрешность $\xi''_{x10} = -1,12 \pm 0,15$ и вероятность МО $P_{мо} = 0,76 \pm 0,15$). Следовательно, вторая дополнительная поверка в момент времени t''_{x10} не проводится, т.к. $P_{мо} = 0,86 \pm 0,15 > 1$ (рис. 1, точка $R8$ на кривой 9).

При острой необходимости итерационный процесс деления интервалов времени между поверками повторяется до получения необходимой точности определения прогнозного интервала времени наработки СИ на МО. Например, вместо дополнительных поверок с интервалами в 1 год можно осуществлять поверки с интервалами 0,5 года.

Особенность 3. Изменение знака переменной составляющей ФР, знака и значения параметра смещения

Предположим, что после проведения четвертой поверки получено значение погрешности (см. рис. 2, точку F на кривой 4), которое совпало с теоретическим значением, рассчитанным по предыдущей прогнозной ФР на момент времени t_{x4} . В результате кривая 4 не поменяла свое положение и форму и прошла через точки A , D и F . В момент времени проведения пятой поверки ситуация повторилась. Кривая 4 прошла через точки A , F и H .

С вероятностью $P_{мо} = 0,9 \pm 0,1$ можно констатировать, что МО наступит не 07.05. 2040 года и не 07.05.2025 года, а после 13,3 лет использования СИ, т.е. после 7.06.2023 года (см. рис. 2, отметка 13,3 на оси времени).

При проведении шестой поверки было установлено, например, что погрешность измерений уменьшилась до значения $\xi_{x6} = 0,54 \pm 0,15$ (см. рис. 2, точка P на кривой 6), а значение приращения погрешностей, практически полученных по результатам шестой и пятой поверок, поменяло свой знак на противоположный. Казалось бы, что прогнозную кривую можно провести через точки A , C и P (см. рис. 2,

пунктирная кривая 5 при $k_{\phi 4} = 5$ и $T_{\text{но}} = 20$ лет, показывающая на возможность МО в период с 7.08.2028 по 7.05.2030 года). Но это будет противоречить условиям изменения знака переменной составляющей ФР при изменении знака приращения погрешностей.

Поэтому принимается решение: 1) об изменении знака переменной составляющей ФР на противоположный и 2) об изменении начального значения погрешности $\xi_{x0} = -0,25 \pm 0,15$ (при t_{x0}) на значение $\xi_{x0} = 1,1 \pm 0,15$, отличающееся от верхнего граничного значения на половину ширины полосы неопределенности (рис. 2). Кривая 6 проводится, при установленных значениях $k_{\phi 5} = 7$ и $T_{\text{но}} = 21,4$, через точки A', H и P , соответствующие погрешностям ξ'_{x0}, ξ_{x5} и ξ_{x6} .

Можно, в порядке исключения, принять начальное значение погрешности равным верхнему граничному значению, т.е. $\xi_{x0} = \xi_{\text{нд}} = 1,25$. В этом случае кривая 8 прогнозной ФР незначительно будет отличаться от кривой 7 (см. рис. 2, пунктирная кривая 8 с параметрами $\xi_{x0} = \xi_{\text{нд}} = 1,25$, $k_{\phi 5} = 6$ и $T_{\text{но}} = 22$ года).

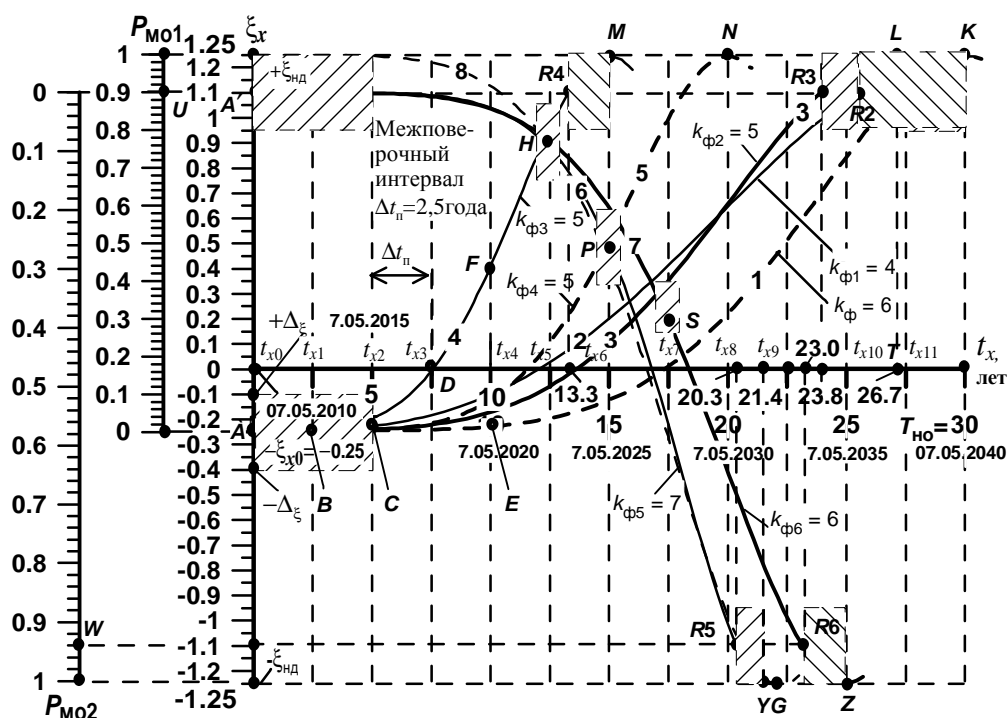


Рис. 2. Графический портрет ВФ-моделей МО СИ, поясняющий особенности метода динамической регрессии при значениях погрешностей близких к граничным

Предположим, что при проведении следующей, седьмой, поверки установлено дальнейшее уменьшение значения погрешности измерения до значения $\xi_{x7} = 0,22 \pm 0,15$ (см. рис. 2, точка S на кривой 7). Знак разности сохранился. Следовательно, принятое при шестой поверке решение об изменении знака переменной составляющей ФР и параметра смещения было правильным. По результатам седьмой поверки проводится кривая 7 прогнозной ФР с параметрами $\xi_{x0} = 1,1 \pm 0,15$, $k_{\phi 6} = 6$ и $T_{\text{но}} = 25$ лет, которая проходит через точки A', H и S (см. рис. 2, кривая 7). Значение погрешности ξ_{x6} , полученное при шестой поверке, принимается за условный промах. По результатам данной поверки можно констатировать, что МО СИ произойдет после 25 лет его использования.

Одновременно, по результатам шестой поверки, на графическом портрете ВФ-моделей МО СИ дополнительно строится новая шкала вероятностных значений МО, соответствующая кривым 6 и 7 ФР. Она привязана, соответственно, к значениям погрешностей $\xi_{x0} = 1,1$ и $\xi_{\text{нд}} = -1,25$. От первой шкалы вероятностных значений МО дополнительная шкала отличается ценой делений (см. рис. 2, крайняя левая шкала). По результатам, например, шестой поверки, можно утверждать, что с вероятностью $P_{\text{Mo2}} = 0,94$ МО может наступить после 20,3 года использования поверяемого СИ (см. рис. 2, точка W на шкале вероятностных значений МО и отметка интервального времени 20,3, соответствующая погрешности $\xi_{x7} = -1,1 \pm 0,15$). Седьмая поверка показала, что МО может наступить после 23 лет использования СИ (см. рис. 2, точка $R6$ на заштрихованной полосе неопределенности и соответствующая ей отметка 23 на шкале времени).

Следовательно, если при проведении двух текущих поверок получены приращения значений

погрешностей противоположного от предыдущих знака и установлено, что имеет место уменьшение значения погрешности измерения $\pm \xi_{xi}$ от значений, близких к граничным: $+\xi_{нд} - \Delta \xi_{нд}$ или $-\xi_{нд} + \Delta \xi_{нд}$, т.е. $|\pm \xi_{xi}| < |\pm \xi_{нд} \pm \Delta \xi_{нд}|$ или от значений, близких к граничному уровню (значению) $+\xi_{нд}$ или $-\xi_{нд}$, т.е. $|\pm \xi_{xi}| < |\pm \xi_{нд}|$, то в этих случаях осуществляются следующие действия:

изменяют начальное значение погрешности ξ_{x0} на значения $\{\xi'_{x0}\} \leq \{\xi_{нд}\} - \{\Delta \xi_{нд}\}$ или $\{\xi''_{x0}\} = -\{\xi_{нд}\} + \{\Delta \xi_{нд}\}$;

изменяют на противоположный знак чувствительности ФР;

определяют параметры ФР;

строят кривую прогнозной ФР при полученных в t_{x0} , t_{xk1} -й и t_{xk2} -й моменты времени значениях погрешностей.

После проведения всех n проверок осуществляются следующие действия:

1. Определяются наиболее вероятные (действительные) значения параметров ФР, в том числе времени наработки на МО, верхней и нижней допустимых границ полос неопределенности и т.д. Причем всегда за основу выбираются результаты многократных измерений образцовой ФВ x_0 в определенные моменты времени t_{x0} и t_{xi-1}, t_{xi} проверок и результаты определения соответствующих погрешностей (т.е. первое и два последующих соседних значений погрешности измерения).

2. Запоминаются полученные во время каждой i -й проверки значения $T_{noi}(t_{xi})$, $T_{ноів}(t_{xi})$, $T_{ноін}(t_{xi})$, $\Delta T_{ноі}(t_{xi})$, $\Delta T_{ноів}(t_{xi}) = k_{ziT} \sigma_{Tvi}$ и $\Delta T_{ноін}(t_{xi}) = k_{ziT} \sigma_{Tni}$ при $i = 1, \dots, n$.

3. По результатам последней проверки определяются среднестатистические значения времени $\overline{T_{но}}$ наработки на МО, значение параметра формы $\overline{k_{\phi}}$, а также среднеквадратические отклонения $\pm \sigma_{Ti}$ и $\pm \sigma_{k_{\phi i}}$.

4. По полученным среднестатистическим значениям времени $\overline{T_{но}}$ наработки на МО и параметра формы $\overline{k_{\phi}}$ строится уточненная прогнозная кривая ФР с указанием ее верхней и нижней границ при заданном значении погрешности ξ_{x0} .

Полученные показатели МН являются наиболее вероятными и по ним уточняются параметры базовых кривых прогнозной ФР для СИ данного типа и класса точности.

Необходимо отметить, что описанный метод тесно связан как с априорным (предварительным) прогнозированием значения времени наработки на МО при проектировании СИ, так и с определением этих параметров и характеристик при использовании СИ.

Проведение одновременных проверок группы СИ одного типа

При проведении одновременных проверок группы n_0 СИ одного вида, но с разными k -ми значениями погрешностей $\xi_{x0k}(t_{x0})$ или коэффициентами метрологического запаса $k_{мзк}$, по результатам последней проверки для каждого СИ определяются: среднестатистическое значение погрешности $\overline{\xi_{x0}}$; значение времени наработки на МО $\overline{T_{но}}$ и значение параметра формы $\overline{k_{\phi}}$ по следующим уравнениям величин:

$$\overline{\xi_{x0}} = \frac{1}{n_0} \sum_{i=1}^{n_0} \xi_{x0i}$$

$$T_{но\Sigma} = \overline{T_{но}} = \frac{1}{n_0} \sum_{i=1}^{i=n_0} T_{ноі}$$

и

$$k_{\phi\Sigma} = \overline{k_{\phi}} = \frac{1}{n_0} \sum_{i=1}^{i=n_0} k_{\phi i}$$

Полученные среднестатистические значения параметров прогнозных ФР для группы СИ одного типа запоминаются и используются, как наиболее вероятные, в качестве базовых параметров ВФ-модели МО СИ.

Выводы

Изложены особенности применения T -метода динамической нелинейной регрессии для прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ при изменениях значения и знака погрешностей и их приращений.

Установлены условия изменения знака переменной составляющей функции распределения на противоположный, что дает возможность их использования при решении частных случаев определения времени наработки на метрологический отказ.

Показана возможность определения значения вероятности метрологического отказа средства

измерений по дополнительным вероятностным шкалам.

Описаны условия и приведен пример изменения знака переменной составляющей функции распределения, знака и значения параметра смещения. Рассмотрен случай привязки начала кривой функции распределения к граничному значению погрешности, соответствующей моменту времени t_{x0} или к близкому к нему значению.

Предложено интервал времени использования СИ при доверительной вероятности $P_{Mo} \geq 0,9 \pm 0,1$ делить на более мелкие градации и проводить дополнительные поверки.

Результаты n поверок могут быть использованы для исследования динамики кривых прогнозных функции распределения при разных значениях ее параметров (и ее метрологических характеристик).

Результаты одновременной поверок группы СИ одного типа могут быть использованы для определения среднестатистических значений параметров функции распределения и корректировки их значений в базовой функции распределения.

Описанный T -метод динамической регрессии является универсальным и может быть использован для прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ при многопараметровых функций распределения иного вида, т.е. при разных ВФ-моделях метрологических отказов средств измерений.

Литература

1. Пат. України № 90122 С2, кл. G01M 1/00. Спосіб визначення часу наробітку на метрологічну відмову засоба вимірювання / Кондратов В. Т.; Бюл. № 7 від 12.04.2010 р.
2. Кондратов В. Т. Теория метрологической надежности: применение нелинейного регрессионного анализа для прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 4. – С. 138–148.
3. Кондратов В. Т. Теория метрологической надежности: новый метод динамического прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ. Сообщение 1 / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2009. – № 1. – С. 57–65.
4. Кондратов В. Т. Теория метрологической надежности: новый метод динамического прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ. Сообщение 2 / В. Т. Кондратов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 5. – С. 200–205.

УДК 519.83

В.В. РОМАНЮК

Хмельницький національний університет

РЕГУЛЯРНА ОПТИМАЛЬНА СТРАТЕГІЯ ПРОЕКТУВАЛЬНИКА У КЛАСИЧНІЙ КОНСТРУКЦІЇ З ЧОТИРМА ОПОРАМИ, НА ЯКІ ДІЮТЬ ЧАСТКОВО НЕВИЗНАЧЕНІ СТИСКАЮЧІ ЗУСИЛЛЯ

Дію нормованого навантаження на конструкцію з чотирма опорами, на які діють частково невизначені стискаючі зусилля, змодельовано як неперервну антагоністичну гру з ядром на шестивимірному гіперпаралелепіпеді. Доведено, що у такій грі другий гравець, якого уособлює проектувальник, має єдину оптимальну стратегію. Ця стратегія, визначена за певної умови, названа регулярною і дозволяє мінімізувати максимально можливі частки від граничного навантаження на опори конструкції.

The normed load action on construction with four supports, on which partially undetermined compressive forces act, has been modeled as continuous antagonistic game with kernel on six-dimensional hyperparallelepiped. It has been proved, that in such game the second player, what is personified by projector, has the single optimal strategy. This strategy, determined under some condition, has been called regular and allows minimizing the maximally possible parts from boundary load on the construction supports.

Ключові слова: конструкція з опорами, часткова невизначеність, нормоване навантаження, стискаюче зусилля, максимінний результат, ігрове антагоністичне моделювання, антагоністична гра, опуклість, оптимальна стратегія проектувальника.

Актуальність і значущість проблеми у загальному виді

Рациональний розподіл доступних ресурсів є практично повсякденною проблемою, котра виникає у будь-якій сфері суспільної активності. Проблеми такого розподілу постають й у будівельній механіці та машинобудуванні, де завжди існує дилема: з одного боку, необхідно забезпечувати надійність опорних конструкцій, на що додатково витрачається будівельний матеріал (металеві сплави, деревина, неорганічні сполуки), а з іншого боку — варто заощаджувати будівельні ресурси як для економії коштів, так і для того, щоб вага опорної конструкції була не надто великою [1, 2]. Компромісні рішення тут недопустимі, оскільки йдеться про безпеку, тому прийнятним є лише представлення рішень з гарантованим або максимінним результатом, де оптимізація витрат проектування відбувається на фоні забезпечення цілковитої надійності. Такий результат отримується часто за допомогою ігрового антагоністичного моделювання, де першого

гравця персоніфікують випадкові обставини [3, 4], врахувати які у моделі практично неможливо. Тому й отримання чистих оптимальних стратегій для другого гравця (проектувальника) є актуальною проблемою при вирішенні задач проектування опорних конструкцій [5 — 9]. Зокрема, у розпочатій статті мова піде про класичну конструкцію з чотирма опорами, на які діють частково невизначені стискаючі зусилля, але загальне стискаюче зусилля є відомим і воно нормується. Схема розташування опор конструкції (у вершинах квадрата чи чотирикутника або якимось інакше) не матиме значення. Крім того, слухним буде зауважити, що за відоме загальне стискаюче зусилля (котре, звичайно, не може бути сталим) береться його верхнє значення, і воно нормується до одиниці.

Аналіз останніх досліджень і публікацій щодо усунення часткових невизначеностей у задачах будівельної механіки і машинобудування

Виникнення невизначеностей у задачах будівельної механіки і машинобудування породжує проблеми їх усунення, що зазвичай моделюються за допомогою антагоністичних ігор. Особливо це стосується задачі оптимального використання і розподілу нормованого одиничного об'єму будівельних ресурсів у конструкції-опорі, що складається з $N \in \mathbb{N} \setminus \{1\}$ елементів (однакової геометричної форми — хоча це не обов'язково), на які діє фіксоване (нормоване одиничне) навантаження [5, 6, 9]. Відомо, що частка від граничного навантаження на i -ту опору будівельної (машинобудівної) конструкції з площею поперечного перерізу y_i , на який діє стискаюче зусилля x_i , знаходиться як

$$T_i(x_i, y_i) = \alpha \frac{x_i}{y_i^2}, \quad (1)$$

де α є коефіцієнтом, що характеризує механічні властивості матеріалу i -ї опори [3, с. 144]. Усі можливі нормовані навантаження, які можуть стискувати i -ту опору, знаходяться у межах сегмента

$$[a_i; b_i] \subset (0; 1) \subset [0; 1]. \quad (2)$$

Те саме стосується й усіх можливих нормованих площ поперечного перерізу i -ї опори, сума яких за усіма опорами теж є одиничною. Точний імовірнісний розподіл цих значень невідомий — ніяких імовірнісних розподілів на сегменті (2) не існує (якби навіть й існували, то вони не розглядалися б, адже йдеться про надійність і безпеку з гарантованим результатом, а не про безпеку “у середньому”, з математичним сподіванням). Передбачається, що

$$\mu_{\pm}([a_i; b_i]) > 0 \quad (3)$$

для кожного $i \in \{1, N\}$, тобто на кожну опору діятиме певне навантаження (стискаюче зусилля), точкове значення якого ніколи не є відомим. Це навантаження, таким чином, є $[a_i; b_i]$ -невизначеним. Якби могло бути $[a_i; b_i] = [0; 1]$, то йшлося би про повну невизначеність стискаючого зусилля, але, оскільки $a_i > 0$ та $b_i < 1$, у розглядуваному випадку стискаюче i -ту опору зусилля є частково невизначеним [10 — 13].

При відомому сегменті $[a_i; b_i] \quad \forall i = \overline{1, N}$ ставиться задача мінімізувати максимально можливі частки від граничного навантаження на опори конструкції. Ця задача для $N = 4$ моделюється як нескінченна антагоністична гра з ядром

$$\begin{aligned} T(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) &= T(x_1, x_2, x_3; y_1, y_2, y_3) = \max \left\{ \{T_i(x_i, y_i)\}_{i=1}^4 \right\} = \\ &= \max \{T_1(x_1, y_1), T_2(x_2, y_2), T_3(x_3, y_3), T_4(x_4, y_4)\} = \\ &= \max \left\{ \alpha \frac{x_1}{y_1^2}, \alpha \frac{x_2}{y_2^2}, \alpha \frac{x_3}{y_3^2}, \alpha \frac{1-x_1-x_2-x_3}{(1-y_1-y_2-y_3)^2} \right\} = \alpha \max \left\{ \frac{x_1}{y_1^2}, \frac{x_2}{y_2^2}, \frac{x_3}{y_3^2}, \frac{1-x_1-x_2-x_3}{(1-y_1-y_2-y_3)^2} \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

на декартовому добутку

$$\begin{aligned} \mathbf{X} \times \mathbf{Y} &= \{[a_1; b_1] \times [a_2; b_2] \times [a_3; b_3]\} \times \{[a_4; b_4] \times [a_5; b_5] \times [a_6; b_6]\} = \\ &= \prod_{i=1}^3 [a_i; b_i] \times [a_4; b_4] \times [a_5; b_5] \times [a_6; b_6] \subset \prod_{i=1}^3 [a_i; b_i] \times \prod_{i=4}^6 [a_i; b_i] \subset \prod_{i=1}^6 (0; 1) \subset \prod_{i=1}^6 [0; 1] \subset \mathbb{R}^6 \end{aligned} \quad (5)$$

двох паралелепіпедів

$$\mathbf{X} = [a_1; b_1] \times [a_2; b_2] \times [a_3; b_3] = \prod_{i=1}^3 [a_i; b_i] \subset \prod_{i=1}^3 (0; 1) \subset \prod_{i=1}^3 [0; 1] \subset \mathbb{R}^3 \quad (6)$$

та

$$\mathbf{Y} = [a_4; b_4] \times [a_5; b_5] \times [a_6; b_6] = \prod_{i=4}^6 [a_i; b_i] \subset \prod_{i=4}^6 (0; 1) \subset \prod_{i=4}^6 [0; 1] \subset \mathbb{R}^3 \quad (7)$$

як підмножини одиничного шестивимірної гіперпаралелепіпеда. Паралелепіпед (6) є множиною чистих стратегій

$$\mathbf{X} = [x_1 \quad x_2 \quad x_3] \in [a_1; b_1] \times [a_2; b_2] \times [a_3; b_3] = \mathbf{X} \quad (8)$$

першого гравця, а паралелепіпед (7) є множиною чистих стратегій

$$\mathbf{Y} = [y_1 \quad y_2 \quad y_3] \in [a_1; b_1] \times [a_2; b_2] \times [a_3; b_3] = \mathbf{Y} \quad (9)$$

проекувальника (другого гравця).

Формулювання мети і постановка завдання статті

Метою розпочатого дослідження є знаходження оптимальних площ чотирьох поперечних перерізів опор конструкції, застосування яких мінімізує максимально можливі частки від граничного навантаження на них і надасть згаданий гарантований (максимінний чи, власне, мінімаксий) результат. Для цього необхідно визначити оптимальну стратегію проектувальника у нескінченній антагоністичній грі з ядром (4) на гіперпаралелепіпеді (5), попередньо обгрунтувавши її опуклість.

Твердження про опуклість антагоністичної гри з ядром (4) на гіперпаралелепіпеді (5)

Справедливість такого твердження означатиме, що у проектувальника буде чиста оптимальна стратегія, яка притому може виявитись єдиною [3, 4, 14, 15]. Тоді й оптимізація витрат проектування відбудеться на фоні забезпечення цілковитої надійності, адже не треба буде прив'язуватися до якихось імовірнісних мір (тобто змішаних стратегій другого гравця) на паралелепіпеді (7).

Теорема 1. Антагоністична гра з ядром (4) на гіперпаралелепіпеді (5) є опуклою.

Доведення. Покажемо, що ядро (4) на гіперпаралелепіпеді (5) є опуклою функцією змінних $\{y_d\}_{d=1}^3$.

Маємо майже скрізь ненульові другі частинні похідні частин гіперповерхні під знаком максимуму у (4):

$$\frac{\partial^2}{\partial y_d^2} \left(\frac{x_d}{y_d^2} \right) = \frac{\partial}{\partial y_d} \left(-\frac{2x_d}{y_d^3} \right) = \frac{6x_d}{y_d^4}, \quad d = \overline{1, 3}, \quad (10)$$

$$\frac{\partial^2}{\partial y_d^2} \left(\frac{1-x_1-x_2-x_3}{(1-y_1-y_2-y_3)^2} \right) = \frac{\partial}{\partial y_d} \left(\frac{2(1-x_1-x_2-x_3)}{(1-y_1-y_2-y_3)^3} \right) = \frac{6(1-x_1-x_2-x_3)}{(1-y_1-y_2-y_3)^4}, \quad d = \overline{1, 3}. \quad (11)$$

Очевидно, що (10) й (11) набувають додатних значень при довільному $y_d \in [a_d; b_d]$, оскільки ще й $x_d \in [a_d; b_d]$ за умовами задачі, $d = \overline{1, 3}$. На нуль-вимірних множинах, де ядро (4) не є диференційовним, його перші частинні похідні як функції від аргументів $\{y_d\}_{d=1}^3$ “стрибають” з меншого значення у більше. Тому умова

$$\frac{\partial^3}{\partial y_d^3} T(x_1, x_2, x_3; y_1, y_2, y_3) \geq 0 \quad \text{при } d = \overline{1, 3}$$

опуклості даної антагоністичної гри виконана для всіх точок гіперпаралелепіпеда (5). Отже, гра з ядром (4) на гіперпаралелепіпеді (5) є опуклою. Теорему доведено.

Як наслідок, в опуклій грі з ядром (4) на гіперпаралелепіпеді (5) другий гравець (проекувальник) володіє (можливо, єдиною) чистою оптимальною стратегією

$$\mathbf{Y}_* = [y_1^* \quad y_2^* \quad y_3^*] \in [a_1; b_1] \times [a_2; b_2] \times [a_3; b_3] = \mathbf{Y}. \quad (12)$$

Залишається визначити її компоненти $\{y_i^*\}_{i=1}^3$, використавши відомий принцип розв'язування опуклих антагоністичних ігор.

Регулярні компоненти $\{y_i^*\}_{i=1}^3$ оптимальної стратегії проектувальника в антагоністичній грі з ядром (4) на гіперпаралелепіпеді (5)

Теорема 2. В антагоністичній грі з ядром (4) на гіперпаралелепіпеді (5) за умови

$$\frac{\sqrt{b_i}}{\sum_{d=1}^3 \sqrt{b_d} + \sqrt{1 - \sum_{d=1}^3 a_d}} \in [a_i; b_i] \quad \forall i = \overline{1, 3} \quad (13)$$

оптимальною стратегією проектувальника є

$$\mathbf{Y}_* = \left[\frac{\sqrt{b_1}}{\sum_{d=1}^3 \sqrt{b_d} + \sqrt{1 - \sum_{d=1}^3 a_d}} \quad \frac{\sqrt{b_2}}{\sum_{d=1}^3 \sqrt{b_d} + \sqrt{1 - \sum_{d=1}^3 a_d}} \quad \frac{\sqrt{b_3}}{\sum_{d=1}^3 \sqrt{b_d} + \sqrt{1 - \sum_{d=1}^3 a_d}} \right]. \quad (14)$$

Доведення. Знаходимо максимум ядра (4) на паралелепіпеді (6). Маємо:

$$\begin{aligned} \max_{\mathbf{X}=\mathbf{X}} T(\mathbf{X}, \mathbf{Y}) &= \alpha \max_{\mathbf{X}=\mathbf{X}} \left\{ \max \left[\frac{x_1}{y_1^2}, \frac{x_2}{y_2^2}, \frac{x_3}{y_3^2}, \frac{1-x_1-x_2-x_3}{(1-y_1-y_2-y_3)^2} \right] \right\} = \\ &= \alpha \max \left\{ \max_{x \in [a_i; b_i]} \left[\frac{x}{y_i^2} \right], \max_{x \in [a_i; b_i]} \left[\frac{x_2}{y_2^2} \right], \max_{x \in [a_i; b_i]} \left[\frac{x_3}{y_3^2} \right], \max_{\mathbf{X}=\mathbf{X}} \left[\frac{1-x_1-x_2-x_3}{(1-y_1-y_2-y_3)^2} \right] \right\} = \\ &= \alpha \max \left\{ \frac{b_1}{y_1^2}, \frac{b_2}{y_2^2}, \frac{b_3}{y_3^2}, \frac{1-a_1-a_2-a_3}{(1-y_1-y_2-y_3)^2} \right\}. \end{aligned} \quad (15)$$

Згідно з [3, с. 140 — 143], оптимальне значення v_* розглядуваної гри може досягатися на кожній із компонент під знаком максимуму у (15) при

$$[y_1 \ y_2 \ y_3] = [y_1^* \ y_2^* \ y_3^*].$$

Отже, нехай

$$v_* = \alpha \frac{b_1}{(y_1^*)^2} = \alpha \frac{b_2}{(y_2^*)^2} = \alpha \frac{b_3}{(y_3^*)^2} = \alpha \frac{1-a_1-a_2-a_3}{(1-y_1^*-y_2^*-y_3^*)^2}, \quad (16)$$

звідки

$$y_d^* = \sqrt{\frac{\alpha b_d}{v_*}} \quad \forall d = \overline{1, 3} \quad (17)$$

та

$$1-y_1^*-y_2^*-y_3^* = \sqrt{\frac{\alpha(1-a_1-a_2-a_3)}{v_*}}. \quad (18)$$

Просумувавши ліві і праві частини співвідношень (17) та (18), отримаємо

$$\begin{aligned} 1 &= \sqrt{\frac{\alpha b_1}{v_*}} + \sqrt{\frac{\alpha b_2}{v_*}} + \sqrt{\frac{\alpha b_3}{v_*}} + \sqrt{\frac{\alpha(1-a_1-a_2-a_3)}{v_*}} = \\ &= \sqrt{\alpha} \frac{\sqrt{b_1} + \sqrt{b_2} + \sqrt{b_3} + \sqrt{1-a_1-a_2-a_3}}{\sqrt{v_*}} = \sqrt{\alpha} \frac{\sum_{d=1}^3 \sqrt{b_d} + \sqrt{1-\sum_{d=1}^3 a_d}}{\sqrt{v_*}}, \end{aligned} \quad (19)$$

звідки

$$v_* = \alpha \left(\sqrt{b_1} + \sqrt{b_2} + \sqrt{b_3} + \sqrt{1-a_1-a_2-a_3} \right)^2 = \alpha \left(\sum_{d=1}^3 \sqrt{b_d} + \sqrt{1-\sum_{d=1}^3 a_d} \right)^2. \quad (20)$$

Таким чином, компонентами оптимальної стратегії проектувальника (12) є

$$y_i^* = \frac{\sqrt{b_i}}{\sqrt{b_1} + \sqrt{b_2} + \sqrt{b_3} + \sqrt{1-a_1-a_2-a_3}} = \frac{\sqrt{b_i}}{\sum_{d=1}^3 \sqrt{b_d} + \sqrt{1-\sum_{d=1}^3 a_d}}, \quad i = \overline{1, 3}. \quad (21)$$

Але (21) мають місце тільки при (13), оскільки чиста стратегія другого гравця не може не належати множині його чистих стратегій. Тоді припущення про тотожність (16) виконається. Отже, в антагоністичній грі з ядром (4) на гіперпаралелепіпеді (5) за умови (13) оптимальною стратегією проектувальника є (14). Теорему доведено.

Компоненти $\{y_i^*\}_{i=1}^3$ оптимальної стратегії проектувальника (14) в антагоністичній грі з ядром (4) на гіперпаралелепіпеді (5) можна називати регулярними (і саму таку стратегію можна називати регулярною), оскільки вони визначаються як (21) за умови (13). Якщо хоча б одна з трьох належностей в умові (13) порушується, то, очевидно, точка (14) не буде стратегією проектувальника [8], не кажучи вже про її оптимальність.

Висновок та перспектива подальшого дослідження

Отримавши компоненти $\{y_i^*\}_{i=1}^3$ оптимальної стратегії проектувальника (14), котрі є оптимальними площами поперечних перерізів трьох опор конструкції, площу четвертої знаходять як

$$y_4^* = 1 - \sum_{d=1}^3 y_d^*, \quad (22)$$

адже загальна площа поперечних перерізів є нормованою до одиничної. Застосування цих площ мінімізує максимально можливі частки від граничного навантаження на чотири опори конструкції, гарантуючи відповідну надійність. А питання про те, як діяти у випадку порушення умови (13), не є тривіальним. У такому випадку оптимальне значення v_* розглянутої антагоністичної гри не буде досягнуто принаймні на

одній із компонент під знаком максимуму у (15). Доведеться розв'язувати цю (скажімо, “нерегулярну”) гру з самого початку. Це є перспективою подальшого дослідження оптимальної стратегії проектувальника у конструкції з чотирма опорами, на які діють $[a_i; b_i]$ -невизначені стискаючі зусилля.

Література

1. Киселев В. А. Строительная механика: Спец. курс. Динамика и устойчивость сооружений: [учебник для вузов] / Киселев В. А. – [3-е изд., испр. и доп.]. – М.: Стройиздат, 1980. – 616 с.: ил.
2. Дарков А. В. Строительная механика: [учебник для строит. спец. вузов] / А. В. Дарков, Н. Н. Шапошников. – [8-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Высш. шк., 1986. – 607 с.: ил.
3. Воробьев Н. Н. Теория игр для экономистов-кибернетиков / Воробьев Н. Н. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985. – 272 с.
4. Теория игр: [учеб. пособие для ун-тов] / Петросян Л. А., Зенкевич Н. А., Семина Е. А. – М.: Высшая школа, Книжный дом “Университет”, 1998. – 304 с.: ил.
5. Романюк В. В. Модель визначення оптимального рішення проектувальника у задачі про розрахунок поздовжньої стійкості двох елементів будівельної конструкції при дії на них нормованого стискаючого зусилля / В. В. Романюк // Проблеми трибології. – 2010. – № 1. – С. 42 – 56.
6. Романюк В. В. Моделювання дії нормованого одиничного навантаження на три колони однакової висоти у будівельній конструкції і знаходження оптимальної площі кожної опори / В. В. Романюк // Проблеми трибології. – 2010. – № 3. – С. 18 – 25.
7. Романюк В. В. Доведення тверджень для моделі дії нормованого одиничного навантаження на три колони однакової висоти у будівельній конструкції / В. В. Романюк // Проблеми трибології. – 2010. – № 4. – С. 72 – 81.
8. Романюк В. В. Про особливі компоненти оптимальної стратегії проектувальника у моделі дії нормованого одиничного навантаження на триколонну будівельну конструкцію / В. В. Романюк // Проблеми трибології. – 2011. – № 1. – С. 44 – 46.
9. Романюк В. В. Обчислення оптимальних площ поперечних перерізів у конструкції з трьома опорами за умов часткової невизначеності стискаючих зусиль на елементи з поздовжньою стійкістю / В. В. Романюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2011. – № 1. – С. 86 – 93.
10. Трухаев Р. И. Модели принятия решений в условиях неопределённости / Трухаев Р. И. – М.: Наука, 1981. – 258 с.
11. Мушик Э. Методы принятия технических решений / Мушик Э., Мюллер П.: [пер. с нем.]. – М.: Мир, 1990. – 208 с.
12. Черноуцкий И. Г. Методы принятия решений / Черноуцкий И. Г. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 416 с.: ил.
13. Юдин Д. Б. Математические методы управления в условиях неполной информации / Юдин Д. Б. – М.: “Сов. радио”, 1974. – 400 с.: ил.
14. Оуэн Г. Теория игр / Оуэн Г.; [пер. с англ.]. – 2-е изд. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 216 с.
15. Воробьев Н. Н. Основы теории игр. Бескоалиционные игры / Воробьев Н. Н. – М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1984. – 496 с.

Надійшла 24.3.2011 р.

УДК 687. 021

С.В. ПЕТЕГЕРИЧ, Т.В. ІВАНШЕНА

Хмельницький національний університет

М.П. БЕРЕЗНЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

ХІМІЧНІ МЕТОДИ НАДАННЯ ФОРМОСТІЙКОСТІ ДЕТАЛЯМ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ ЗІ ШТУЧНОЇ ШКІРИ

У статті проаналізовано хімічні методи та полімери для надання формостійкості деталям швейних виробів. Виділено перспективний напрямок надання формостійкості швейним виробам зі штучної шкіри шляхом прямої стабілізації з використанням клею-розплаву на основі відходів поліетилентерефталату.

The article analyzes the chemical methods and medications to provide shape stability to detail of garments. The prospective area of the shape stability of garments with artificial skin by direct stabilization using glue-melt on the basis of PET waste.

Ключові слова: формостійкість, шкіра, швейні вироби.

Постановка проблеми

За останні роки у світі спостерігається тенденція випуску широкого спектру швейних виробів зі штучної шкіри (ШШ), зокрема верхнього одягу. Це зумовлено високим попитом на ці товари завдяки тому,

що сучасну Шш іноді складно відрізнити від натуральної за функціональними характеристиками та зовнішнім виглядом, при цьому її ціна набагато менша. Основними постачальниками Шш для швейних підприємств України є країни східного регіону: Туреччина, Китай, Корея, Індонезія. Вартість імпортованих одягових штучних матеріалів не завжди відповідає якісним характеристикам матеріалу. Інформація про споживчі властивості Шш часто відсутня або ж недостатня, що призводить до значного збільшення обсягу робіт на стадії підготовки виробництва.

Випуск конкурентноспроможної продукції передбачає використання прогресивних технологій обробки деталей і виробу в цілому з урахуванням особливостей будови та властивостей даного матеріалу. Особлива увага повинна приділятися створенню одягу із Шш, який здатен зберігати свою форму і розміри протягом усього періоду його експлуатації і тим самим повністю задовольняти естетичні потреби людини. Проблема підвищення формостійкості одягу з різних текстильних матеріалів була та залишається предметом численних досліджень вітчизняних та зарубіжних вчених. Цим питанням приділено багато уваги у роботах [1, 2]. Досягнуті теоретичні та практичні результати дозволили накопичити значний досвід по створенню формостійких пакетів одягу. Разом з цим аналіз літературних джерел свідчить про недостатню увагу дослідників питанням підвищення формостійкості верхнього одягу із Шш.

Одним із найважливіших напрямків удосконалення процесів виготовлення одягу з Шш, що забезпечує якість виробів, зниження трудо- та матеріаломісткості, є використання більш раціональних способів надання формостійкості деталям швейних виробів. У зв'язку з успішними дослідженнями в області хімії та фізики високомолекулярних з'єднань і розробкою промислового синтезу великого числа різноманітних полімерних композицій перспективним методом стабілізації форми швейних виробів є застосування хімічної технології обробки.

Мета публікації – проаналізувати існуючі хімічні методи та полімери, які застосовуються для надання формостійкості деталям швейних виробів та виділити перспективний напрямок при виготовленні швейних виробів із Шш.

Результати досліджень

Аналіз роботи підприємств свідчить, що на даний час у масовому виробництві одягу використовують в основному традиційний метод надання формостійкості швейним виробам шляхом дублювання термолієвими прокладковими матеріалами. Проте, ця технологічна обробка має певні недоліки: збільшення маси виробу, недостатня стійкість до дії хімічного чищення та прання, різна здатність до з'єднання прокладкових матеріалів та матеріалів верху, підвищені температури при дублюванні негативно впливають на експлуатаційні властивості Шш, що досить чутливі до дії високих температур та ін. Важливим фактором при даній обробці є коректний підбір матеріалів у пакети одягу та точне виконання режимів пресування, що в основному ґрунтується на практичному досвіді конструкторів і технологів швейного виробництва та рекомендаціях фірм-виробників термолієвих прокладкових матеріалів. Усі ці чинники в комплексі призводять до того, що в процесі експлуатації під дією деформуючих навантажень деталі релаксують та поступово втрачають наданий зовнішній вигляд.

Фронтальному дублюванню не підлягають швейні вироби із чітко вираженою рельєфною лицевою стороною та з ворсом. При дублюванні деталей одягу з таких тканин прокладка приклеюється до ворсу (з виворітної сторони) основного матеріалу, і клей не проникає в структуру переплетення тканини верху. В результаті цього відбувається часткове відшарування клеєвої прокладки від тканини верху, що негативно впливає на зовнішній вигляд виробу. У Шш на трикотажній основі на виворотній стороні часто зустрічається підворсовка, що ускладнює процес дублювання.

Для надання формостійкості деталям швейних виробів в ряді випадків застосовують каркасний пакет прокладок, що не передбачає можливість клеєвого з'єднання з основною тканиною виробу. Цей спосіб полягає у використанні пружних багатошарових прокладок, отриманих шляхом термічного склеювання або механічного з'єднання прокладкових матеріалів. Він використовується при виготовленні комірців чоловічих сорочок, бортових прокладок в чоловічих пальто і костюмах. Каркасний пакет прокладок потребує додаткових витрат матеріалів та часу на виготовлення швейних виробів, тому широко не використовується [3].

Усунення означених недоліків можливе заміною традиційних методів технологічних процесів на нові більш ефективні. Перспективним напрямком забезпечення формостійкості деталей швейних виробів є пряма стабілізація. Така обробка відкриває широкі можливості щодо сполучення в одному циклі процесів формоутворення та закріплення деформованої структури тканини, а також регулювання формостійкості деталей за рахунок локальної зміни властивостей пакету виробу, наприклад жорсткості, пружності, зминальності. Крім того, можливо гнучко варіювати рівень формостійкості на різних ділянках деталей виробу (пілочка, спинка, рукав) за рахунок використання композицій з різною концентрацією компонентів, нанесенням їх в декілька шарів.

Способи надання деталям одягу формостійкості прямою стабілізацією визначаються залежно від агрегатного стану стабілізуючого елемента: твердий, рідкий і газоподібний. Полімерні матеріали, що знаходяться до термообробки в твердому агрегатному стані, застосовують у виді полімерних плівок, сіток, порошків, павутинок. Застосування полімерних сіток не знайшло широкого застосування в швейній промисловості із-за низької адгезійної міцності до матеріалу, зниження гігієнічних властивостей одягу в результаті утворення суцільного покриття, підвищення жорсткості. Область застосування полімерних сіток обмежується значною усадкою під час ВТО і хімічного чищення, значним часом активування полімера при

дублюванні та забрудненням контактної поверхні обладнання.

При знаходженні стабілізуючого елемента в газоподібному стані можливе використання парового хімічно активного середовища на стадії пропарювання при ВТО швейних виробів для надання їм формостійкості. Проте, така обробка не придатна для обробки виробів із ШШ.

Полімерні композиції можна наносити на деталі швейних виробів у вигляді водної дисперсії, розчину чи емульсії, розплаву полімера. Раціональні показники формостійкості швейних виробів досягаються за рахунок варіювання концентрації полімерної композиції, способу нанесення та площі нанесення [4, 5].

Позитивом нанесення полімерних композицій в рідкому стані є можливість введення у їхній склад наночастинок металів та інших антимікробних речовин, що ефективно впливають на функціональний стан систем органів людини. При цьому матеріалам можливо надавати такі властивості, як водостійкість, проти-забрудненість, м'якість, антистатичний та антимікробний ефект, термостійкість, формостійкість та ін. На відміну від традиційних технологій аналогічного призначення, наночастини надаючи потрібні ефекти, не перекривають капілярно-пористу структуру волокнистого матеріалу, він продовжує дихати, оскільки його мікропори залишаються відкритими для повітрообміну. Надані ефекти стійкі до дії прання та хімічного чищення.

На основі проведеного аналізу запропонована класифікація хімічних методів надання формостійкості деталям швейних виробів залежно від стабілізуючого елемента, яка представлена на рис. 1. Штрихпунктирною лінією виділено найбільш доцільний варіант надання формостійкості деталям швейних виробів із ШШ.

Важливим є питання вибору полімеру для надання формостійкості деталям швейних виробів із ШШ. На цьому етапі потрібно враховувати хімічний склад полімеру, структуру та сировинний склад текстильного матеріалу, оскільки від цих характеристик залежить якість швейного виробу. Основа полімерної композиції складається часто з кількох полімерів. При її створенні необхідно правильно вибирати не тільки основні полімери, а й інші компоненти, в число яких можуть входити стабілізатори, пластифікатори, загущувачі, тиксотропні добавки та ін.

Полімери, які використовуються для надання формостійкості швейним виробам повинні відповідати визначеному комплексу вимог і володіти наступними властивостями:

- високою адгезією до текстильного волокна;
- стійкістю до різноманітних зовнішніх впливів, яким піддається виріб у процесі експлуатації;
- не повинні викликати труднощів при технологічній обробці;
- відповідати екологічній безпеці одягу, не погіршувати його гігієнічні властивості;
- низькою ціною.

В даний час у швейній промисловості використовуються здебільшого синтетичні полімери, що поділяються на термореактивні та термопластичні. Із термопластичних полімерів найбільше використання отримали клеї-розплави. Серед термореактивних полімерів для надання формостійкості використовують предконденсати термоактивних смол та синтетичні каучуки. Однак ці препарати не відповідають токсикологічним вимогам, що ставляться до текстильних матеріалів та швейних виробів [5].

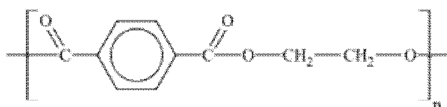
Характеристика полімерів, що використовуються для хімічної обробки деталей швейних виробів, представлена в табл. 1.

Аналізуючи склад відомих композицій для надання формостійкості та умови їх застосування, слід відмітити ряд недоліків: використання розчинників, велика кількість складових композиції, потреба у допоміжних операціях при нанесенні, значний час для формування плівки.

Цих недоліків можна уникнути шляхом підбору полімерних композицій, які не включають токсичні речовини, розчинники, не передбачають використання значної кількості технологічних операцій (або скорочують технологічний процес їх нанесення), за своїми властивостями дають можливість варіювати товщину плівки, що утворюється після нанесення і тим самим би забезпечували високі експлуатаційні властивості швейних виробів.

В Хмельницькому національному університеті науковцями кафедри хімічної технології розроблена технологія переробки відходів ПЕТФ, яка дозволяє отримувати олігоестери з різними властивостями, в тому числі адгезивними, які у подальшому використовуються у вигляді клеїв-розплавів для різних цілей [6]. Як відмічено у роботах [7, 8] дані сполуки відмінно зарекомендували себе при використанні у швейній та взуттєвій промисловості. З розвитком виробництва та споживання різноманітних полімерних матеріалів не вирішеним питанням залишається їх утилізація. Розширення спектру використання рециклатів ПЕТФ, а саме надання формостійкості швейним виробам із ШШ може частково вирішити екологічні проблеми, пов'язані з накопиченням полімерних відходів, та призвести до позитивного економічного та технологічного ефекту у швейній промисловості.

ПЕТФ – термопластик, найбільш поширений представник класу поліефірів, відомий під різними фірмовими назвами. Формула ПЕТФ:



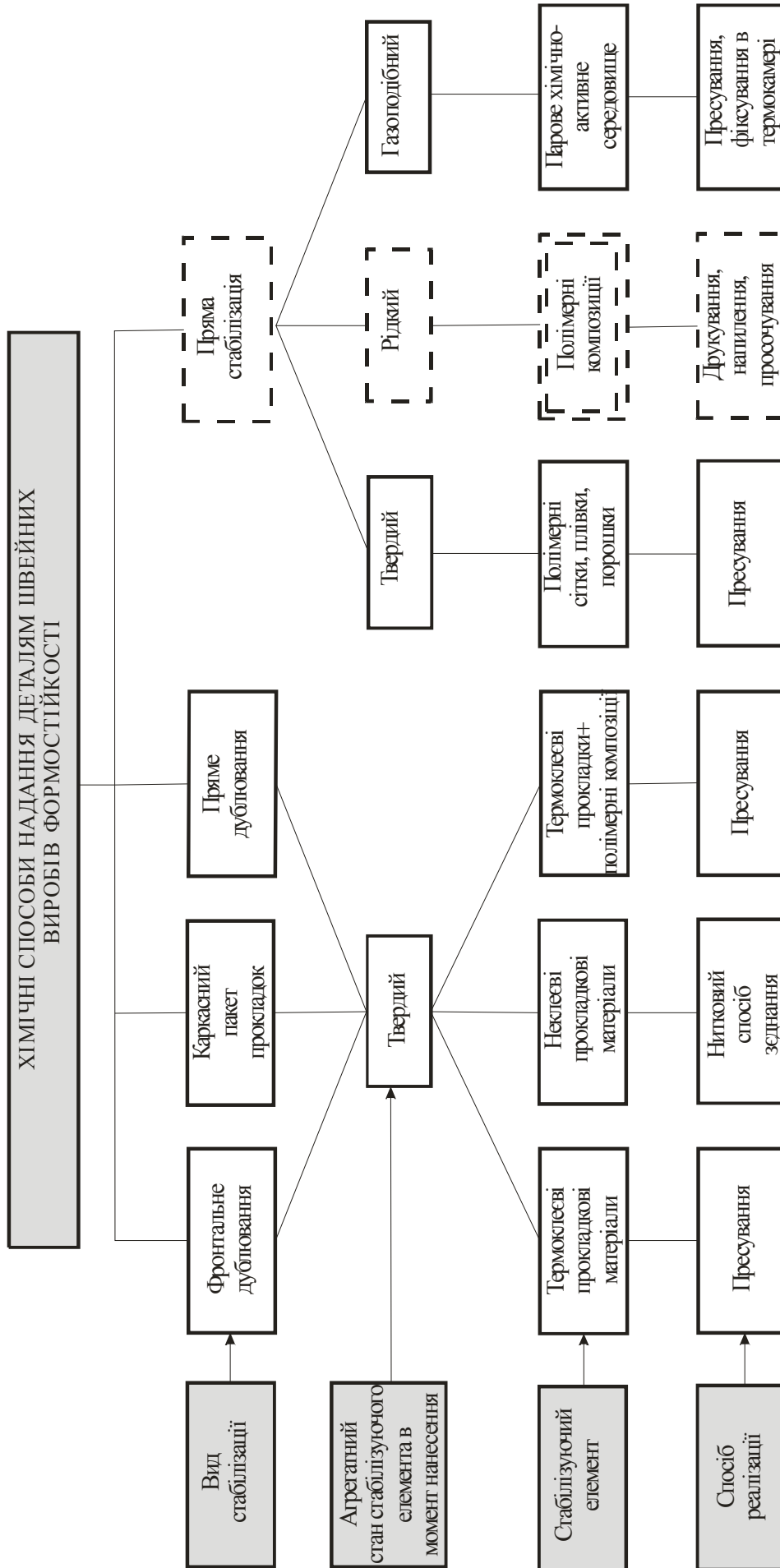


Рис. 1 Класифікація хімічних методів надання формостійкості деталям швейних виробів

Характеристика полімерів для надання формостійкості деталям швейних виробів

Група полімерів	Полімер	Розчинник	Ефект від використання	Стійкість до дії прання, хімічного чищення	Токсичність полімеру	Середня ціна
Термопластичні полімери						
Полімерні спирти	полівінілбутираль	діоксан, етанол	підвищення жорсткості, формостійкості	добра	не токсичні	75 грн/кг
	полівініловий спирт	вода		погана		105 грн/кг
Естери	полівінілацетат	ацетон, етилацетат	підвищення жорсткості, формостійкості	добра	помірно токсичний	35 грн/кг
Карбонові кислоти	поліакриламід, поліметил-акрилова кислота	Вода, ацетон	підвищення еластичності, незмінності, жорсткості	відмінна	не токсичні	95 грн/кг
Поліолефіни	поліетилен, поліпропілен	–	підвищення жорсткості, формостійкості	добра	не токсичні	5-11 грн/кг
Поліуретани	поліестери, ізоціанати	–	підвищення міцності, жорсткості	відмінна	не токсичні	13-25 грн/л
Кремнійорганічні полімери	силікони	–	незмінність, жорсткість	добра	не токсичні	48-50 грн/л
Термореактивні полімери						
Предконденсати термоактивних смол	карбамол, гліказин, метагин	вода	незмінність, зменшення усадки	добра	токсичні	4-7 грн/кг
Синтетичні каучуки	Бутадиєн-нітрильні, хлоропренові, бутадиєн стирольні, карбоксил-вміщуючі каучуки	етанол, ацетон, етилацетат	незмінність, зменшення усадки	добра	помірно токсичні	3-8 грн/кг

ПЕТФ являє собою складний термопластичний поліестер терефталевої кислоти та етиленгліколю. За фізичними властивостями це міцний, жорсткий і легкий матеріал. ПЕТФ стійкий до дії розбавлених кислот, масел, спиртів, мінеральних солей і більшості органічних сполук, за винятком сильних лугів і деяких розчинників. ПЕТФ мінімально адсорбує запахи і проявляє властивості хорошого газового бар'єру. Має підвищену стійкість до дії водяної пари. Поліетилентерефталат характеризується відмінною пластичністю в холодному і нагрітому стані. Завдяки широкому спектру властивостей, а також можливості управління ними, ПЕТФ знаходить різноманітне застосування і займає п'яте місце у світі – 6,5 % від об'єму споживання усіх полімерних матеріалів.

Деструкцію ПЕТ можна виконувати за допомогою алкоголізу. Досить ефективним методом його хімічної переробки є алкоголіз за допомогою багатоатомних спиртів, наприклад гліцерину. Процес відбувається за підвищеної температури у присутності каталізаторів. Утворення та нарощування ланцюгів макромолекул відбувається шляхом поліконденсації за допомогою вільних гідроксильних груп, які є в надлишку завдяки гліцерину. Процеси, які протікають під час гліцеролізу, досить складні, оскільки в реакції приймають участь мономери та полімери різного ступеня полімеризації. Завдяки гліцерину (володіє трьома гідроксильними групами) відбувається трьохмірна поліконденсація з утворенням сітчастих структур.

Кінцеві продукти гліцеролізу ПЕТ можна класифікувати як олігоестери, оскільки макромолекули даного полімеру мають ефірні зв'язки. Молекулярна маса олігоестерів може регулюватися при їх синтезі, також їх можна модифікувати. Склад та властивості вихідних продуктів можна регулювати змінюючи їх від в'язкотекучих до твердих, підвищуючи адгезивні та інші властивості.

Проведені попередні дослідження показали доцільність використання клею-розплаву на основі відходів ПЕТФ для надання формостійкості деталям швейним виробам із Шш.

Висновки

1. Одною з основних умов широкого застосування Шш на швейних підприємствах є розробка високоефективних технологій і засобів створенню одягу із Шш, який здатен зберігати свою форму і розміри протягом усього періоду його експлуатації і тим самим задовольняти естетичні потреби споживачів.

2. Запропонована класифікація хімічних методів надання формостійкості деталям швейних виробів залежно від стабілізуючого елемента, при цьому виділено найбільш доцільні варіанти надання формостійкості деталям швейних виробів із Шш та надано характеристики полімерів, що використовуються для хімічної обробки деталей швейних виробів.

3. Перспективним напрямком при наданні формостійкості швейним виробам із ШШ є використання клею-розплаву на основі відходів ПЕТФ. В Хмельницькому національному університеті розроблена технологія переробки відходів ПЕТФ, яка дозволяє отримувати олігоестери з різними властивостями, в тому числі адгезивними, які у подальшому використовуються у вигляді клеїв-розплавів.

Література

1. Кузьмичев В. Е. Теоретическое обоснование и разработка процессов склеивания текстильных материалов: дисс.... докт. техн. наук: 05.19.03 и 05.19.04 / В. Е. Кузьмичев – Иваново, 1995. – 329 с.
2. Березненко С. М. Основи теорії ресурсозберігаючих технологічних процесів формування та формозакріплення деталей швейних виробів з урахуванням анізотропії текстильних матеріалів: дис.... докт. техн. наук: 05.19.04 / С. М. Березненко – К., 2002. – 372 с.
3. Першина Л. Ф. Технология швейного производства / Л. Ф. Першина, С. В. Петрова. – М.: Легпромбытиздат, 1991. – 416 с.
4. Веселов В. В. Химизация технологических процессов швейного производства / В. В. Веселов, Г. В. Колотилова – М.: Легпромбытиздат, 1985. – 128 с.
5. Гарцева Л. А. Фізика и химия полимеров / Л. А. Гарцева, О. Г. Циркина, В. В. Васильев // Методические указания для студентов специальностей 280800, 280900 всех форм обучения. – Иваново: ИГТА, 2003. – 68 с.
6. Декл. патент 60710А Україна, МПК⁷С О8 J11/00. Спосіб переробки відходів поліетилентерефталату / І. А. Мандзюк, В. М. Голонжко, Т. В. Іванішена; заявник і патентовласник Хмельницький державний університет. – № 2003021112; заявл. 07.02.03; опубл. 15.10.03, Бюл. № 10. – 3 с.
7. Прус Є. Г. Дослідження міцності клейових з'єднань деталей одягу / Є. Г. Прус, Н. В. Прошина, І. А. Мандзюк, В. В. Мартинчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – № 1. – С. 77–80.
8. Іванішена Т. В. Розробка технології виготовлення та використання клеїв-розплавів на основі відходів поліетилентерефталату у взуттєвому виробництві: дис.... канд. техн. наук: 05.18.18 / Т. В. Іванішена. – Хмельницький, 2008. – 219 с.

Надійшла 27.3.2011 р.

УДК: 658.512.2.011: 658.53: 621 (477)

Д.Л. КОБЕЦЬ

Хмельницький національний університет

СУТНІСТЬ ПРОЦЕСІВ ПРАЦІ ДЛЯ СКЛАДАЛЬНИХ РОБІТ ЗА УМОВ ЇХ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ І НОРМУВАННЯ

У статті розглянуто основні напрямки автоматизації процесів нормування праці; сформульовано засади формування автоматизованої системи проектування та нормування процесів праці

Basic directions of automation of processes of setting of norms of labour are considered in the article; principles of forming of the automated system of planning and setting of norms of processes of labour are formulated.

Ключові слова: складальні роботи, автоматизація.

Вступ

Одним з найбільш популярних та сучасних засобів управління в нашій країні є автоматизація виробництва та бізнес-процесів. Основне завдання автоматизації полягає у підвищенні продуктивності і ефективності виробництва в цілому та окремих процесів, будь-то маркетингова, фінансова діяльність; збірні роботи, будівництва споруд; діяльність планового відділу. Автоматизацію здійснюють за рахунок ретельного аналізу сутності кожного процесу, або його етапу, знаходження недоліків, або можливостей покращення та застосування сучасних технологій, розробок, комп'ютерних технологій тощо.

Постановка проблеми

Як правило, рішення стосовно впровадження автоматизованих систем на підприємстві з'являється тоді, коли існуючі системи є неефективними і все більш з'являється ситуацій, які зупиняють подальший розвиток.

На даний час процес нормування і проектування праці не залишає сумнівів стосовно своєї актуальності та необхідності. Але постає проблема трудомісткості і потреби в висококваліфікованих спеціалістах. Крупносерійне та масове виробництво не зазнають великої шкоди, тому що за рахунок розміру партії покриваються надмірні витрати на нормування праці. Існує достатня кількість варіантів вирішення цієї проблеми, запропонована вченими України та зарубіжжя. Наприклад, методологія зменшення трудомісткості шляхом укрупнення нормативів. На перший погляд, в даному методі присутнє раціональне зерно. Але при впровадженні цього методу, задається шкода точності.

Результати досліджень

Виникнення і становлення наукової організації та нормування праці безпосередньо пов'язані з епохою швидкого розвитку великого машинного виробництва, яке висунуло потребу в подальшому поділі, спеціалізації та кооперації праці, синхронізації її на окремих робочих місцях та ділянках виробництва, а також узгодження за часом діяльності не тільки людей, а й машин. Саме машинне виробництво зробило необхідним встановлення точного часу для виготовлення кожної одиниці продукту. Завдяки розвитку технічних наук створюються передумови для розробки методів відповідних розрахунків. Прагнення до найбільш повного використання машин призвело до необхідності детально аналізувати і регламентувати діяльність робітників.

Основний термін цього дослідження найширше розкрито у монографії Дзюби, а також наукових працях Ігумнова Б.М., Завгородньої Т.П.:

„Сучасний термін „норма” походить від латинського „*norma*” і означає „обов'язкову міру”, „узаконений порядок”, правило.”

На підставі аналізу вище зазначених праць, визначивши основні поняття, які будуть використовуватись під час дослідження, можна перейти до визначення основного суттєвого поняття цього дослідження – нормування процесів праці.

Формулювання поняття нормування праці значною мірою було обумовлене розглядом як економічної категорії, виражаючи певні відносини між людьми в процесі праці.

Гастев так визначає сутність нормування: „Нормувати – це означає шукати найбільш вигідну організацію праці” [4]. Проблема та завдання організації праці повинно бути частиною виробництва.

„Дійсно науковим, – як зазначає Пласков, – нормування праці стає після виявлення основних критеріїв оптимізації трудових процесів за рахунок економічних, соціальних, психофізіологічних, технічних та інших головних факторів, що обумовлюють раціональний зміст трудового процесу і формування провідних принципів його побудови” [1].

Дзюба виражає свій погляд наступним чином: „Нормування праці можна розглядати як процес постійного привнесення в існуючу практику нововведень для підвищення загальної результативності праці” [4].

З нашої точки зору, керуючись історичними передумовами виникнення самого поняття нормування процесів праці, потрібно враховувати людський фактор, а саме реакцію робітників на будь-які нововведення, витрати на впровадження та навчання.

Також слід зауважити, що підставою для нормування та проектування процесів праці є науковий підхід, що представляє собою обґрунтований аналіз, виявлення можливості підвищення продуктивності праці (резервів) та науково-дослідний процес стосовно розробки та впровадження отриманого метода або елемента.

Завгородня у монографії [2] застосовує певне визначення завдань нормування праці. Сутність завдань, як відображає Завгородня, полягає в тому, що працівники основного виробництва в змозі підвищувати свою продуктивність наступним чином:

- збільшенням інтенсивності ручної, машинно-ручної праці;
- збільшенням режимів роботи обладнання;
- використанням двох варіантів.

Бельтюков С.А. у монографії зазначає, що „Об'єктом нормування праці, як відомо, виступають усі види діяльності вчених, спеціалістів і робітників” [3].

На наш погляд, норма праці є тією первинною ланкою організації праці та виробництва, від якої починаються і на якій ґрунтується вся планово-економічна розрахункова система на підприємстві. Інакше кажучи, особливо точно й обґрунтовано має бути визначена жива праця, праця робітників, яка необхідна для виконання певного обсягу робіт. Нормування праці – є першим кроком на шляху оптимізації витрачання ресурсів (живої праці, сировини, енергії, фінансів) та забезпечення високої ефективності виробництва шляхом його раціональної організації.

Форми організації виробництва і праці, як зазначає Дзюба, впливають на вимоги до нормування праці та стають причинами переосмислення його ролі в конкретно-історичному і соціально-економічному аспекті змін, що відбуваються в суспільстві. З'ясування цих причин має велике теоретико-пізнавальне та практичне значення, оскільки допомагає виробити науково-практичні рекомендації для посилення впливу нормування праці на підвищення ефективності виробництва і зростання соціального добробуту [4].

Б.М. Генкин, П.Ф.Петроченко, М.І.Бухалков схиляються до наступного визначення: „нормування праці – це вид діяльності з управління підприємством, спрямований на встановлення необхідних співвідношень між витратами та результатами праці, а також між чисельністю працівників різних груп та кількістю одиниць обладнання” [1].

Нормування традиційно вважається основою організації праці, ефективним засобом зниження трудових витрат.

І слід зауважити, що, взагалі, принципова сутність нормування праці не змінюється, не зважаючи на період розвитку економіки. Тільки сприйняття, визначення міри впливу та суттєвості здебільшого змінюється та дістає загального визнання та застосування.

Нині ситуація із значенням нормування праці радикально змінюється. Значення нормування зростає у зв'язку з необхідністю адаптації виробництва до вимог ринку.

Таким чином, можна дійти висновку, що нормування праці:

- це процес визначення об'єктивно необхідних затрат робочого часу (норм) в усіх сферах

діяльності людини;

- різновид практичної діяльності людини;
- одна з виробничих функцій конкретного структурного підрозділу організації або посадової особи (нормувальника);
- галузь наукових знань.

Процес нормування праці – сукупність здійснення організаційно-технічних заходів щодо вивчення, обґрунтування, визначення і впровадження у виробництво норм праці.

Завгородня зазначає, що „об’єктами нормування праці є методи сукупної праці, тобто зміст, послідовність виконання робіт з вартісними витратами та ресурсним забезпеченням для виробничих цілей” [2].

Вивчаючи виробничі процеси, нормування праці розглядає їх не стільки в технологічному відношенні (стадії, етапи), а перш за все як процеси праці (трудові процеси), що здійснюються працівниками для забезпечення різноманітних технологічних завдань.

Трудовий процес – невід’ємна складова частина виробничого процесу, сукупність дій робітника, які здійснюються у ході виробництва. Тому цілком зрозуміло, що основним об’єктом нормування праці виступає час, необхідний для виконання різноманітних трудових процесів.

Дещо інший підхід до визначення об’єктів нормування процесів праці надає Дзюба: „Тривалість трудових процесів в часі є предметом нормування праці, а робочий час, необхідний для їхнього виконання – основним об’єктом нормування праці” [1].

На наш погляд, об’єкт нормування праці – будь-яка доцільна діяльність людини, тобто трудовий процес у його конкретному і специфічному прояві.

Слід також не уособлювати це поняття, а звернути увагу на те, що об’єктом нормування та проектування процесів праці є не тільки безпосередньо процес праці, а й робочий час та людина, як найголовніший об’єкт.

Сучасному виробництву потрібні три види норм, які тісно поєднані між собою: норми засобів праці, норми предметів праці, норми людської праці. Коли йдеться про нормування, то мається на увазі розробка норм людської праці. Взагалі цей підхід є неточним, адже витрати праці значною мірою залежать від продуктивності засобів виробництва, переплетені з факторами, що стосуються техніки та технології.

На підставі усього вище зазначеного, можна дійти висновку, що головною метою нормування є максимальне зменшення витрат виробництва за рахунок щільного використання робочого часу, вивільнення його від непродуктивних витрат.

Міра праці являє собою робочий час, який необхідно вкласти у виробництво конкретної продукції, роботи або її частини. Тому практичні завдання технічного нормування праці полягають у забезпеченні економії робочого часу та всебічного підвищення ефективності його використання на конкретних робочих місцях у виробничих умовах діючого підприємства.

Згідно до [5] робочий час нормується відповідно до рівня наступним чином:

Підприємство. Час, відведений для роботи. Усі види оплачуваної праці робітника по виконання виробничого завдання та регламентовані перерви мають місце в лімітах робочого часу.

Мікроекономічний рівень. Встановлення норми часу на здійснення конкретних виробничих операцій за окремими мікроелементами.

Держава. Час нормується для забезпечення та гарантії певної кількості праці, виконання якої забезпечує життєдіяльність громадян. Згідно з Кодексом законів про працю України нормальна тривалість робочого часу працівників не може перевищувати 40 год. на тиждень.

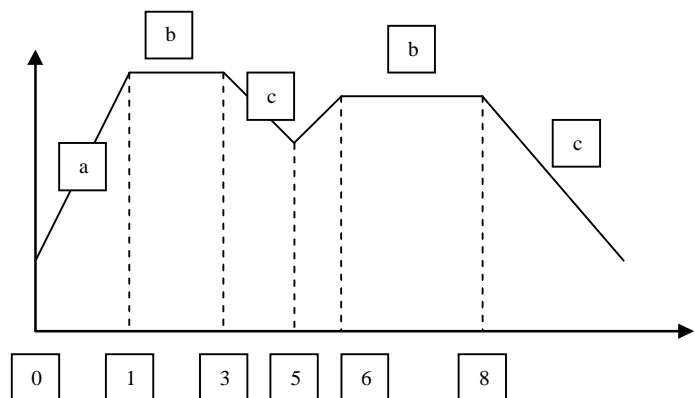
Важливим завданням у поліпшенні організації праці є встановлення найдоцільніших режимів праці та відпочинку. Розрізняють змінний, добовий, тижневий та місячний режими праці та відпочинку. Вони формуються з урахуванням працездатності людини, яка змінюється протягом доби (рис. 1), що береться до уваги передусім у змінному та добовому режимах.

Режим праці та відпочинку регулюється ст. 50– 65 та 66– 84 (глави 4 та 5) Кодексу законів про працю України.

Базуючи свої припущення на основному об’єкті нормування праці, зазначеного вище, слід приділити увагу поняттю виробничого процесу.

Виробничий процес являє собою сукупність цілеспрямованих дій, технологічного і виробничого трудових процесів.

Структуруємо виробничий процес для визначення взаємозв’язку факторів виробництва на рис. 2.



- a – час входження в роботу;
- b – період найбільш сталої працездатності;
- c – період втом.

Рис. 1 Коливання рівня працездатності людини.

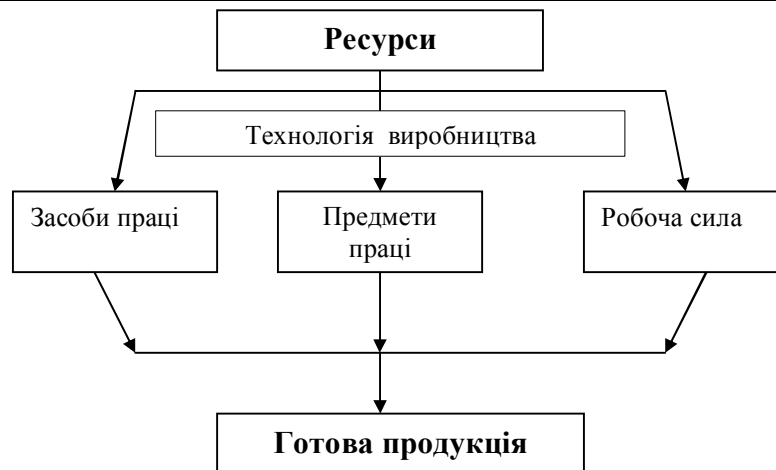


Рис. 2 Взаємозв'язок факторів виробництва при виготовленні продукції

Виробничий процес має два блоки: технологічний і трудовий.

Технологічний процес слід розуміти як передбачений порядок і спосіб впливу фізичних, хімічних, кліматичних агентів виробництва для послідовного перетворення сировини, матеріалів, напівфабрикатів на готову продукцію.

Трудовий процес є також заздалегідь передбаченим порядком і способом сукупних дій працівника над предметом праці за допомогою технічних засобів праці з метою отримання якісного результату праці у вигляді готової продукції.

Таким чином, у єдності змісту і спрямованості на кінцевий результат полягає неподільність, глибока внутрішня інтеграція технологічного і трудового процесів у загальний виробничий процес. Ці два процеси нерозривні.

Виходячи з проведеного аналізу, завдання технічного нормування можна визначити так:

- встановлення нормативу часу на одиницю продукції;
- впровадження найбільш раціонального режиму використання устаткування, машин і механізмів;
- розробку найбільш ефективної організації праці робітника на робочому місці.

Необхідність технічного нормування праці обумовлена його роллю в системі економічної роботи на підприємстві як основі планування обсягів праці, чисельності персоналу і фонду заробітної плати. За допомогою технічного нормування праці визначають зміст, раціональну структуру і тривалість робочих процесів у часі; уточнюють виробничі плани підприємства та провідних його дільниць; створюють ефективну оплату праці персоналу; визначають науково обґрунтовану потребу підприємства та його підрозділів у працівниках різних категорій, в першу чергу – робітниках.

Для забезпечення виконання зазначених завдань у всіх їх багатогранності та взаємообумовленості нормування праці ґрунтується на певних наукових принципах, дотримання яких гарантує підвищення продуктивності суспільної праці [5].

Упровадження ефективного нормування дозволяє виявити об'єктивні втрати робочого часу та достовірно встановлювати їх кількість, відшукувати наявні резерви збільшення продуктивності та підвищення ефективності виробництва, конструювати раціональний склад і структуру трудових процесів з більш повним використанням часу.

На базі вищезазначеного ми підійшли до проектування процесів праці. Під проектуванням процесів праці будемо вважати розробку нормативно-технічної документації, регламентуючої вимоги до виконавця, що припускає раціональні прийоми і методи роботи, оснащення та планування робочого місця, систему його обслуговування, режими праці та відпочинку.

Наша мета – забезпечити оптимальний взаємозв'язок між виконавцем, предметом та засобом праці в певних виробничих умовах, скорочення довжини виробничих операцій за рахунок ліквідації непотрібних рухів, покращення умов праці, збільшення продуктивності.

Трудовий процес являє собою основну частину будь-якого виробництва, ось чому його раціоналізація на основі упровадження прогресивних методів нормування та проектування процесів праці сприяє зростанню виробничих потужностей та збільшення ефективності виробництва.

Основний елемент – операція. Протягом дослідження буде проаналізований раціональний зміст операції та способи виконання.

Раціональними методами праці будемо вважати ті, що характеризуються оптимальними витратами часу, найменшим і фізичними та психологічними навантаженнями та витратами енергії.

Розвиток виробництва та конкуренції вимагають швидкого реагування на зміни, а отже потребують і вдосконалення організації діяльності підприємства, впровадження нових методів організації праці, спрямованих на скорочення витраті підвищення її продуктивності.

Теоретичні й практичні розробки вище згаданих вчених сприяли подальшому вирішенню проблем

поділу праці та ущільнення робочого часу, впровадження багатостанкового обслуговування, наукової організації праці, робочих місць тощо. Це створило умови для переходу до нормативного методу нормування праці і використання економіко-математичних методів у нормуванні праці.

Висновки. Таким чином, проаналізувавши багаторічні дослідження згадані вище, можна дійти висновку, що результатом цих досліджень є науково обгрунтовані засади наукової організації та нормування праці, серед яких головними є:

- замість традиційної емпіричної організації праці, що базується на інтуїції, здогадках та елементарному здоровому глузді, необхідно впроваджувати науковий аналіз і розрахунки та будувати систему глибоко обгрунтованих нормативів праці;

- потрібно сформулювати найбільш узагальнені принципи наукової організації та нормування праці, які б забезпечили її високу продуктивність (наприклад, 12 принципів продуктивності Г. Емерсона, 4 головні риси наукової організації керівництва та 4 принципи нормування і оплати праці Ф. Тейлора, 20 принципів економії рухів Ф. і Л. Гілбертів та ін.);

- необхідно є розробка самих методів раціональної організації індивідуальної праці на засадах нормування, детального витрачення витрат часу на трудові рухи, характеру та засобів раціоналізації рухів;

- вирішення наукових питань неможливе без створення цілої низки технічних засобів і прийомів, приладів для точного відліку й запису часу, використання кінозйомки, хронолог рафії та ін., які дістали широкого застосування і зараз.

Нормування праці є вузлом, де поєднуються всі проблеми ефективної роботи підприємства. Тому при правильному використанні, нормування та проектування праці перетворюється на інструмент аналізу і оцінки різноманітних варіантів організації праці, постійного контролю та вдосконалення за метою впровадження найбільш ефективного. Як засвідчує досвід багатьох фахівців, спеціалісти розуміють важливість нормування і подальші зусилля спрямовують на створення методів нормування і проектування процесів праці з урахуванням зменшення трудомісткості систем та витрат.

Базуючись на сучасних проблемах виробництва, слід зазначити певні властивості автоматизованої системи нормування та проектування процесів праці. Сформулюємо основні засади формування автоматизованої системи. Перед усім, система повинна бути цілісною. Тобто внесення змін в будь-яку частину, на будь-якому етапі повинні автоматично змінювати показники інших підрозділів. Таким чином, можна стверджувати о властивості системи – інтегрованості. Звернемо увагу на процедури в автоматизованих системах. Автоматизація повинна привести систему до таких перетворень, які оптимізують процеси нормування, тобто кількість операцій зменшується. Практично існує загроза реалізації неправильного підходу до першочергового формулювання головних засад і розробки структури АС. А саме використання комп'ютерної техніки для зменшення лише часу, який затрачують на виконання той же кількості операцій. Таким чином, автоматизація і оптимізація не відбуваються.

Система повинна забезпечувати реалізацію бізнес-процесів і існуючих процедур. Слід звернути увагу на інформаційне забезпечення і потребу керівництва отримувати повні, актуальні і правдиві данні стосовно роботи як системи, так і підприємства в цілому. Отже, АС повинна надавати можливість отримання достатнього об'єму оперативної інформації для підприємства з метою прийняття оптимальних рішень. Фактор кваліфікації та кількості робітників повинен бути ліквідований. Необхідна система легка в керуванні, або яка дозволяє легко і швидко підготувати або перекваліфікувати робітників. Система повинна містити процедури контролю, щоб мінімізувати можливість помилок. Не слід забувати про захист інформації і контроль внесення змін у систему. Таким чином, на наш погляд має доцільність впровадження систем обмеженого доступу на середньому та вищому рівнях та розподілу прав доступу.

Література

1. Завгородня Т. П. Модели и методы в нормировании затрат и результатов труда. Дис- на соиск. уч. ст. доктора економ. наук. – Рукопись, Хмельницький, 1994. – 328 с.
2. Завгородня Т. П. Оценкирезультатов труда по отклонениям / Завгородня Т. П. – Николаев: НПО «Тор». 1994.
3. Завгородня Т. П. Экономико-математическимодели в нормировании труда (монография) / Т. П. Завгородня, Е. В. Горбатюк. – Хмельницький: НВП «Еврика» Тов, 2001. – 212 с.
4. Завгородня Т. П. Исследованияхарактера задач нормирования / Т. П. Завгородня, А. Ю. Мазарчук // Вісник ТУП, № 5. Хмельницький, 1998, с.109– 116.
5. Ігумнов Б. М. Моделювання обсягів робіт в обслуговуючому виробництві на основі самоспостережень / Б. М. Ігумнов, О. В. Проскурович // Вісник ТАНГ. – 2000. № 4. – С. 25– 30.

Надійшла 18.3.2011 р.

УДК 687.016.5

А.Л. СЛАВІНСЬКА
Хмельницький національний університет**МЕТОДОЛОГІЯ ТИПІЗАЦІЇ ЛЕКАЛ ДЕТАЛЕЙ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ**

Розглянуті підходи до моделей типізації промислових лекал швейних виробів з урахуванням проектної ситуації.

Approaches was considered to models of typification of the industrial French curves of sewings wares taking into account a project situation.

Ключові слова: типізація, лекала, дисперсія, нормалізація, конструктивні виміри.

Постановка проблеми

Важливою передумовою успішної діяльності швейного підприємства в умовах ринкової економіки може бути скорочення термінів впровадження нових моделей, підвищення вимог до якості одягу, орієнтування виробництва на ринок збуту та конкуренцію.

При цьому ефективність конструкторської підготовки виробництва залежить від методології розробки проектно-конструкторської документації з урахуванням вимог відповідних стандартів, зручності користування, зберігання та пошуку необхідної інформації [1].

Термін конструкторсько-технологічної підготовки виробництва на конкретному підприємстві скорочують заходи з типізації основних деталей виробів в домінуючих силуетах, оскільки надають можливість різко підвищити продуктивність праці та знизити собівартість продукції, що випускається. Тому актуальність вирішення завдань з типізації лекал з позицій забезпечення відповідності асортименту динамічній структурі споживання є очевидною і на часі.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Сучасні вимоги до швейної промисловості диктують необхідність інтенсивного оновлення асортименту і зростання випуску швейних виробів. Виконання цих вимог значною мірою забезпечує розробка цілеспрямованої промислової колекції моделей одягу на засадах застосування якомога більшої кількості в моделях типових деталей та вузлів [2]. Типовими вважаються ті деталі та вузли, які характерні для сучасного напрямку моди і є найбільш продуктивними в процесі виготовлення [3].

Під типізацією розуміють розробку та визначення типових конструктивних або технологічних рішень, які характеризують типову конструкцію [4, 5].

В основу типізації основних лекал деталей швейних виробів покладена однорідність конструктивних параметрів, для чого доцільно використати 15–30 кількісних ознак [3, 6].

Параметричний аналіз конструктивних відрізків, які характеризують силуетну конструкцію швейних виробів, показав, що в методиках конструювання відсутні аналітичні залежності для розрахунку конструктивних точок, оскільки графічна побудова підпорядкована впливу таких факторів як мода, досвід проєктувальника, розвиток науки і техніки [7].

Тому доцільно конструкцію швейного виробу розглядати не як первинну за побудовою, а типізованою за шаблонами лекал, систематизацію яких доцільно здійснити у формі розмірних рядів уніфікованих конструктивних вимірів.

У [8] обґрунтована доцільність застосування розмірного аналізу для забезпечення технологічної раціональності конструкції швейного виробу. Сутність розмірного аналізу полягає у визначенні сукупності засобів розчленування на елементарні зони та зв'язки між ними.

За умови дослідження параметрів лекал, які представляють кластери конструкцій, можна охарактеризувати усереднену конструкцію та визначити параметри типізованої конструкції, яка прийомами нормалізації перетворюється в уніфіковану конструкцію. Це дозволяє застосувати в умовах виробництва метод проєктування, в основу якого покладені розмірні та параметричні ряди конструктивних вимірів лекал деталей конструкції [3].

Мета і завдання дослідження

Мета дослідження – розробка моделі розмірного аналізу для типізації лекал швейних виробів з урахуванням конструкторсько-технологічної підготовки конкретного виробництва.

Завдання дослідження – аналітичне обґрунтування дисперсійного аналізу конструктивних вимірів лекал в процедурах типізації модельних конструкцій.

Виклад основного матеріалу

Об'єктом типізації обирають лекала швейних виробів, які виготовляються на підприємстві. Оскільки частка іноземних замовлень є вагомою, виникає необхідність в систематизації розмірів типових фігур, задіяних у обсязі замовлень протягом 2–3 років. Типізація в зазначених межах дозволяє врахувати естетичні показники довжини і ширини форми [1], які зафіксовані в конструктивних вимірах лекал.

Розмірний аналіз конструктивних вимірів

Метод розмірного аналізу лекал полягає у вимірюванні конструктивних відрізків, які характеризують контрольні виміри та відстані до основних конструктивних точок, які водночас є тектонічними. Вибір кількості конструктивних вимірів визначається проектною ситуацією досліджуваного асортименту. Як приклад експериментального дослідження вибірки лекал розглянуті 20 модельних конструкцій чоловічих штанів, які виготовлялись за замовленням німецьких фірм. На першому етапі досліджень, з урахуванням структури вимірів в технічній документації [9, 10] та рекомендацій [1, 3], розроблені схеми конструктивних вимірів передньої та задньої частини. В основу типізації конструктивних вимірів покладена дисперсія відхилень від усередненої конструкції лекал [11].

Оскільки кількість конструктивних вимірів значна, відсіяти їх певне число можна користуючись методом випадкового балансу [12]. Для досліджень дисперсії розсіювання доцільно обрати ті конструктивні виміри, які входять в параметри конструкції лекал, а самі відхилення однозначно фіксуються відносно кутових конструктивних точок та надсічок. Матриця планування експерименту за методом випадкового балансу виконана з урахуванням факторів варіювання на двох рівнях: верхній (+1), нижній (-1) за методикою [12].

Перевірка матриці на придатність підтверджена симетричністю знаків в стовпцях.

За отриманими експериментальними даними відхилень конструктивних вимірів на діаграмах розсіювання були виділені значущі фактори. Приклад діаграми ефектів показано на рис. 1.

Групове ранжування конструктивних вимірів швейного виробу дозволило виділити ті ефекти, які характеризують основні параметри ширини і довжини деталі. Розрахунок квадратичної похибки, що характеризує кінцеве розсіювання: $t_{x2}=6,2$, $t_{x9}=4,5$, показав, що табличне значення критерію Стюдента $t_{\text{табл}}=3,841$, менша розрахункового. Отже виділені ефекти можна вважати значущими з 95 %-ю достовірністю [11].



Рис. 1. Діаграма ефектів відхилень конструктивних вимірів задньої частини чоловічих штанів, розмір 52

Метод розробки уніфікованої системи конструктивних вимірів основних лекал

Оптимізаційна задача типізації конструктивних вимірів задається множиною Q генеральної сукупності вимірів лекал, функцією $f(x)$, що визначається на множині Q деякою підмножиною конструктивних вимірів множини G . Тобто G – це допустима множина оптимізаційної задачі [13].

Для вирішення задач оптимізації множини конструктивних вимірів множини конструктивних вимірів розглянуті наступні гіпотези.

Гіпотеза 1. Оптимізаційна задача визначення множини допустимих конструктивних вимірів відноситься до задач мінімізації відхилень конструктивних відрізків.

Гіпотеза 2. Задачі мінімізації конструктивних вимірів основних лекал в типах модельних конструкцій є еквівалентними.

Дослідженнями першого етапу встановлено, що конструкція основних лекал j виду деталі ($j=1, 2$ для чоловічих штанів) містить a_{ij} i -го конструктивного виміру ($i=1, 2, \dots, m$) і має групову сукупність вимірів G_i .

Позначимо кількість j -го виміру в деталі модельної конструкції $x_j, x_j \geq 0$ ($i=1, 2, \dots, n$), f – мінімізована сукупність конструктивних вимірів.

Тоді

$$f = \sum_{i=1}^n c_j x_j, \quad (1)$$

Таким чином, ми отримуємо задачу лінійного програмування:

$$f = \sum_{j=1}^m c_j x_j (\min), \quad (2)$$

де
$$\sum_{j=1}^m a_{ij} x_j \geq b_i, i=1, 2, \dots, m,$$

$$x_j \geq 0, j=1, 2, \dots, m,$$

Враховуючи, що множина конструктивних вимірів $\sum_{j=1}^m x_j$ може бути представлена лінійною

моделлю, в якій частина ефектів відноситься до шумового поля, що було доведено дисперсією розсіювання, тоді отримують розщеплення моделі в наступному вигляді:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{k-l} x_{k-l} + a, \quad (3)$$

де $y = f(x_j)$;

$b_0 = G$ – вихідна множина оптимізаційної задачі;

$b_1 x_1 = G_1$ – множина ідентифікованих вимірів в двох системах;

$b_2 x_2 = G_2$ – множина шумових ефектів;

$b_{k-l} x_{k-l} = G_{k-l}$ – множина допустимих ефектів;

a – величина коректування результатів експерименту;

k – загальне число ефектів, що дорівнює числу факторів;

l – число ефектів, що відноситься до шумового поля;

$k-l = n$ – число допустимих ефектів.

Аналіз структурних схем конструкції основних деталей за параметрами відхилень конструктивних вимірів показав, що існуючі програми вимірів можуть бути мінімізованими за результатами досліджень причинно-наслідкових зв'язків окремих вимірів в групових блоках.

Зокрема, вихідна множина G представлена системою конструктивних вимірів, число K яких для розміру 26: $k_1 = 28$; $k_2 = 19$; для розміру 52: $k_1 = 28$; $k_2 = 21$.

Ідентифікована множина G_1 розмірів 26 і 52 представлена для передньої частини: $G_{11} = 16$, для задньої частини: $G_{12} = 11$. Множина шумових ефектів G_2 включає відсіяні виміри: для розміру 26: в передній частині $G_{21} = 5$, в задній частині: $G_{22} = 5$. Для розміру 52: передній частині $G_{21} = 14$, в задній – $G_{22} = 8$. Множина допустимих ефектів G_{k-l}^1 після першого дисперсійного аналізу методом випадкового балансу складає: для розміру 26 в передній частині – $G_{k_1-l_1}^1 = 14$, в задній частині – $G_{k_2-l_2}^1 = 13$. Для розміру 52: в передній частині – $G_{k-l}^1 = 14$, в задній частині – $G_{k_2-l_2}^1 = 13$. Множина групового ранжування допустимих ефектів G_{k-l}^2 складає: для розміру 26 – в передній частині – $G_{k_1-l_1}^2 = 14$, в задній частині – $G_{k_2-l_2}^2 = 13$. Для розміру 52: $G_{k_1-l_1}^2$ – в передній частині – $G_{k_1-l_1}^2 = 13$, в задній частині – $G_{k_2-l_2}^2 = 12$. Величина коректування $a = 2$ (значущі ефекти).

Таким чином, доведена гіпотеза 1.

Мінімізована множина G_{k-l}^2 є вхідною допустимою множиною для уніфікації системи конструктивних вимірів. Уніфікована система конструктивних вимірів наведена на рис. 2.

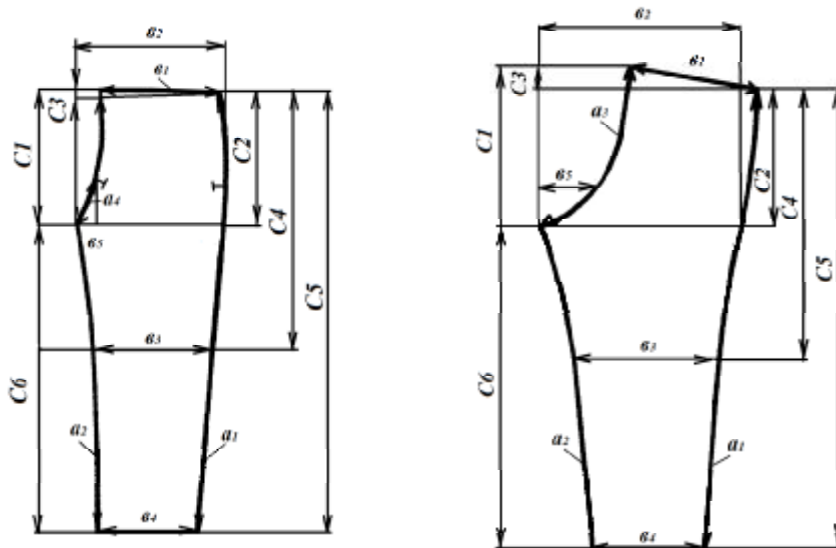


Рис. 2. Уніфікована система конструктивних вимірів основних лекал чоловічих штанів: а – передня частина; б – задня частина

Розглянута оптимізаційна задача для визначення конструктивних вимірів, що підлягають уніфікації, відноситься до задач мінімізації, тобто існує таке $x_y \in G$, що $f(x_y) \leq f(x_y)$ [13].

Обидві задачі мінімізації на прикладі передньої і задньої частин чоловічих штанів для 26 і 52 розмірів є еквівалентними, оскільки вони мають спільну множину допустимих рішень. Таким чином, доведена гіпотеза 2.

Інцидентність конструктивних вимірів виконана за результатами розмірного аналізу величин

розсіювання відхилень від типізованої конструкції.

Вибір оптимального конструктивних вимірів

Розглядаючи лекала модельних конструкцій як незалежні змінні, що описані статистичними параметрами конструктивних вимірів, для пошуку оптимального варіанту доцільно використати апріорне ранжування [12].

Для вибору конструктивного прототипу використовується діаграма рангів за ступенем наближення модельної конструкції до типізованої конструкції за даними середнього відхилення $\Delta x_{j,n,m}$. Аналіз рангового розподілу середніх відхилень конструктивних вимірів в сукупності модельних конструкцій дозволяє обрати за околиці оптимуму ті основні лекала, які мають найменші відхилення конструктивних вимірів в межах досліджуваного кластеру. Вектори умов, нижній рівень (-1), верхній рівень (+1), утворюють лінійно незалежну систему.

Оскільки допустима множина конструктивних вимірів \emptyset , то значущі конструктивні виміри a_j і b_j (відповідно до рис. 2) є опорним рішенням задачі уніфікації вимірів у вигляді лінійних рівнянь. В загальному вигляді задачу лінійного програмування в канонічній формі можна записати наступним чином [13]:

$$f = \sum_{j=1}^n n_j x_j (\min), \tag{4}$$

$$\sum_{j=1}^n A_j X_j = B, \quad X_j \geq 0, \quad j=1,2,\dots,n,$$

де $A_1, A_2, \dots, A_j, \dots, A_n$ – вектори відхилень конструктивних вимірів,

B – вектор базису типізованої конструкції.

В наведеному прикладі досліджень $B = \sum b_j; A_1, \dots, A_n = x_1 \dots x_{15}$.

Для приведення величин конструктивних вимірів $x_1 \dots x_{15}$ до базису опорного рішення типізованої конструкції, з наступною оцінкою базису рядами кращих чисел величин відхилень, розробляють симплекс-таблиці приведення до базису [12].

Поверхня відгуку для знаходження оптимуму містить експериментальні дані досліджень основних лекал.

Для виключення коливань відхилень конструктивних вимірів, які зафіксовані в симплекс-таблицях, може бути використаний графічний метод визначення вектора базису з дотриманням умови, що число векторів b_j дорівнює $k+1$ [12]. Крім того, застосовуються вирівнювання руху по поверхні відгуку для симплекс-планування шляхом застосування порядку рангів від 1 до k . Якісна оцінка точок лінійного симплексу виконується за допомогою зворотнього відображення f_j^- відносно рангової лінії верхівок $0 \dots x_j$ k . При цьому визначається межа точка максимуму і мінімуму відхилень у векторах B . Ця точка є центром експерименту. Точки, які знаходяться вище побудованої лінії верхівок векторів x_j , в нормуванні величин відхилень не враховуються, оскільки при їх визначенні могли бути допущені помилки.

Приклад графічного методу визначення базису відхилень Δx_j наведений на рис. 3.

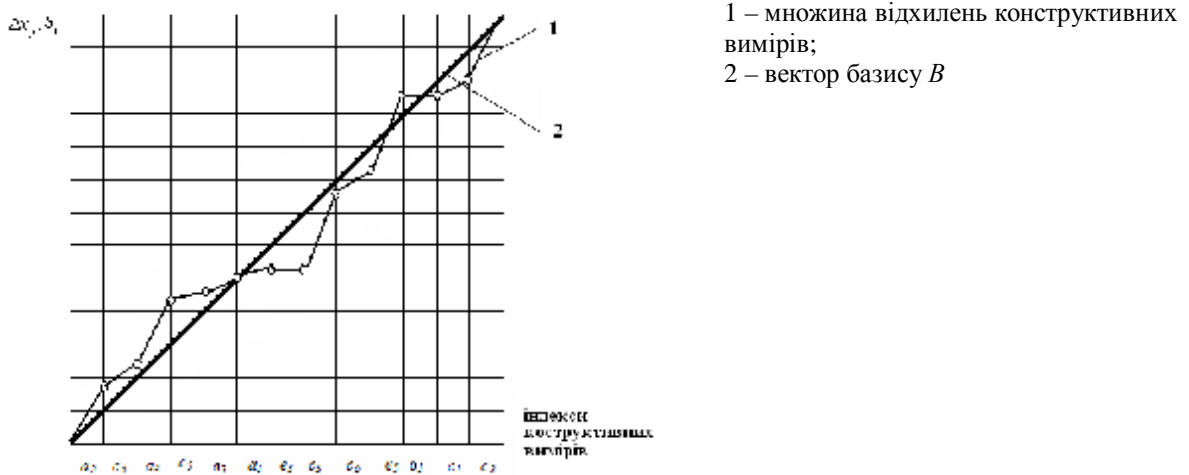


Рис. 3. Графічний метод визначення базису відхилень Δx_j конструктивних вимірів задньої частини чоловічих штанів

Базис допустимої множини B відхилень конструктивних вимірів b_i повинен відповідати вимозі лінеаризації всіх уніфікованих відхилень конструктивних вимірів:

$$\sum_{j=1}^n \Delta x_{jH} \geq B, j=1,2,\dots,n \quad (5)$$

Значення базису B розраховане за формулою Симпсона [11]:

$$B = \frac{1}{3} [(b_0 + b_{\max}) + 4(b_1 + b_3 + \dots + b_{n-1}) + 2(b_2 + b_4 + \dots + b_{n-2})], \quad (6)$$

де b_{0-n} – координати точок, що лежать на лінії базису.

Після розрахунків, відповідно до значень координат точок на рис. 3, $B = 8,38$. Оскільки розрахункове $\Delta x_{jH} = 9,87$ і більше 8,38, вимога лінеаризації дотримана. Аналогічно за вище викладеною методикою визначають середнє відхилення Δx_{jce} , сумарне відхилення Δx_{jH} , ранг кожного конструктивного виміру та будують графічні моделі визначення базису кожної деталі основних лекал з перевіркою вимог лінеаризації.

Всього в лінійному програмуванні задіяні три моделі дослідження відхилень: типізована, мінімізована, нормалізована.

Зокрема, адекватність лінійної моделі мінімізованих типових відхилень перевіряють за формулою [13]:

$$y_i^{k+2} = \frac{2}{k} \sum_{i=1}^k y_i - y_i^*, \quad (7)$$

де y_i^{k+2} – значення критерію оптимізації в точці базису;

y_i^* – значення критерію оптимізації до лінеаризації;

$\frac{2}{k} \sum_{i=1}^k y_i$ – середнє із значень критерію оптимізації в лінеаризації основних лекал.

Базис нормованих відхилень конструктивних вимірів b_j необхідно привести до уніфікованих значень в межах групової індексації основних лекал. Дослідження варіювання значень нормованих координат лінійного вектору B_0 виконують за допомогою матриці вхідного симплексу, в якій додатково враховані номінальна дисперсія d_{ij} та допустиме відхилення Δx_{ji} [14].

Значення базису B_H нормованих відхилень розраховують за формулою 6 та перевіряють вимогу лінеаризації $\sum x_{ik} > B_H$. Якщо більшість розрахункових відхилень знаходиться під лінією вектора B_H , це означає, що вони входять в границі номінальних відхилень, які є контрольними як для робочих лекал, так і для готових швейних виробів.

Вихідні значення величин нормалізованих відхилень d_j повинні відповідати умові $d_j \leq \Delta x_{jH}^k$.

Узгодженість результатів заключного дослідження нормалізованих відхилень оцінюється коефіцієнтом конкордації W і C^2 – розподілом.

Для наведеного прикладу дослідження основних лекал деталей чоловічих штанів $W = 0,9$; $C_{розр}^2 = 9,04$. Оскільки значення коефіцієнта конкордації W наближене до одиниці, можна вважати, що нормування відхилень виконане вірно. Для двох ступенів свободи $(k - 1) C_{табл}^2 = 5,991$, отже воно менше розрахункового. Це дозволяє з 95 %-відсотковою достовірністю стверджувати, що обрані величини нормалізованих відхилень узгоджені з базисом вихідного симплексу.

Формування розмірних рядів конструктивних вимірів лекал

Конструктивна уніфікація ґрунтується на рядах кращих чисел, в побудові яких задіяна арифметична прогресія. Визначення розміру як члена арифметичної прогресії розраховують за формулою [15]:

$$a_n = a_1 + d(n - 1), \quad (8)$$

де a_1 – перший член прогресії розмірного ряду;

d – різниця прогресії;

n – номер взятого члена.

Вибір першого члену прогресії розмірного ряду здійснюється у замкненому інтервалі $[a_{\min} - a_{\max}]$ конструктивних вимірів мінімізованої модельної конструкції за ступенем наближення до типізованої. Кластерну регламентацію лекал доцільно здійснювати за номінальними ознаками, що визначають розмір виробу за розміром, зростом та повнотою [15].

Розмірні ряди конструктивних вимірів формують у табличній формі: конструктивні виміри – розмірний ряд – кількість членів ряду – різниця прогресії. Різниця прогресії містить числа 0,5; 1,0. Кількість членів ряду визначається статистичними даними модельних конструкцій у кластері.

Структура розмірних рядів конструктивних вимірів наведена в таблиці на прикладі лекала задньої

частини чоловічих штанів. Кінцевою метою розмірних рядів конструктивних вимірів є не лише характеристика типів фігур, а й силуетної форми на основних лініях облягання. Оскільки похідні лекала деталей швейних виробів будують за допомогою основних, то розглянута технологія типізації прийнятна для всього комплексу лекал.

Таблиця 1

Розмірні ряди конструктивних вимірів задньої частини чоловічих штанів, розмір 52

Виміри	Розмірний ряд	Кількість членів прогресії	Різниця прогресії
1	2	3	4
Довжина a_1 – бічний зріз	110; 111; 112; 113; 114;	5	1,0
a_2 – кроковий зріз	88,5; 89; 89,5; 90; 90,5; 91	6	0,5
a_3 – середній зріз	39; 39,5; 40; 40,5; 41; 41,5	6	0,5
Ширина b_1 – верхній зріз	28; 29; 30; 31	4	1,0
b_2 – лінія сидіння	42; 42,5; 43; 43,5	4	1,0
b_3 – лінія коліна	30; 31; 32; 33; 34	5	1,0
b_4 – лінія низу	24; 25; 26; 27; 28	5	1,0
b_5 – лінія кроку	10,5; 11; 11,5; 12	4	0,5
Проекція c_1 – висота сидіння	21,5; 22; 22,5; 23	4	0,5
c_2 – висота сидіння збоку	23,5; 24; 24,5; 25	4	0,5
c_3 – задній баланс	3,0	1	-
c_4 – висота коліна	59,5; 60; 60,5; 61; 61,5; 62	5	0,5
c_5 – висота бічного зрізу	110; 111; 112; 113	4	1,0
c_6 – висота крокового зрізу	86,5; 87; 87,5	3	0,5

Алгоритм процесу типізації лекал швейного виробу з позицій технологічності конструкції наведений на рис. 4.

Висновки

Розроблено метод систематизації конструктивних вимірів промислових лекал швейних виробів шляхом дисперсійного аналізу відхилень відносно типізованої конструкції.

Вирішена задача лінійної мінімізації відхилень конструктивних вимірів шляхом лінійного програмування для виділення множини допустимих ефектів.

Запропонована методика формування розмірних рядів конструктивних вимірів в кластерах модельних конструкцій за принципом кращих чисел.

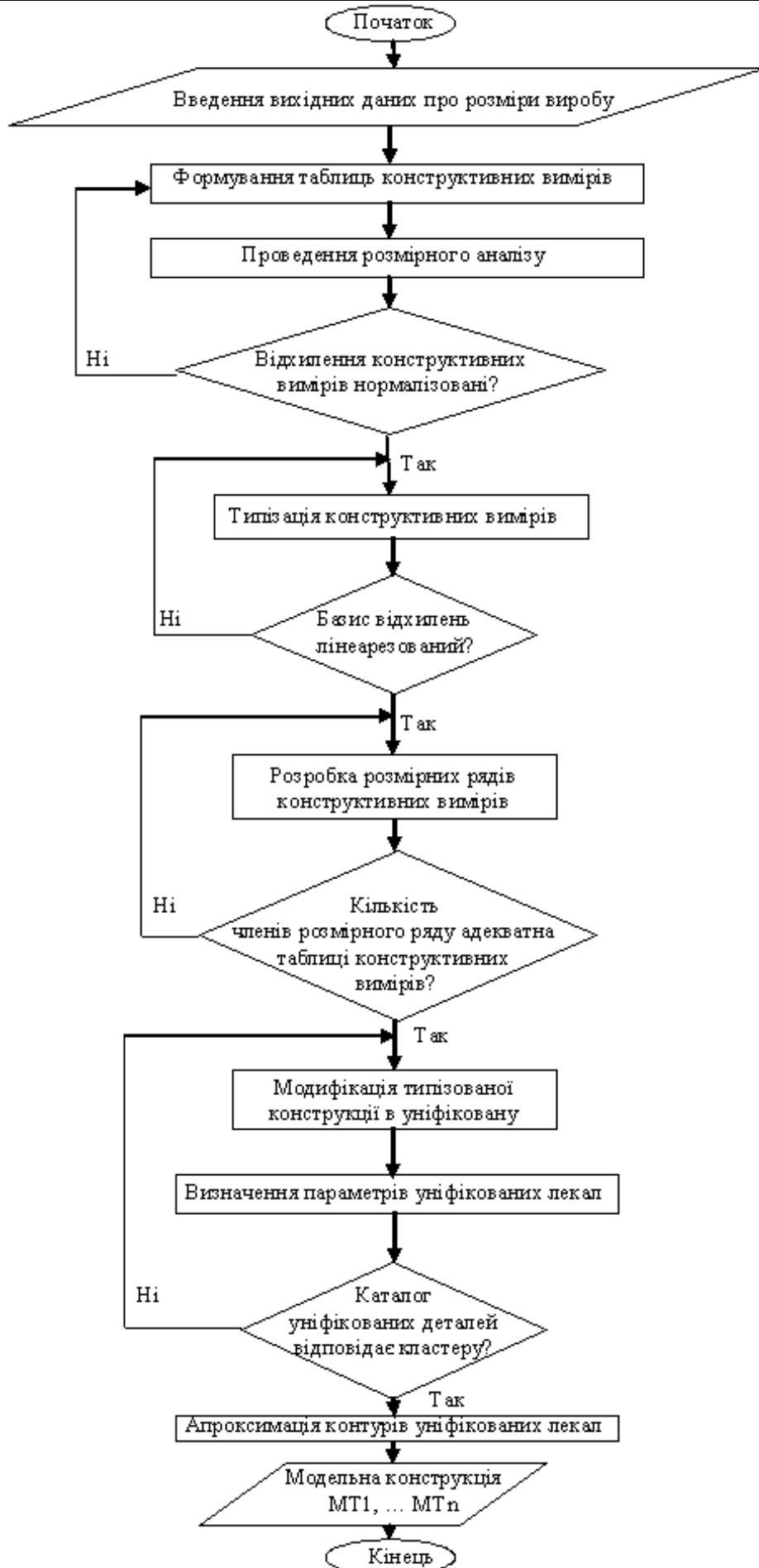


Рис. 4. Алгоритм процесу типізації лекал деталей швейного виробу

1. Славінська А. Л. Побудова лекал деталей одягу різного асортименту: [навчальний посібник] / А. Л. Славінська. – [3-є вид. випр. і доп.]. – Хмельницький: ХНУ, 2007. – 173 с.
2. Славінська А. Л. Застосування методів типового проектування в інтенсифікації процесів КПП швейних виробів / А. Л. Славінська // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2005. – № 11 [93]. – С. 104 – 108.
3. Славінська А. Л. Методи типового проектування одягу: [навчальний посібник] / А. Л. Славінська. – Хмельницький: ХНУ, 2008. – 159 с.
4. Вир Л. Э. Принципы разработки системы распознавания конструкций одежды / Л. Э. Вир, Т. В. Медведева // Швейная промышленность. – 1998. – № 6. – С. 27 – 28.
5. Лабораторный практикум по конструированию одежды с элементами САПР / [Е. Б. Коблякова, А. И. Мартынова, Г. С. Ивлева и др.]; под ред. Е. Б. Кобляковой. – [2-е изд.]. – М.: Легпромбыгиздат, 1992. – 320 с.
6. Медведева Т. В. Художественное конструирование одежды: [учебное пособие] / Т. В. Медведева. – М.: Форум: ИМФРА – М, 2005. – 48 с.
7. Славінська А. Л. Обґрунтування можливостей уніфікації основних конструктивних параметрів класичних чоловічих штанів / А. Л. Славінська, А. В. Либя // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – № 5. – С. 209 – 213.
8. Славінська А. Л. Застосування методу розмірного аналізу для типізації конструкції чоловічих штанів / А. Л. Славінська, С. С. Матвійчук // Науковий Вісник Мукачівського технологічного інституту. – 2007. – № 4. – С. 63 – 68.
9. Изделия швейные. Методы контроля качества: ГОСТ 4103 – 82. – [Действителен от 1998 – 01– 07]. – М.: Издательство стандартов, 1983. – 30 с.
10. Система разработки и постановки продукции на производство. Продукция легкой промышленности. Основные положения: ГОСТ 15.007 – 88. – [Действителен от 1989 – 01– 01]. – М.: Издательство стандартов, 1988. – 9 с.
11. Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: [учебное пособие для вузов] / В. Е. Гмурман. – [9-е изд. стереотипное]. – М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.
12. Тихомиров В. Б. Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследований в легкой и текстильной промышленности) / В. Б. Тихомиров. – М.: Легкая индустрия, 1974. – 262 с.
13. Справочник по математике для экономистов / [Барбаумов В. Е., Ермаков В. И., Кривенцова Н. Н. и др.]; под ред. В. И. Ермакова. – М.: Высшая школа, 1987. – 336 с.
14. Стандартна система визначення розмірів одягу: ДСТУ ISO / TR 10652: 2001. – [чинний від 2002 – 01– 01]. – К.: Держстандарт України, 2001. – 82 с. – (Національний стандарт України).
15. Славінська А. Л. Структура розмірів одягу для чоловіків в гармонізованій класифікації типових фігур / А. Л. Славінська // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2000. – № 1. – С. 35 – 40.

Надійшла 23.3.2011 р.

УДК 687.016.5:

А.Л. СЛАВІНСЬКА, Т.О. БЕРЕЗЮК
Хмельницький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ УМОВ ЗБАЛАНСОВАНOSTI СИЛУЕТНИХ ЛІНІЙ ЧОЛОВІЧОГО ПІДЖАКА

В статті обґрунтовано необхідність визначення геометричних умов збалансованості силуетних ліній чоловічого піджака (за схемою Ісікави), що дає змогу проаналізувати поведінку окремих деталей просторової форми виробу в системі «людина–одяг–конструкція».

In the article grounded necessity of located geometrical conditions of balanced silhouette lines masculine a jacket (at the scheme Ishikawa) what can be bestow analyze conducted single details the spatial form wrought of goods in the system «a people– a clothes– a construction».

Ключові слова: збалансованість, форма опорної поверхні, модифікація, геометричні умови, плоска розгортка, силуетні лінії, математична модель, ієрархічний рівень.

Постановка проблеми

Визначення складових силуетних характеристик, які відповідають за виконання різних умов існування поверхні одягу в стані збалансованості з поверхнею фігури, є одним із головних завдань оптимізації модельної конструкції чоловічого піджака.

Оскільки, формоутворюючий процес спирається на принципи гармонізації структурних зв'язків між елементами форми, він дозволяє передбачити і визначити об'ємно-просторову структуру та оптимальний варіант конструкції одягу, враховуючи геометрію опорної поверхні виробу, з гарною посадкою на фігурі.

Зважаючи на те, що чоловічий піджак є одним із найбільш складних виробів на етапах

конструкторської підготовки виробництва, проблема дослідження збалансованості силуетних ліній виробу на основі визначення відповідних геометричних умов є актуальною.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

На основі аналізу літературних джерел [1– 3], встановлено, що вихідній поверхні чоловічого піджака відповідають п'ять конструктивних ліній (КЛ), кожна з яких, містить інформацію про баланс виробу, розміри та форму заданої поверхні одягу. Конструктивні пояси містять інформацію про особливості розподілу тулуба на поверхні з відповідним приляганням в точках змінювання кривизни.

Внаслідок цього важливим значенням при побудові конструктивних ліній для конструювання є врахування криволінійності вихідних осей координат, що виникає в результаті об'єктивного відображення на площині, просторового вигинання вихідних осей вимірюваного об'єкта [1].

Таким чином, на основі аналізу конструктивних поясів та конструктивних ліній можливо встановити геометричні умови, що впливають на причину появи дефектів посадки одягу: невідповідність розмірів та форми опорних поверхонь фігури розмірам і формі проєктованого виробу, а також модифікування конфігурації силуетних та конструктивних ліній основних деталей чоловічого піджака.

Постановка мети та завдань дослідження

Мета роботи полягає в дослідженні збалансованості силуетних ліній конструкції чоловічого піджака та підвищенні естетичного рівня якості виробу з урахуванням структурних зв'язків конструктивних ділянок.

Для досягнення мети вирішуються наступні завдання:

- визначити та проаналізувати геометричні умови збалансованості виробу;
- сформулювати структурну інформаційну математичну модель;
- розробити діаграму результатів аналізу геометричних умов збалансованості силуетної характеристики чоловічого піджака.

Виклад основного матеріалу

Збалансованість конструкції одягу забезпечує контроль рівноваги визначених ознак виробу на фігурі людини. Це завдання вирішується за рахунок визначення та аналізу геометричних умов збалансованості виробу, з урахуванням рекомендацій [2].

Відповідно до мети сформульовано вісім умов забезпечення збалансованості конструкції виробу.

1 – *ортогональність конфігурації* конструктивних ліній та поясів, що характеризують об'ємну форму одягу та його зовнішній вигляд:

$$КЛ \perp КП, \quad (1)$$

де КЛ – конструктивні лінії;

КП – конструктивні пояси.

Ця умова дозволяє розробляти конструкції одягу з хорошою посадкою.

2 – *ізометричність зрізів*, полягає в ізометричній невідповідності зрізів контуру розгортки ($l_{к.р}$) довжинам контурних зрізів деталей виробу ($l_{к.д}$), внаслідок зміни кутів графічної сітки:

$$l_{к.р} = l_{к.д} \pm \Delta l_s, \quad (2)$$

де $l_{к.р}$ – довжина контурного зрізу по розгортці;

$l_{к.д}$ – довжина контурних зрізів деталей виробу;

Δl_s – допустиме відхилення від номінального розміру.

Для успішного вирішення задачі співставлення сітчастої розгортки з поверхнею об'єкта конструювання фіксують кути перекосу та довжини зрізів деталей.

3 – *кут нахилу ниток основи та піткання*. На тканину діють сили, що змінюють кут нахилу (ϕ) системи ниток основи (н.о) по осі ОУ, що призводить до виникнення дефектів посадки виробу та порушення прямокутної структури тканини:

$$н.о \parallel ОУ, \quad (3)$$

$$\phi_{\max} \leq \phi_{\text{доп}}, \quad (4)$$

де ϕ_{\max} – максимальний кут перекосу системи ниток основи, піткання;

$\phi_{\text{доп}}$ – допустимий кут перекосу, що залежить від вихідної поверхні та матеріалу.

4 – *геометрія силуетних ліній*. Гармонічна форма поверхні чоловічого піджака забезпечує контроль збалансованості силуетних ліній, конструктивну логічність та геометричну формостійкість матеріалів:

$$\phi_{\max} < \phi_{\text{доп}}, \quad (5)$$

5 – *паралельність та пропорційність* верхньої та нижньої опорних ділянок одягу. Пониження чи підвищення лінії талії, грудей, зміна положення корпусу, зміна довжини виробу призводить до зміни силуету основи конструкції чоловічого піджака. Виконання умови 5, можливе, якщо горизонтальні перерізи верхньої та нижньої частин поясу опорної поверхні зберігають паралельність. Така ситуація нормалізує формоутворюючі параметри конструкцій, що впливають на збалансованість силуету швейного виробу.

6 – *спряженість зрізів*. При виникненні зміщення контурних зрізів один відносно одного і відносно базисної сітки виникає порушення зв'язку між ділянками поверхні при з'єднанні окремих деталей швом та

розбалансованість деталей швейного виробу. Тому, перевірка спряженості деталей виробу дозволяє оформити кінцеві точки, які характеризують величину технологічного припуску та усунути можливі порушення та конструктивні дефекти [4].

7 – збалансованість за масою. При надмірній масі виробу відбувається втрата просторово – орієнтаційної форми верхнього опорного поясу на ділянках спинки та пілочки.

8 – багатощаровість обolonки. Вказаний фактор впливає на ступінь прилягання одягу на різних ділянках тіла та метаболізм, що характеризує стан людини та всього організму. Тому, величина прибавки на пакет, на криволінійних ділянках розраховується за формулою [5]:

$$\text{ППВ} = t\nu \times \quad , \quad (6)$$

$$\text{ППЗ} = t\nu_3 \times \quad , \quad (7)$$

де ППВ – прибавка на внутрішній пакет;

ППЗ – прибавка на зовнішній пакет;

$t\nu$ – сумарна товщина внутрішнього пакету, що рівна сумі шарів матеріалів, які знаходяться під проєктованим одягом на даній ділянці (комір, лацкан, борт, кишені), см;

$t\nu_3$ – сумарна товщина зовнішнього пакету, що рівна сумі шару матеріалів (підкладка, прокладка, основна тканина) проєктованого одягу без врахування комірів та лацканів, см;

– центральний кут дуги кола, що покрита одягом, рад.

Таким чином, встановлені геометричні умови дають змогу визначити та передбачити невідповідність форми, положення опорних поверхонь фігури і одягу, силуетних ліній та встановити закономірності поведінки виробу з урахуванням геометричних характеристик просторової форми одягу. В якості геометричного об'єкту прийнята плоска розгортка деталі чоловічого піджака типової чоловічої фігури (176-100-88).

Кожний інформаційний процес структурування математичної моделі поділений на ієрархічні рівні (субпроцеси), які представляють окремі рівні ієрархії геометричного об'єкту. Кожний субпроцес має свій геометричний модуль. В основу проєктних процедур покладено систему математичних моделей, знайдених для кожного субпроцесу, вихідні величини яких є вхідними для наступних субпроцесів. Таким чином, математична модель складного процесу, представляє собою систему рівнянь, що характеризують даний об'єкт.

Опис ММ поверхні чоловічого піджака перший рівень:

$$\text{ММчп} \subset \text{ММбок} \subset \text{ММкм}, \quad (8)$$

де ММчп – чоловічий піджак;

ММбок – базова основа конструкції (конструкція вихідної поверхні);

ММкм – конструктивне моделювання.

У формалізованому виді структуру математичної моделі можна записати в іншому вигляді [3]:

$$[\text{БОК}] \subset \text{СО}_{1,\dots}, k \in \text{Д}_{1,\dots}, e \in \text{КМ}_{1,\dots}, i, \quad (9)$$

де БОК – базова основа конструкції;

СО – складальні одиниці конструкції;

Д – деталі конструкції;

КМ – конструктивний модуль (конструкція виробу).

$$[\text{Д}] \subset \sum_{i=1}^{n+1} \text{ММ}m \cap \sum_{j=1}^n \text{ММ}k, \quad (10)$$

$$[\text{ММ}m] = Rk = f(t_i, p_j, c_n), \quad (11)$$

де ММ m – геометричний модуль задання конструктивних точок;

ММ k – геометричний модуль задання конструктивних ліній;

n – кількість конструктивних ділянок;

$n + 1$ – кількість конструктивних точок (початок та кінець лінії контуру).

Виходячи з отриманих рівнянь, структура математичної моделі силуетної характеристики представлена в наступному вигляді:

$$[\text{ВХ}] \subset \sum_{i=1}^n \text{ММ}m\text{б} \cap \sum_{j=1}^m \text{ММ}сл, \quad (12)$$

де ММ $m\text{б}$ – геометричний модуль задання геометричних балансних (конструктивних) точок;

ММ $сл$ – геометричний модуль задання силуетних ліній, які впливають на положення балансних точок.

Отримана інформаційна математична модель, може бути зведена у діаграму результатів аналізу геометричних умов збалансованості силуетної характеристики чоловічого піджака за схемою Ісікави [6], яка наведена на рис. 1.

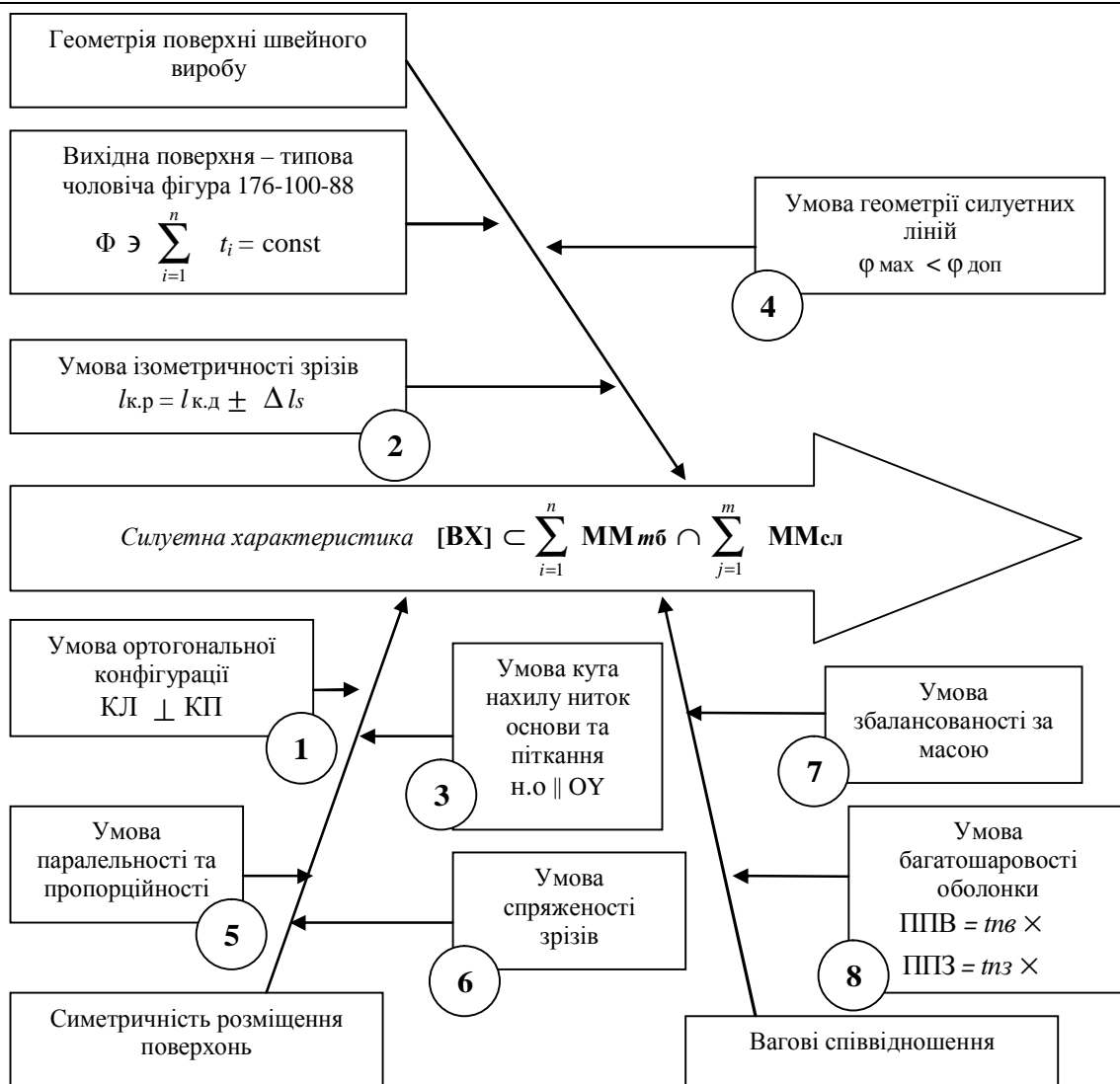


Рис. 1. Діаграма результатів аналізу геометричних умов збалансованості силуетної характеристики чоловічого піджака

Висновок

Встановлено, що трансформація інформаційної математичної моделі в діаграму, відповідно до схеми Ісікави, забезпечує контроль рівноваги швейного виробу, описує хід процесу об'єднання конструктивних ділянок чоловічого піджака в силуетну конструкцію та дозволяє розрахувати цільову функцію (вихідні параметри процесу).

Таким чином, ієрархічна систематизація геометричної збалансованості у вигляді системи рівнянь створює передумови для модульного підходу до типізації конструкцій основних деталей за системою конструктивних вимірів.

Література

1. Рахманов Н. А. Устранение дефектов одежды / Н. А. Рахманов, С. И. Стаханова. – [2-е изд.]. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1985. – 128 с.
2. Суворова О. К. Розробка принципів та засобів забезпечення збалансованості конструкції одягу: дис.... канд. техн. Наук: 05.19.04. / Суворова О. К. – К., 2000. – 161 с.
3. Конструирование одежды с элементами САПР / [под ред. Кобляковой Е. Б.]. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 464 с.
4. Славінська А. Л. Побудова лекал одягу різного асортименту: [навч. посібник] / А. Л. Славінська. – [3-е вид., випр. і доп.]. – Хмельницький: ХНУ, 2007. – 173 с.
5. Единая методика конструирования одежды СЭВ (ЕМКО СЭВ). Теоретические основы: т. 1. – М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1988. – 163 с.
6. Савчук Н. Г. Квалітологія швейного виробництва: [підручник] / Н. Г. Савчук, С. М. Березненко, М. П. Березненко. – К.: Арістей, 2006. – 464 с.

Надійшла 9.3.2011 р.

ОБҐРУНТУВАННЯ ЗОН РОЗТАШУВАННЯ ЛОКАЛЬНИХ ВОДО- І ВІТРОЗАХИСНИХ ПРОКЛАДОК У ВЕРХНЬОМУ ОДЯЗІ

В статті викладено теоретичні аспекти щодо визначення топографії розташування водо- і вітрозахисних прокладок у верхньому одязі. Автори статті, на основі аналізу експериментальних даних попередніх досліджень, обґрунтували чітке місце розташування захисного шару з пористої плівки для плечового і поясного верхнього одягу, який призначений для експлуатації на відкритому повітрі.

Theoretical aspects are brought in article for determinations to topographies of the location water and wind protection laying in upper cloth. The Authors of the article, on base of the analysis of the experimental given previous studies, have motivated the clear place of the location defensive layer from porous film for shoulder and belt cloth, which is intended for usage outdoors.

Ключові слова: зони розташування, захисний шар, пакет матеріалів, верхній одяг.

Вступ. Постановка проблеми.

У зв'язку з постійною всесвітньою зміною клімату, питання щодо надання одягу захисних водо- і вітрозахисних функцій лишається актуальним. У попередніх публікаціях було викладено матеріал, в якому йдеться про можливе використання для вирішення даної проблеми пористої поліетиленової плівки [1– 3]. Також приводились результати експериментального підтвердження ефективності використання зазначеного способу в лабораторних умовах. Разом з цим лишається відкритим питання стосовно топографії розташування захисного шару в конкретних швейних виробках.

Методи дослідження.

Ґрунтуючись на результатах відомих наукових досліджень з напрямку проектування захисного одягу різного призначення [4– 7], а також враховуючи динамічні пози і рухи людини під час активного відпочинку або виконанні роботи на відкритому повітрі [8], визначено зони розташування захисних локальних прокладок у верхньому одязі. При цьому основну увагу приділено тим поверхням одягу, які найбільш піддаються дії води і вітру, через що вони повинні, в першу чергу, бути максимально захищені.

Разом з підвищенням рівня захисних властивостей одягу, є необхідним не порушити термобаланс у просторі під швейним виробом. У зв'язку з цим передбачається не фронтальне, а локальне розташування захисних прокладок, що дозволило не спричинити погіршення вентиляції у місцях найбільшого тепловиділення (табл. 1).

На прикладі базової конструкції робочої куртки, побудованої за методикою ЦНДШП, отримано розгортки основних деталей верхнього плечового швейного виробу, на яких зазначено параметри і зони розташування локальних захисних прокладок (рис. 1). Таким чином, у куртках захисні прокладки пропонується розташовувати тільки у верхній частині рукава (рис. 1, а), при цьому їх ширина у одношовному рукаві складає 2/3 вгорі рукава (Ш рук в.) і 2/3 внизу рукава (Ш рук н.). Саме таке розташування прокладок дозволяє, на наш погляд, захистити верхню опорну поверхню рукава, яка, на відміну від нижньої частини, найбільш контактує з атмосферною вологою, і при цьому не створювати незручностей при виконанні рухів руками. Відповідно з цим, нижня частина рукава лишається вільною від прокладки, що дозволяє не порушувати вентиляцію в зоні найбільшого потовиділення – під пахвами – і не спричиняє збільшення ваги швейного виробу в цілому.

По пілочці довжина захисної прокладки закінчується по лінії талії виробу (рис. 1, б), що є достатнім для захисту легень від переохолодження і не створює незручностей людині при згинанні уперед. При визначенні зони розташування прокладок з боку спинки, враховано функціональне призначення і конструктивні особливості асортиментного ряду зазначеного одягу. В результаті в куртках виробничого призначення локальна прокладка повністю повторює розміри і конфігурацію спинки виробу, тим самим створюючи необхідний захист від переохолодження нирок під час перебування (роботи) людини на відкритому повітрі (рис. 1, в).

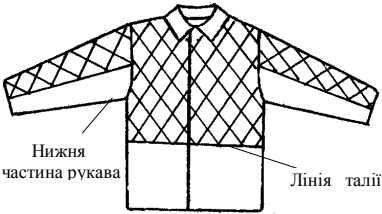
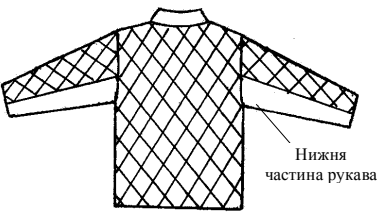
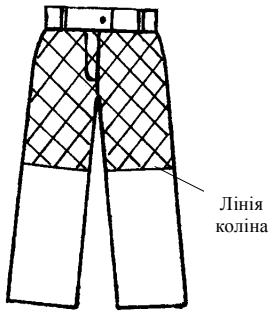
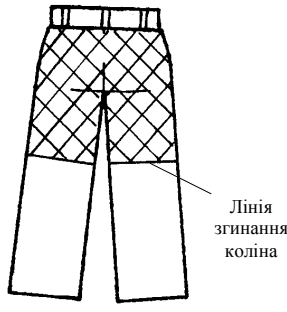
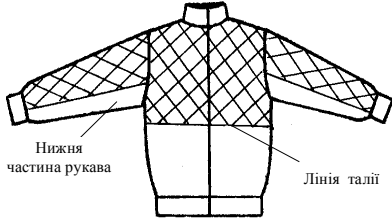
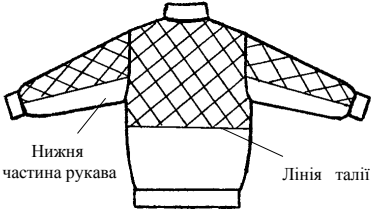
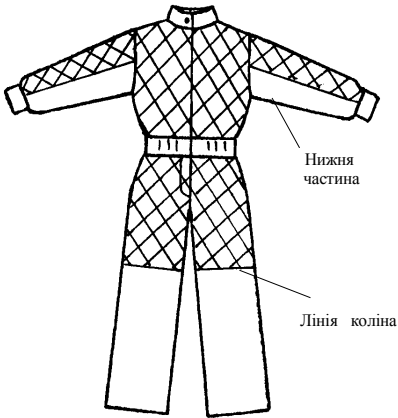
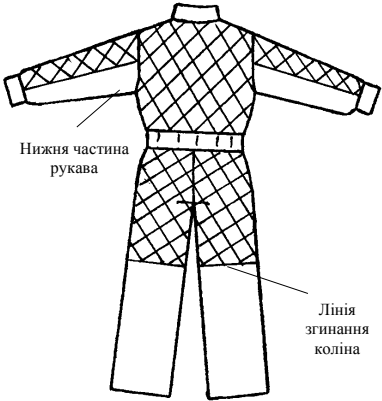
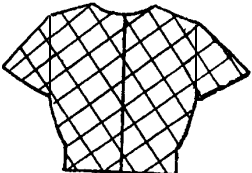
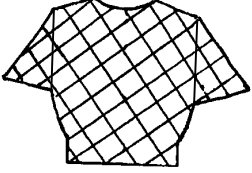
У штаних, які можуть використовуватися у комплекті з куртками, довжина захисних прокладок закінчується по лінії колін, що дозволяє не спричиняти незручностей при виконанні рухів і надійно захищає литкові м'язи від переохолоджувальної дії води і вітру. Крім того, відсутність прокладок нижче лінії коліна дозволяє уникнути погіршення природної вентиляції штанів під час їх експлуатації і не спричиняє збільшення ваги швейного виробу.

В куртках побутового призначення захисна прокладка на пілочці і спинці закінчується по лінії талії (табл. 1, поз.2), що не спричиняє порушення термобалансу і не створює незручностей під час виконання людиною високоамплітудних рухів (згинання, розгинання, обертання тощо). Розташування захисних прокладок у комбінезонах, в основному аналогічне по відношенню до розглянутих вище курток і штанів. Відмінність полягає в тому, що на відміну від курток, довжина локальної прокладки комбінезону не

обмежується по лінії талії (табл. 1, поз. 3), що надійно захищає людину від впливу від дії шкідливих атмосферних факторів і дозволяє не створювати труднощі в технології виготовлення зазначеного одягу.

Таблиця 1

Зони розташування локальних захисних водо- і вітрозахисних прокладок

№ п/н	Назва виробу	Зображення виробу	
		Вид спереду	Вид ззаду
1	2	3	4
1.	Куртка і штани для виробничих умов	а) 	
		б) 	
2.	Куртка побутового призначення		
3.	Комбінезон універсального призначення (побутовий, виробничий)		
4.	Захисний пакет вигляді жилету		

Примітки:



— зона розташування захисної локальної прокладки.

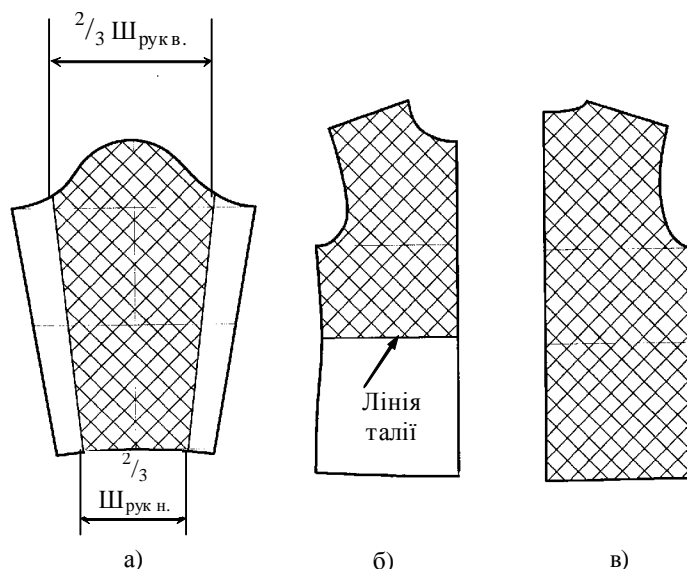


Рис. 1. Схема розташування локальних водо-вітрозахисних прокладок в деталях чоловічої робочої куртки:
а – рукав; б – пілочка; в – спинка

Разом з цим, захисні прокладки можна використовувати не тільки як складову одягу, а й як самостійний швейний виріб, наприклад, у вигляді жилету (табл. 1, поз. 4), що за необхідності може приєднуватись до одягу як додаткова знімна частина. Жилет приєднують до основного виробу за допомогою текстильної тасьми, кнопок, гудзиків або застіжки-блискавки. Для зручності експлуатації, такий жилет має швивні рукави, довжина яких складає $1/3$ довжини звичайного рукава. Саме така конструкція жилету, у сукупності з верхнім одягом, дозволяє надати зручність використання першого і створити необхідний захист для людини від дії води і вітру. Зазначений жилет рекомендується використовувати для підсилення водо- і вітрозахисту виробничого одягу, який виготовляється без підкладки. У відповідності до реальних умов експлуатації є можливим вибір розроблених захисних локальних прокладок за параметрами їхньої пористості.

Висновки

Отже, шляхом підбору величини пористості захисного шару і за рахунок оптимального місця його розташування, можна створити комфортні умови для організму людини, яка перебуває в умовах вітру і підвищеної вологості. Експериментально доведено, що залучення пористої плівки у складі локальної прокладки дозволяє зменшувати повітропроникність і водотривкість всього пакету від 5 % до 70 % (залежно від виду матеріалу верху) [9]. При цьому слід враховувати, що для забезпечення необхідної теплоізоляції повітропроникність пакету матеріалів для верхнього одягу не повинна перевищувати $40 \text{ дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$ при швидкості повітря менше за $2,5 \text{ м/с}$ і $7,0\text{--}10,0 \text{ дм}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{с})$ при швидкості повітря більш ніж $2,5 \text{ м/с}$ [6].

Література

1. Привала В. О. Класифікація методів забезпечення захисту швейних виробів від вітру / В. О. Привала, А. А. Мичко, Н. О. Олешко // Вісник ХНУ. – 2006. – № 5. – С. 190–192.
2. Привала В. О. Методика формування структури і складу водо-вітрозахисних пакетів для верхнього одягу / В. О. Привала, А. А. Мичко // Вісник ХНУ. – 2009. – № 1. – С. 199–202.
3. Привала В. О. Математична модель процесу повітропроникності плоскої пористої поверхні / В. О. Привала, В. Г. Войтков // Вісник ХНУ. – 2009. – № 2. – С. 217–219.
4. Машкова Е. Н. Об управлении гигиеническими свойствами пакетов материалов одежды / Е. Н. Машкова // Национальной научной конференции по управлению на качество и ролята на стокведната наука като интегрираш фактор между производството и обръшението / Е. Н. Машкова – Варна. – 1982. – Т. 2. – С. 31–36.
5. Короткова Н. В. Методика инженерного расчёта влагопроводности текстильных материалов и пакетов одежды / Н. В. Короткова, В. И. Бухарин – Всесоюзный заочный институт текстильной и лёгкой промышленности. – М., 1981. – 84 с.
6. Склянников В. П. Гигиеническая оценка материалов для одежды. Теоретические основы разработки. / Склянников В. П., Афанасьева Р. Ф., Машкова Е. Н. – М.: Легпромбытиздат, 1985. – 144 с.
7. Гущина К. Г. Эксплуатационные свойства материалов для одежды и методы оценки их качества: справочник / Гущина К. Г., Беляева С. А., Командрикова Е. Я – М.: Легкая и пищевая пром-ность, 1984. – 312 с.
8. Краснюк Л. В. Удосконалення процесу проектування спортивного теплозахисного одягу для гірських туристів: дис.... канд. техн. наук: 5.19.04 / Краснюк Л. В. – Хмельницький, 2002. – 216 с.
9. Привала В. О. Розробка технології формування пакетів матеріалів одягу з визначеними водо- і вітрозахисними властивостями: дис.... канд. техн. наук: 5.19.04. / Привала В. О. – Хмельницький, 2007. – 133 с.

Надійшла 23.3.2011 р.

ДЕКОРАТИВНО-МЕБЛЕВІ ТКАНИНИ: ФОРМУВАННЯ АСОРТИМЕНТУ

Проведено аналіз декоративно-меблевих тканин з метою створення необхідної бази даних для інформаційного забезпечення та управління ринком на основі науково обґрунтованих класифікацій.

Analysis of decorative-furniture materials with the aim of creation of necessary data for information providing and management of the market was made.

Ключові слова: декоративно-меблеві тканини, асортимент, властивості, склад сировини.

Постановка проблеми

Незважаючи на економічні та політичні негаразди, український меблевий ринок продовжує розвиватись та сприяє підвищенню рівня естетичних запитів населення. Тому важливим є підвищення конкурентоспроможності вироблених товарів для закріплення позиції виробника на ринку, з ціллю отримання максимального прибутку. У конкурентоспроможній політиці приймаються до уваги функціональне призначення, надійність, довговічність, зручність використання, естетика зовнішнього вигляду та інші характеристики товару, що здатні задовольнити сукупні потреби покупця краще, ніж товари-конкуренти. Створення споживчої цінності товару, яка включає всю сукупність властивостей товару, є важливішою умовою виживання на ринку.

Особливо це відноситься до виявлення негативних та позитивних якостей цього товару, які відмічають споживачі. Однією з важливих характеристик є вибір декоративно-меблевих тканин. Потреба в різних за способом виробництва, гігієнічних та естетичних властивостях декоративно-меблевих тканин, суттєвому розширенні та оптимізації асортименту ставить завдання по інформативному забезпеченню населення вітчизняного ринку. Зокрема, необхідно узагальнити світовий досвід формування асортименту, властивостей, якості та конкурентоздатності декоративно-меблевих тканин; вивчити потреби вітчизняного ринку в даній продукції; створити необхідну базу даних для інформаційного забезпечення та управління ринком на основі науково обґрунтованих характеристик та класифікацій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питанням формування асортименту текстильних матеріалів для оббивки меблів та класифікації текстилю присвячені праці таких науковців, як Пушкар Г.О., Семака Б.Д. [1, 2] та інших. Проте, на даний час, інформація про ситуацію на вітчизняному ринку декоративно-меблевих тканин, як і інформаційного забезпечення цього ринку не повною мірою задовольняє вітчизняного споживача. Немає достатньої інформації по декоративно-меблевих тканинах в монографічних, періодичних, а тим більше в навчальних виданнях, незважаючи на актуальність і значимість цих питань як для науки, так і для практики.

Виклад основного матеріалу

Ринок меблів в Україні стабільно розвивається, працює здорова конкуренція, співвідношення вітчизняних та імпортованих виробників приблизно рівне (в різних сегментах ринку по-різному, а загалом врівноважене) [3].

На ціну меблів впливає вибір декоративно-меблевих тканин. Продавці відмічають, що останнім часом смаки і запити споживачів змінюються. Багато з них хочуть, щоб меблі були не лише довговічними і зручними, але й відрізнялися оригінальним дизайном, використанням модних оздоблювальних тканин. Можливість вибору декоративно-меблевих тканин величезна. Є тканини різних найменувань різного вигляду, якості, фактури, кольору, а відповідно, і різної вартості. Як не заплутатися в цьому різноманітті, як підібрати таку тканину, яка володіла б високою зносостійкістю, міцністю і одночасно мала хороші гігієнічні показники, була б модною та сучасною? Для цього необхідно знати деякі особливості тканин і уміти самим їх визначати.

Льняні і бавовняні тканини, як правило, легко мнуться, шовк слизький на дотик. Тканини з натуральних волокон добре відпрасовуються і зберігають форму, вони «дихають», шви на них непомітні, але вони піддаються усадці. Синтетичні тканини не зберігають форму, можуть «плавитися» при гладінні, та зате вони дуже міцні, світлостійкі, легкі у догляді і дешевші [4].

Розглянемо детальніше їх асортимент. Декоративно-меблеві тканини умовно поділяються на 2 типи: ткані і неткані. Ткані тканини виробляються шляхом переплетення подовжніх і поперечних ниток (жакардовий спосіб одержання тканин). До них також відносять: жакарди, скоч гарди, феніли, ворсові тканини (велюр і т.д.), бавовна. Неткані тканини: флок, мікрофібра одержують скріпленням шарів волокон різними способами. Цей спосіб одержання тканин прийнято називати флоковим [5].

Більш детальна характеристика декоративно-меблевих тканин, що користуються попитом на вітчизняному ринку, представлена в табл. 1.

Як видно з табл.1, на сьогоднішній день найбільше використання в меблевій промисловості знайшли наступні тканини: флок, шеніл, гобелен, жаккард, велюр і т.п. Доля таких тканин як штучне хутро, стрейч, плюш та інших є незначною в порівнянні з вище переліченими. Поєднання ниток і волокон, що входять до складу всіх цих тканин, може бути дуже різним: хлопок–поліестер, акрил–бавовна–віскоза,

шерсть–поліестер, хлопок–віскоза–лайкра і так далі. Процентне співвідношення натуральних і штучних ниток дозволяє добитися необхідних якостей тканини. Сьогоднішні технології обробки волокон дійшли до того, що тканини з синтетичних ниток виглядають як натуральні.

Таблиця 1

Основні характеристики декоративно-меблевих тканин

№	Назва тканини	Склад сировини	Зовнішній вигляд	Властивості
1	флок	35 % бавовни, 65 % синтетики (поліестеру), процентне співвідношення та сировина можуть змінюватись	Оksamитова бархатиста поверхня з рідкуватим ворсом; може бути пофарбована в різні кольори	Накопичення статичної електрики при зіткненні з іншими штучними тканинами; світлостійкість; брудовідштовхувальні і вогнезахисні властивості; не стійка до тертя, приємна на дотик; буває з тисненням або з багат шаровим покриттям
2	шеніл	60 % бавовна, 40 % синтетики; можливе різне % співвідношення синтетичного волокна з акрилом, бавовною, віскозою, може бути 100 % синтетики	Об'ємна, м'яка, щільна і міцна поверхня з неповторною фактурою	Немає стійкості забарвлення до світла та хімічного чищення; схожа на велюр, проте може вироблятися в більшій гамі кольорів; нитка шеніла може бути використана в комбінації з жакардом і гобеленом; висока зносостійкість
3	гобелен	100 % бавовна, може бути шерстяна, синтетична пряжа в різних % співвідношеннях, частіше з додаванням поліестеру	М'яка, щільна тканина з яскравим художнім малюнком або складним візерунком	Стійкість до світла та хімічного чищення, прання більша в тих тканин; пряжа або нитка яких пофарбовані у масі, або з додаванням поліестеру
4	жакард	70 % синтетики, 30 % бавовни, а також різні % співвідношення синтетичних та натуральних волокон	Рельєфний малюнок гармонійний на однотонній поверхні; має яскравий та урочистий вигляд	Стійка до тертя та хімічного чищення; чим товстіше нитка тим щільніше тканина; міцна; довговічна; зручна в експлуатації
5	шкіра	Шкіра різних тварин (в т.ч змій, крокодилів), для дублення все частіше використовують рослинні екстракти	Міцна, щільна поверхня	Світлостійкість та стійкість до тертя задовільна якщо використовують рослинні екстракти
6	велюр	95 % синтетики, 5 % бавовни	М'яка, бархатиста поверхня одного тону; залежно від укладення ворсу буває тисненою, гладкою, може бути ворс викладений у формі малюнка	Стійка до світла, не стійка до тертя; здатна утворювати залисини та накопичувати статичну електрику
7	мікрофібра	100 % поліестеру, поліефіру, поліаміду або інших полімерів	Тонка і гладка однотонна, м'яка поверхня; багата палітра відтінків; легка і приємна на дотик	Висока стійкість до впливу хімічних речовин, забруднень і світла; завдяки особливій гладкості виключає появу зализин та накопичення статичної електрики; швидко сохне
8	букле	100 % поліестер	М'яка товста тканина полотняного переплетення з фасонної пряжі одного або кількох кольорів з букльованою петлею, розташованою на деякій відстані; петля може бути повною чи розрізаною	Стійка до світла та хімічного чищення

На вартість декоративно-меблевих тканин безпосередній вплив має наявність захисного покриття. Найбільш відомі з них – Teflon від фірми “Du Pont” і Scotchgard компанії “3M”. Тканини, оброблені даними покриттями, відрізняються тривалішим терміном служби і легкістю догляду. Але не для всіх типів тканин рекомендується нанесення захисту. Якщо Scotchgard став майже неодмінним атрибутом у виробництві бавовни, то жаккарди, у зв'язку з досить легкими способами догляду, майже не обробляються покриттями. Вибірковий підхід присутній і у використанні тефлону при захисті шенілів. По-перше, в результаті такої процедури вони можуть втратити свою бархатистість, об'ємність, а по-друге, все-таки це додаткова хімічна обробка. Тому, тефлонове покриття наноситься, в основному, на ті шеніли, вміст штучних волокон в яких перевищує 50% [6].

Основним показником вартості тканини є співвідношення натуральних і синтетичних волокон, і

чим більше процентний вміст натуральних, тим дорожче тканина. Але це не означає, що 100% бавовна коштуватиме дорожче, ніж велюр, в якому міститься 30% натуральних волокон. Тут набирає чинності такий показник, як складність технологічного процесу і властивості кінцевого продукту (зносостійкість, кольоростійкість і так далі). У флоків і велюру вони вищі, ніж в бавовни, але поступаються, наприклад, шенілам. У свою чергу, на вартість флоків і велюру впливають такі показники, як склад основи (повністю синтетична або напівнатуральна) і щільність ворсу. Найбільш складні у виробництві жаккарди і шеніли. Вони бувають одношаровими і багатшаровими, однобічними і двосторонніми. Шеніли відрізняються від жаккардів наявністю пухнастої шенілової нитки, на якій ворс щільно закріплений, його складно витягнути з основи тканини, а також тим, що вони можуть бути як на тканій, так і на клейовій основі [7].

Навіть однакові по складу тканини можуть коштувати по різному. Залежить це, зокрема, від популярності виробника. Наприклад, бавовна, вироблена в Іспанії, якісніша турецької або китайської. А бавовна фірм Gonzalo Ferri або Vilber Textil є на даний час найдорожчою. Серед виробників флоків останнім часом виділяється ізраїльська фірма Flocktex Industries Ltd. Її продукція відрізняється високим вмістом натуральних волокон в основі тканини і щільністю ворсу. Світовий лідер у виробництві якісного велюру – компанія “Wilhelm Kneitz” (Німеччина) яка є ексклюзивним постачальником оббивних тканин для таких гігантів меблевої промисловості, як “Steinhoff” і “Browdick&Sons”. Серед виробників жаккардів і шенілів найвідомішими виробниками, що забезпечують гарантію якості, є “Manuel Revert” (Іспанія), “Italvelutti” (Італія) або “Deslee” (Бельгія). Всі ці компанії десятиліттями заробляли авторитет і пошану в світовій текстильній промисловості своїми новаторськими рішеннями, дизайнерськими знахідками і якісною продукцією, і зараз справедливо пожинають плоди наполегливої праці, залишаючись одними з визнаних лідерів [6].

Треба визнати, що для України цінова складова поняття модної тканини в збільшенні вартості тканини не грає такої визначальної ролі, як на Заході. Але з кожним днем вона збільшується пропорційно зростанню кількості покупців, прагнучих стати володарями не лише красивих, зручних, надійних, але і модних меблів. І, без сумніву, радує той факт, що є компанії, які, не дивлячись на очевидні витрати, радують нас по-справжньому якісними і модними тканинами.

Висновок

В даній статті розглянуто основні характеристики декоративно-меблевих тканин, які користуються найбільшим попитом на вітчизняному ринку. Відмічено, що процентне співвідношення складових частин декоративно-меблевих тканин можна змінювати, а значить змінювати і властивості тканин. Звернуто увагу на формування ціни декоративно-меблевих тканин, яка залежить від співвідношення натуральних і синтетичних волокон, технології та популярності виробника. В статті наведено дані, що стануть основою для подальших досліджень декоративно-меблевих тканин з метою створення бази даних для інформаційного забезпечення та управління вітчизняним ринком.

Література

1. Пушкар Г. О. Товарознавчі аспекти формування асортименту та якості текстильних матеріалів для оббивки меблів / Г. О. Пушкар // Вісник ХНУ. – 2009. – № 4 – С. 235–239.
2. Пушкар Г. О. Наукові засади класифікації інтер'єрного текстилю / Г. О. Пушкар, Б. Д. Семак // Проблеми легкой и текстильной промышленности Украины. – 2009. – № 1(15) – С. 244–247.
3. Степанов И. В. Интерьерный текстиль / И. В. Степанов // Меблеві технології. – 2010. – № 3 – С. 32–36.
4. Кукин Г. Н. Текстильное материаловедение (волокна и нити) / Кукин Г. Н., Соловьев Л. Н., Кобляков А. И. – М. : Легпромбытгиздат, 1989. – 352 с.
5. Давыдов А. Ф. Текстильное материаловедение / Давыдов А. Ф. – М. : Российский заочный институт текст. и легк. промышл., 1997. – 168 с.
6. Задорога А. Новинки мебельного текстилю / А. Задорога // Меблеві технології. – 2009. – № 3 – С. 19–24.
7. Орунова Л. Р. Исследование методов получения новых эффектов на ткани /Л. Р. Орунова, А. В.Фирсов // Современные технологии модифицирования и отделки текстильных материалов : матер. Международной научно-техн. конф. – М. : МГТУ им. А. Н. Косыгина, 2010. – Т. 12.–С. 10–14.

Надійшла 8.3.2011 р.

ХАРАКТЕРНІ КРИВІ ПРОФІЛЬНОГО АБРИСУ ПРОТОТИПУ ВЗУТТЯ

У статті розглянуто характерні абрис прототипу взуття з урахуванням анатомічних та функціональних ознак.

In the articles the characteristic contours of prototype of shoe are considered taking into account anatomic and functional signs.

Ключові слова: взуття, анатомічні та функціональні ознаки.

Постановка задачі

Специфіка взуттєвого виробництва і сучасні тенденції ринку вимагають переходу підприємств на нові форми організації виробництва, що дозволить забезпечити найбільш раціональне функціонування взуттєвої промисловості. Одним зі способів вирішення даного завдання є створення виробничих систем, підґрунтям яких є аналітичний апарат, з застосуванням котрих можливо швидко, без зайвих витрат переналагоджувати й адаптувати виробництво до вимог ринку [1, 2]. Крім того, необхідною умовою для створення раціонального взуття потрібно враховувати індивідуальні особливості споживача та сучасні технології.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналітичне обґрунтування моделювання внутрішньої форми взуття у вітчизняній науці стосується в основному окремих фрагментів задачі, в цілому вона практично не вирішена. Закладені принципи проектування колодок та взуття в цілому за допомогою ЕОМ, зокрема Фукіним В.А. розроблено радіографічний метод проектування плоских поверхонь взуттєвої колодки [3– 5]. Але на жаль, даний метод має ряд недоліків: неточність, різні типи кривих на ділянках, що не забезпечує гладкість кривої, необхідність зшивання окремих ділянок по критерію рівності похідних, що суттєво ускладнює реалізацію методики. Автори [6] пропонують використовувати при отриманні креслень колодки поліноміанальні криві та сплайни. На основі тривимірної графіки, зокрема AutoCAD, було розроблено програму автоматизованого проектування колодки. Використовуючи антропометричні дані та радіографічний спосіб отримання контурів взуттєвої колодки описано [7] побудову контурів перетинів внутрішньої форми взуття відкритого типу. Приведено [8, 9] методику проектування взуттєвих колодок з використанням пакету тривимірного параметричного моделювання PRO/ ENGINEER. Взуттєва колодка є основою для виробництва як модельного та спортивного, так і ортопедичного взуття. Використання підсистеми LastMaker [10] дозволить виконати оцифровку колодки, після сканування, редагування отриманої моделі (випрямлення, згладжування, градирування). Додаток ShoeStyle дозволяє створити ескіз виробу на 3D моделі колодки, а також автоматично отримати розгортку даної колодки. Проте, аналітична та теоретична основа цих методів невідома. Перспективним методом є використання сплайнових кривих, оскільки забезпечується висока точність та практична реалізація.

Формулювання цілі статті

Емпірична методика проектування деталей верху взуття (ДВВ) передбачає розробку аналітичного апарату зв'язків між розмірними характеристиками моделі та ДВВ. Для цього необхідно встановити положення контрольних та керуючих точок характерних абрисів прототипу залежно від анатомічних та функціональних ознак.

Виклад основного матеріалу

У [11] розроблені загальні положення, які дозволяють моделювати профільний абрис прототипу, котрий складається з кривої стику, кривої гребня та кривої задника. Однак, частина залежностей потребує уточнення, в тому числі за допомогою антропометричних обмірів та досліджень. Нижче наведено уточнені рівняння контрольних та керуючих точок для профільного абриса прототипу для чоловічої та жіночої статево-вікових груп.

Криві абрисів відображаються системою точок P з відповідними індексами, а також кінцевими точками A для кривої стику, C – для кривої задника, D – для кривої гребня (в позначенні дотримано системи, яка загальноприйнята в математичному апараті сплайнових кривих). При цьому точки початку кривої мають нульовий індекс, а індекс кінцевих точок вказує на порядок сплайнової кривої.

Для вирішення задачі розрахунку координат керуючих точок необхідно задати координати точок кривих. Як слідує з рисунка 1 точка $A_0 \equiv C_0$ знаходиться як перетин задника зі слідом.

Згідно з [13], дана точка розраховується як величина зсуву п'яткової частини стопи

$$x_{A_0} \equiv x_{C_0} = 0,02N + 0,05h_K$$

$$z_{A_0} \equiv z_{C_0} = r_{\Pi} - \sqrt{2r_{\Pi}x_{A_0} - x_{A_0}^2},$$

де r_{Π} – центр п'яткового заокруглення, який дорівнює ширині п'яткового заокруглення в перетині анатомічної точки, що характеризує зовнішню щиколотку, по вісі X .

$$r_{II} = T_{ZZ} \cdot K_L \cdot K_{NW},$$

де T_{ZZ} – розміри стопи відповідно в певному напрямку деякого поперечного перетину з координатою x вздовж стопи,

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 [14].

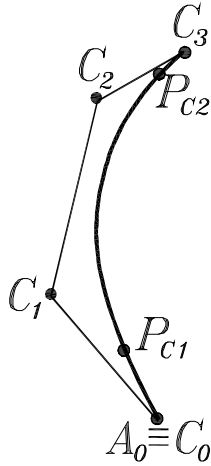


Рис. 1 Схема точок Бєзьє кривої задника

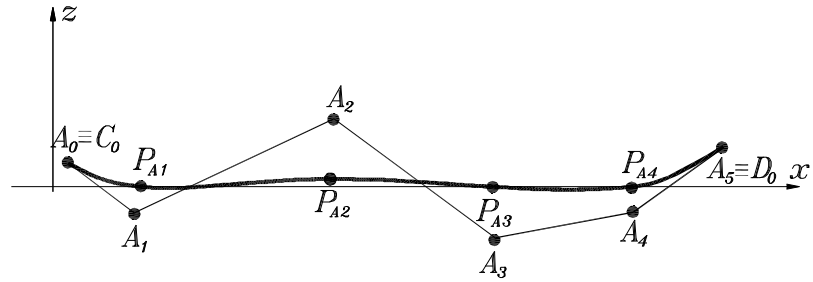


Рис. 2 Схема точок Бєзьє кривої стику

Для чоловічої статево-вікової групи T_{ZZ} знаходиться як

$$T_{ZZ} = (12,07 + 0,058 \cdot N) + (-0,037 + 0,0027 \cdot N - 0,000004 \cdot N^2) \cdot W,$$

аналогічно для жіночої

$$T_{ZZ} = (10,86 + 0,066 \cdot N) + (0,067 + 0,0003 \cdot N - 0,0000062 \cdot N^2) \cdot W,$$

де N – метричний розмір колодки,

W – відношення обхвату стопи в пучках до метричного розміру колодки.

Точка P_{C1} лежить на осі z , то її координати визначаються $x_{PC1} = 0$, оскільки найчастіше проєктують типові конструкції, то використовуємо

$$z_{PC1} = 0,33z_{PC2} = 0,05N + 8,5 \text{ для берців.}$$

Точка P_{C2} знаходиться на висоті берців, яка для туфель та напівчеревинок розраховується

$$z_{PC2} = 0,15N + 25,5.$$

По вісі x вважається, що точка P_{C2} зсунута відносно точки P_{C1} на 2–3 мм [13].

Точка C_3 розташована вище точки P_{C2} на 5–7 мм залежно від виду взуття та статево-вікової групи (менші значення для берців чоловічого взуття, більші значення для задників жіночого взуття). Крім того, ця точка зсунута по осі x від задника на $1,5 \pm 0,5$ мм.

Як слідує з рисунка 2 положення точки P_{A1} є центр п'ятки, який дорівнює ширині п'яtkового заокруглення в перетині анатомічної точки, що характеризує зовнішню шиколотку, тому P_{A1} буде аналогічно T_{ZZ} відповідно до статево-вікової групи.

$$z_{PA1} = 0.$$

Точка, що знаходиться посередині між відростком п'ятої фаланги та серединою стопи P_{A2} знаходиться для чоловіків як

$$x_{PA2} = 0,5 \cdot N - \frac{0,5 \cdot N - 0,361}{2},$$

для жінок

$$x_{PA2} = 0,5 \cdot N - \frac{0,5 \cdot N - 0,374}{2}.$$

Координата z_{PA1} може орієнтовно вибиратися як половина радіуса заокруглення внутрішньої поверхні колодки в перетині $0,4N$. По порядку величин цей радіус становить 26 мм для закритого взуття та 34 мм для юхтового взуття [1].

Точка, що знаходиться посередині між внутрішнім та зовнішніми пучками P_{A3} по осі X для чоловіків

$$x_{PA3} = 0,732 \cdot N - (0,732 \cdot N - 0,606 \cdot N) \cdot \frac{III_{VNP}}{III_{VNP} + III_{ZP}},$$

де III_{VNP}, III_{ZP} – розміри прототипу в певному напрямку деякого поперечного перетину з координатою x вздовж колодки

$$III_{VNP} = T_{VNP} \cdot K_L \cdot K_{NW},$$

$$III_{ZP} = T_{ZP} \cdot K_L \cdot K_{NW}.$$

T_{VNP}, T_{ZP} – розміри стопи відповідно внутрішнього та зовнішнього пучків у поперечному перетину з координатою x вздовж стопи

$$T_{VNP} = 0,148 \cdot [0,091 - (-0,022 \cdot (0,732 - 0,732) + 0,1231) \cdot (W - 6) + 1] \cdot N,$$

$$T_{ZP} = 0,234 \cdot [0,091 - (-0,024 \cdot (0,606 - 0,732) + 0,1227) \cdot (W - 6) + 1] \cdot N,$$

аналогічно для жінок

$$x_{PA3} = 0,72 \cdot N - (0,72 \cdot N - 0,608 \cdot N) \cdot \frac{III_{VNP}}{III_{VNP} + III_{ZP}},$$

$$T_{VNP} = (29,32 + 0,16 \cdot N) + (0,13 + 0,0062 \cdot N - 0,000011 \cdot N^2) \cdot W,$$

$$T_{ZP} = 0,238 \cdot [0,091 - (-0,0307 \cdot (0,608 - 0,72) + 0,147) \cdot (W - 6) + 1] \cdot N,$$

$$z_{PA3} = 0.$$

Точка, що знаходиться посередині між кінцем мізинця та довжиною P_{A4} знаходиться для чоловіків як

$$x_{PA4} = N - \frac{N - 0,8}{2},$$

для жінок

$$x_{PA4} = N - \frac{N - 0,79}{2},$$

$$z_{PA4} = 0.$$

Координати точки $A_5 \equiv D_0$ визначаються через довжину носкової частини та тригонометричні функції суми кутів ($\gamma_P + \gamma_K$) для чоловічої статево-вікової групи

$$x_{A5} \equiv x_{D0} = 0,732 \cdot N + N \cdot (K_D - 0,732) \cdot \cos(g_H),$$

де K_D – коефіцієнт, що характеризує форму носкової частини, 1,02 – тупа; 1,07 – овальна, 1,13 – гостра носкова частина;

g_H – сума функції суми кутів $\gamma_P + \gamma_K$, $g_H = g_P + g_K$,

де γ_P – кут підйому, відношення висоти каблука до середини пучків

$$g_P = \arctg \left(\frac{H_K}{0,732 \cdot N} \right),$$

де H_K – висота підняття каблука, мм;

γ_K – кут підняття носкової частини, відношення висоти каблука до довжини носкової частини

$$g_K = \arcsin \left(\frac{0,375 \cdot H_K}{N \cdot (K_D - 0,732)} \right),$$

$$z_{A5} \equiv z_{D0} = N \cdot (K_D - 0,732) \cdot \sin(g_H),$$

аналогічно для жіночої статево-вікової групи

$$x_{A5} \equiv x_{D0} = 0,72 \cdot N + N \cdot (K_D - 0,72) \cdot \cos(g_H),$$

$$g_P = \arctg \left(\frac{H_K}{0,72 \cdot N} \right),$$

$$g_K = \arcsin \left(\frac{0,375 \cdot H_K}{N \cdot (K_D - 0,72)} \right),$$

$$z_{A5} \equiv z_{D0} = N \cdot (K_D - 0,72) \cdot \sin(g_H).$$

Точка P_{D1} , яка характеризує довжину прототипу та радіус заокруглення носкової частини (рис. 3) визначається як

$$x_{PD1} = x_{D0} - r_N \cdot \cos(g_H),$$

де r_N – радіус заокруглення носкової частини, мм

$$z_{PD1} = z_{D0} - r_N \cdot \cos(g_H)$$

Точка P_{D2} , яка знаходиться по осі X на відстані закінчення мізинця для чоловіків

$$x_{PD2} = 0,8 \cdot N$$

$$z_{PD2} = z_{D1} - \Delta_2,$$

де Δ_2 – функціональний припуск, котрий залежить від виду та призначення взуття, знаходиться в межах 2–4 мм.

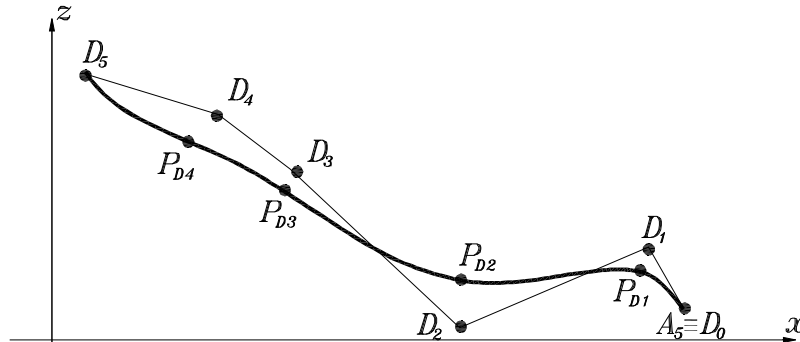


Рис. 3 Схема точок кривої гребня Бєзь

Точка P_{D5} характеризує обхват у прямому підйомі

$$x_{PD5} = L_p \cdot \cos 45^\circ,$$

$$z_{PD5} = L_p \cdot \sin 45^\circ,$$

де L_p – рівняння прямої, що проходить між радіусом п'ятки та слідом площини виміру прямого підйому

$$L_p = \frac{O_p - 2 \cdot R_p \cdot (p - 2)}{2},$$

де O_p – обхват через прямий підйом,
 R_p – радіус п'ятки, для чоловіків,

$$\begin{aligned} R_p &= \frac{Ш_{II}}{2} = \frac{T_{II} \cdot K_L \cdot K_{NW}}{2} = \\ &= \frac{[(22,86 - 0,11 \cdot N) + (-0,07 - 0,005 \cdot N - 0,0000074 \cdot N^2) \cdot W] \cdot K_L \cdot K_{NW}}{2} \end{aligned}$$

для жінок

$$\begin{aligned} R_p &= \frac{Ш_{II}}{2} = \frac{T_{II} \cdot K_L \cdot K_{NW}}{2} = \\ &= \frac{[(17,4 - 0,107 \cdot N) + (0,107 - 0,0048 \cdot N - 0,00001 \cdot N^2) \cdot W] \cdot K_L \cdot K_{NW}}{2} \end{aligned}$$

Координати точки P_{D3} , яка знаходиться по осі X на відстані внутрішнього пучка для чоловіків

$$x_{PD3} = 0,606 \cdot N,$$

а по осі Z

$$z_{PD3} = z_{PD2} + (x_{PD3} - 0,606 \cdot N) \cdot \frac{z_{PD5} - z_{PD2}}{x_{PD2} - x_{PD5}} - \Delta_3,$$

де Δ_3 – припуск, котрий враховує призначення взуття, знаходиться в межах 3–4 мм, для жінок

$$x_{PD3} = 0,608 \cdot N,$$

$$z_{PD3} = z_{PD2} + (x_{PD3} - 0,608 \cdot N) \cdot \frac{z_{PD5} - z_{PD2}}{x_{PD2} - x_{PD5}} - \Delta_3.$$

Положення точки P_{D4} фіксується як середина прототипу

$$x_{PD4} = 0,5 \cdot N,$$

$$z_{PD4} = z_{PD2} + (x_{PD4} - 0,5 \cdot N) \cdot \frac{z_{PD5} - z_{PD2}}{x_{PD2} - x_{PD5}} - \Delta_4,$$

де Δ_4 – припуск, котрий враховує тип взуття, знаходиться в межах 2 ± 1 мм.

На рисунку 4 показано приклад профільного абрису прототипу жіночої статеві-вікової групи

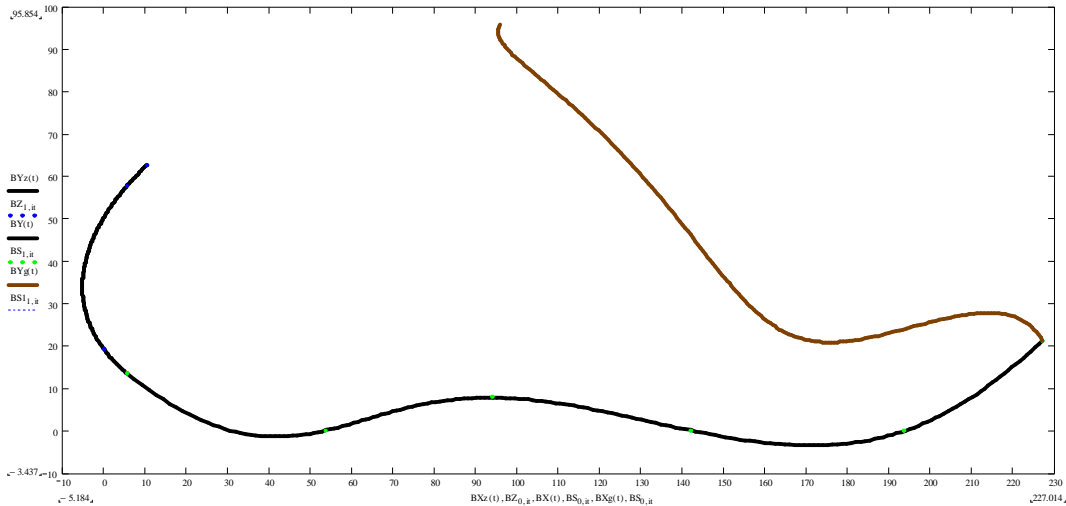


Рис. 4 Профільний абрис

В [11, 15] теоретично обґрунтовано різні методи ідентифікації кривих абрисів з метою використання їх при проектуванні ДВВ. Зокрема, наведено різні методики вирішення оберненої задачі, яка полягає у знаходженні точного положення керуючих точок стосовно заданих точок абрисів, через які обов'язково повинна пройти крива. Як слідує з [16], за критерієм точності та керованості абрисом найбільш прийнятними є методи нормалей та дотичних. Однак застосування методу пропорційного ділення більш прийнятний для проектування кривих вищих порядків, особливо за варіантом корекції параметрів кривої для крайніх точок.

Використовуючи метод пропорційного ділення для отримання профільного абрису встановлено, що координати керуючих точок зв'язані з коефіцієнтом носкової частини, висотою каблука, відношенням обхвату стопи в пучках до метричного розміру колодки та довжиною стопи різними типами залежностей. Використовуючи методику обробки багатофакторної моделі [17] дозволяє описати рівняння керуючих точок абрису з врахуванням даних факторів впливу. Рівняння контрольних точок абрисів наведені вище.

Абрис задника представлений двома керуючими точками, котрі змінюються залежно від H_K , W , N . Рівняння для знаходження положення керуючих точок P_{C1} , P_{C2} в загальному представлені у вигляді

$$\begin{aligned}
 K_{H1}(H_K) &= K_1 + k_1 \cdot H_K \\
 K_{H2}(H_K) &= K_2 + k_2 \cdot H_K \\
 K_{H3}(H_K) &= K_3 + k_3 \cdot H_K \\
 K_{H4}(H_K) &= K_4 + k_4 \cdot H_K \\
 K_{W2}(H_K, W) &= K_{H3}(H_K) + K_{H4}(H_K) \cdot W \\
 K_{W1}(H_K, W) &= K_{H1}(H_K) + K_{H2}(H_K) \cdot W \\
 K_N(H_K, W, N) &= K_{W1}(H_K, W) + K_{W2}(H_K, W) \cdot N
 \end{aligned}$$

У таблиці 1 наведено числові значення коефіцієнтів K , k

Таблиця 1

Реальні числові значення коефіцієнтів K , k для кривої задника

Керуючі точки	Числові значення							
	K_1	k_1	K_2	k_2	K_3	k_3	K_4	k_4
Вісь X								
Чоловіча статеві-вікова група								
P_{C1}	-3,954828	-0,005055	-0,341378	0,005024	-0,015632	0,000015	0,000132	-0,000009
P_{C2}	1,080973	-0,014509	0,085592	-0,000893	0,039669	-0,003113	-0,00573	0,00031
Жіноча статеві-вікова група								
P_{C1}	-2,635995	-0,031753	-0,700108	0,006949	-0,038898	0,000081	0,000673	-0,000013
P_{C2}	-3,656284	0,031136	0,189694	-0,000942	-0,015034	-0,000014	-0,0002004	0,0000173
Вісь Z								
Чоловіча статеві-вікова група								
P_{C1}	15,158546	-0,076428	-0,238955	0,006353	0,051701	0,000036	0,000544	-0,000014
P_{C2}	23,89012	-0,010042	0,0472064	0,0007315	0,1083624	0,0000063	0,0000349	-0,0000004
Жіноча статеві-вікова група								
P_{C1}	18,822640	-0,058775	-0,675009	0,0088600	0,0627906	0,0000739	0,0007551	-0,000016
P_{C2}	25,51789	-0,015053	0,186362	-0,001625	0,129315	-0,000006	-0,000284	0,0000038

Крива стику представлена чотирма керуючими точками, котрі змінюються залежно від K_D, H_K, W, N . Оскільки чотири фактори впливу, тому рівняння є дещо складнішими, тому було угруповано рівняння залежно від типу залежності впливу фактора. Вплив фактору K_D може бути лінійним

$$K_{K1}(K_D) = K_1 + k_{11} \cdot K_D$$

$$K_{K2}(K_D) = K_2 + k_{21} \cdot K_D$$

.....

$$K_{Ki}(K_D) = K_i + k_{i1} \cdot K_D$$

та другого порядку, в загальному має вид

$$K_{K1}(K_D) = K_1 + k_{11} \cdot K_D + k_{12} \cdot K_D^2$$

$$K_{K2}(K_D) = K_2 + k_{21} \cdot K_D + k_{22} \cdot K_D^2$$

.....

$$K_{Ki}(K_D) = K_i + k_{i1} \cdot K_D + k_{i2} \cdot K_D^2,$$

де i – кількість рівнянь залежно від виду впливу фактора.

Вплив фактора H_K також представлений двома видами залежностей, залежність першого порядку

$$K_{Hj}(K_D, H_K) = K_{Ki-1}(K_D) + K_{Ki}(K_D) \cdot H_K$$

$$K_{Hj-1}(K_D, H_K) = K_{Ki-3}(K_D) + K_{Ki-2}(K_D) \cdot H_K$$

.....

$$K_{H1}(K_D, H_K) = K_1(K_D) + K_{K2}(K_D) \cdot H_K$$

та другого порядку

$$K_{Hj}(K_D, H_K) = K_{Ki-2}(K_D) + K_{Ki-1}(K_D) \cdot H_K + K_{Ki}(K_D) \cdot H_K^2$$

.....

$$K_{H1}(K_D, H_K) = K_1(K_D) + K_{K2}(K_D) \cdot H_K + K_{K3}(K_D) \cdot H_K^2$$

де j – кількість рівнянь залежно від виду впливу фактора

Аналогічно W першого порядку

$$K_{Wg}(K_D, H_K, W) = K_{Hj-1}(K_D, H_K) + K_{Hj}(K_D, H_K) \cdot W$$

.....

$$K_{W1}(K_D, H_K, W) = K_{H1}(K_D, H_K) + K_{H2}(K_D, H_K) \cdot W$$

та другого порядку

$$K_{Wg}(K_D, H_K, W) = K_{Hj-2}(K_D, H_K) + K_{Hj-1}(K_D, H_K) \cdot W + K_{Hj}(K_D, H_K) \cdot W^2$$

.....

$$K_{W1}(K_D, H_K, W) = K_{H1}(K_D, H_K) + K_{H2}(K_D, H_K) \cdot W + K_{H3}(K_D, H_K) \cdot W^2$$

де g – кількість рівнянь залежно від виду впливу фактора.

Вплив фактора N має вид

$$K_N(K_D, H_K, W, N) = K_{W1}(K_D, H_K, W) + K_{W2}(K_D, H_K, W) \cdot N$$

або другого порядку

$$K_N(K_D, H_K, W, N) = K_{W1}(K_D, H_K, W) + K_{W2}(K_D, H_K, W) \cdot N + K_{W3}(K_D, H_K, W) \cdot N^2$$

На вид кривої гребеня мають вплив фактори K_D, H_K, r_N, N , котрі аналітично представлені вище. Для даної кривої відсутній вплив відношення обхвату стопи в пучках до метричного розміру колодки, оскільки не представляє суттєвого впливу на криву, виходячи з критерію подібності колодки та стопи.

Влив фактора r_N

$$K_{Rg}(K_D, H_K, r_N) = K_{Hj-1}(K_D, H_K) + K_{Hj}(K_D, H_K) \cdot r_N$$

.....

$$K_{R1}(K_D, H_K, r_N) = K_{H1}(K_D, H_K) + K_{H2}(K_D, H_K) \cdot r_N$$

$$K_{Rg}(K_D, H_K, r_N) = K_{Hj-2}(K_D, H_K) + K_{Hj-1}(K_D, H_K) \cdot r_N + K_{Hj}(K_D, H_K) \cdot r_N^2$$

.....

$$K_{R1}(K_D, H_K, r_N) = K_{H1}(K_D, H_K) + K_{H2}(K_D, H_K) \cdot r_N + K_{H3}(K_D, H_K) \cdot r_N^2$$

Вплив фактора N має вид

$$K_N(K_D, H_K, r_N, N) = K_{W1}(K_D, H_K, r_N) + K_{W2}(K_D, H_K, r_N) \cdot N$$

або

$$K_N(K_D, H_K, r_N, N) = K_{W1}(K_D, H_K, r_N) + K_{W2}(K_D, H_K, r_N) \cdot N + K_{W3}(K_D, H_K, r_N) \cdot N^2$$

У таблиці 2 наведено порядок залежностей та кількість рівнянь для кривих профільного абрису

Таблиця 2

Характеристики профільного абрису прототипу

Фактори впливу	Крива стику							
	Чоловіча статево-вікова група							
	Керуючі точки							
	Вісь X				Вісь Z			
порядок к-сть рівнянь	P_{A1}	P_{A2}	P_{A3}	P_{A4}	P_{A1}	P_{A2}	P_{A3}	P_{A4}
K_D	$i=12$	$i=8$	$i=12$	$i=12$	$i=12$	$i=12$	$i=12$	$i=12$
H_K	$j=6$	$j=4$	$j=4$	$j=6$	$j=4$	$j=4$	$j=4$	$j=4$
W	$g=2$	$g=2$	$g=2$	$g=2$	$g=2$	$g=2$	$g=2$	$g=2$
N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Жіноча статево-вікова група							
K_D	$i=8$	$i=12$	$i=12$	$i=18$	$i=12$	$i=12$	$i=8$	$i=8$
H_K	$j=4$	$j=4$	$j=4$	$j=6$	$j=6$	$j=6$	$j=4$	$j=4$
W	$g=2$	$g=2$	$g=2$	$g=2$	$g=2$	$g=3$	$g=2$	$g=2$
N	1	1	1	1	1	2	1	1
	Крива стику							
	Чоловіча статево-вікова група							
K_D	$i=12$	$i=18$	$i=12$	$i=18$	$i=12$	$i=12$	$i=8$	$i=12$
H_K	$j=6$	$j=6$	$j=4$	$j=6$	$j=4$	$j=4$	$j=4$	$j=4$
r_N	$g=2$	$g=2$	$g=2$	$g=2$	$g=2$	$g=2$	$g=2$	$g=2$
N	1	1	1	1	1	1	1	1
	Жіноча статево-вікова група							
K_D	$i=12$	$i=18$	$i=18$	$i=12$	$i=12$	$i=18$	$i=8$	$i=12$
H_K	$j=6$	$j=6$	$j=6$	$j=6$	$j=4$	$j=6$	$j=4$	$j=4$
r_N	$g=2$	$g=2$	$g=2$	$g=2$	$g=2$	$g=2$	$g=2$	$g=2$
N	1	1	1	1	1	1	1	1

У таблицях 3– 6 наведено реальні числові значення коефіцієнтів K, k для профільного абрису прототипу. Значення числових коефіцієнтів необхідно застосовувати в реальних розрахунках точно так, як наведено в таблицях, оскільки невиконання цієї умови призведе до спотворення результату.

Таблиця 3

Реальні числові значення коефіцієнтів K, k для кривої стику чоловічої статево-вікової групи

Коефіцієнти рівняння	Керуючі точки							
	Вісь X				Вісь Z			
	P_{A1}	P_{A2}	P_{A3}	P_{A4}	P_{A1}	P_{A2}	P_{A3}	P_{A4}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
K_1	-3,205226	64,79826	4009,8077	-3464,4898	9,151428	-765,3773	956,908297	-454,34929
k_{11}	8,01135	-109,1871	-7221,8019	6535,98655	8,929147	1392,6864	-1748,44716	837,42434
k_{12}	1,763909	34,80651	3257,15274	-3091,5894	-	-634,06252	798,547321	-384,952018
K_2	-3,06145	30,248114	-758,68039	191,93863	1,687821	11,31625	-3,534081	-12,1228112
k_{21}	6,19745	-51,844713	1362,78207	-348,53633	-1,285468	-29,40573	21,633741	9,565328
k_{22}	-2,95537	22,52306	-611,9971	159,5958	-	16,57012	-15,231742	-0,3374945
K_3	7,290233	1,358239	30,830573	3791,2622	-0,113341	2,39232	-3,478232	2,1709989

1	2	3	4	5	6	7	8	9
k_{31}	-13,53672	-2,531954	-55,57531	-7181,4513	0,094018	-3,93003	5,698457	-3,5721734
k_{32}	6,321515	0,949366	25,042827	3400,3965	-	1,62994	-2,362879	1,4933633
K_4	-0,819001	0,257359	34,7428602	-158,46075	0,029114	-5,01433	2,6316526	-0,5222841
k_{41}	1,506967	-0,460681	64,241155	295,80223	-0,380606	9,17745	-4,62939	0,8988417
k_{42}	-0,69497	0,206852	-29,71855	-140,07374	-	-3,94809	1,938763	-0,3702879
K_5	-0,68625	-0,537467	-5,189716	-307,27887	0,075517	-0,34466	0,215115	-0,0414139
k_{51}	1,29501	1,285295	9,5276307	581,6048	-0,064297	0,53592	-0,3289183	0,0570482
k_{52}	-0,603243	-0,34639	-4,3682206	-275,1489	-	0,20815	0,1261121	-0,0196379
K_6	0,054052	0,019921	0,1634902	12,19626	-0,003216	0,025853	-0,0144532	0,0023678
k_{61}	-0,100983	-0,035946	-0,300384	-22,91999	0,002684	-0,043967	0,02439	-0,0038286
k_{62}	0,047121	0,015883	0,1378437	10,780115	-	0,018788	-0,0103455	0,0015425
K_7	-0,07907	-0,004542	6,898708	27,02936	-0,013633	2,299379	-3,640089	2,8399196
k_{71}	0,23105	0,008188	-12,200332	-50,338108	-0,186509	-4,5266233	7,3750417	-5,7270317
k_{72}	-0,040273	-0,003913	5,9086515	24,177117	-	2,303576	-3,913088	2,923251
K_8	0,0359	-0,000422	-0,901174	-1,107656	0,002215	-0,376142	0,487584	-0,2307826
k_{81}	-0,008483	0,000776	1,691454	2,074239	-0,002355	0,683017	-0,886678	0,42263
k_{82}	0,004394	-0,000359	-0,7907218	-0,973183	-	-0,309424	0,4022758	-0,192767
K_9	-0,02225		0,02780134	-30,34787	0,0001484	0,002009	-0,0021881	0,0000936
k_{91}	0,041633		-0,0524231	57,32282	-0,000119	-0,004367	0,0051117	-0,0009045
k_{92}	-0,01957		0,0245977	-27,04682	-	0,002242	-0,0027242	0,0006608
K_{10}	0,002151		-0,1131213	1,22965	-0,0002504	0,014291	-0,006142	-0,0004022
k_{101}	-0,003983		0,206815	-2,131183	0,0001066	-0,025937	0,0106367	0,0012217
k_{102}	0,001848		-0,0947273	1,087938	-	0,011679	-0,0044606	-0,0008333
K_{11}	0,002205		0,0169059	2,334508	-0,0000707	-0,000695	0,000295	-0,0000364
k_{111}	-0,004119		-0,0310132	-4,409514	0,0000598	0,0014	-0,0006317	0,0000973
k_{112}	0,001922		0,0142088	2,080531	-	-0,000691	0,0003242	-0,0000558
K_{12}	-0,000169		-0,0005404	-0,094607	0,0000062	-0,000023	0,0000334	-0,0000034
k_{121}	0,000316		0,000991	0,177964	0,0000052	0,000033	-0,000057	0,000005
k_{122}	-0,000147		-0,000454	-0,083701	-	-0,000012	0,0000242	-0,000001

Таблиця 4

Числові значення коефіцієнтів K, k для кривої стику жіночої статеві-вікової групи

Коефіцієнти рівняння	Керуючі точки							
	Вісь X				Вісь Z			
	P_{A1}	P_{A2}	P_{A3}	P_{A4}	P_{A1}	P_{A2}	P_{A3}	P_{A4}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
K_1	-579,930836	288,375438	-732,74153	-1578,51689	255,628466	-200,87125	583,4227976	-278,943593
k_{11}	1052,55963	-556,60687	1441,6141	2731,073385	-506,78902	289,825925	-582,147904	161,303405
k_{12}	-469,265212	255,853015	-701,14307	-1186,62105	213,23319	-	-	80,98726536
K_2	12,97968	21,1108764	-11,938267	148,071824	-8,9120271	7,9066362	-9,9803964	29,1128791
k_{21}	-23,00162	-32,68333	11,455903	-255,799643	15,530415	-6,2261986	7,8565146	-49,9743572
k_{22}	10,27561	12,6844545	-1,1430485	110,905431	-6,671233	-	-	21,59329497
K_3	-3,525656	-0,5186714	0,5573886	-2,1634244	8,6890178	-2,3717647	2,8038449	-3,06898694
k_{31}	8,66626	0,87438	-0,8896583	3,82378073	-17,677946	4,1355388	-3,053591	4,54090522
k_{32}	-3,5166182	-0,3701636	0,3562394	-1,68605558	8,0088617	-	-	-1,53130561
K_4	0,08097	-17,6134752	-29,1865229	1540,701397	-0,2447846	0,1042223	0,0573074	0,06209936
k_{41}	-0,1495	24,943793	50,8234883	2764,15321	0,4301287	-0,0833691	0,0430389	-0,09628578
k_{42}	0,06663	-9,5456485	-21,114494	1235,927691	-0,1884215	-	-	0,04004167
K_5	2,14929	-0,1180444	1,1773857	-100,425921	0,0057442	-0,3363977	-0,1976053	2,65925652
k_{51}	-3,49765	0,214933	-2,1836912	179,5013088	-0,0756699	0,2930121	0,08225569	-4,87172773
k_{52}	1,70223	-0,0958667	1,011526	-79,980117	0,0434848	-	-	2,31072503
K_6	-0,05284	0,0005489	-0,0092027	1,49690217	-0,0006404	-0,0323399	0,035104	-0,12489108
k_{61}	0,09425	-0,0005933	0,0177138	-2,68030287	0,001352	0,0231673	-0,267303	0,21260227
k_{62}	-0,04216	-0,0000242	-0,0083804	1,19682206	-0,0006534	-	-	-0,09401588
K_7	0,0037	-2,2021772	5,3191683	-178,891259	0,0269725	0,0015232	0,000476	-0,26481275
k_{71}	-0,00975	4,611122	-9,7674417	322,65627	-0,0654549	-0,007709	-0,000421	0,50865765
k_{72}	0,00301	-2,129233	5,1134879	-145,187346	0,0054302	-	-	-0,24397173
K_8	-0,0004068	0,0784941	-0,1788573	12,23017798	0,0218538	-0,0005031	0,00019482	0,00503741
k_{81}	0,0007117	-0,1543917	0,3519299	-22,004105	-0,0365597	0,0004001	-0,00015242	-0,00972992
k_{82}	-0,0003061	0,0745061	-0,1703815	9,87750818	0,0153273	-	-	0,00468052
K_9		0,0004636	0,0000965	-0,19026439	-0,0062881	0,0007875		
k_{91}		-0,0006283	-0,0005864	0,34283673	0,0135181	-0,0005632		
k_{92}		0,000203	0,0004256	-0,15417739	-0,0085436	-		
K_{10}		-0,0315913	0,1317636	3,5731133	0,0005885	0,0000204		
k_{101}		0,054835	-0,2385667	-5,40340667	-0,0010133	-0,0000105		

1	2	3	4	5	6	7	8	9
k_{102}		-0,0216273	0,1060788	2,53111515	0,0004356	-		
K_{11}		0,0012272	-0,0057654	-0,37579922	0,0000946	-0,00001201		
k_{111}		-0,002225	0,0106313	0,64536992	0,0000317	0,00002352		
k_{112}		0,0010009	-0,0048973	-0,27786742	-0,0000217	-		
K_{12}		0,0000057	0,0000493	0,00687953	0,0000025	0,00000059		
k_{121}		-0,000083	-0,0000932	-0,01203238	-0,0000047	-0,00000046		
k_{122}		0,000003	0,0000436	0,00526021	0,0000021	-		
K_{13}				-6,14064871				
k_{131}				11,011833				
k_{132}				-4,92110303				
K_{14}				0,39288172				
k_{141}				-0,7010665				
k_{142}				0,31176991				
K_{15}				-0,0057695				
k_{151}				0,01031198				
k_{152}				-0,00495912				
K_{16}				0,69428593				
k_{161}				-1,251235				
k_{162}				0,56246364				
K_{17}				-0,04682275				
k_{171}				0,08413263				
k_{172}				-0,03771067				
K_{18}				0,00072086				
k_{181}				-0,00129728				
k_{182}				0,00058258				

Таблиця 5

Числові значення коефіцієнтів K, k для кривої гребня чоловічої статево-вікової групи

Коефіцієнти рівняння	Керуючі точки							
	Вісь X				Вісь Z			
	P_{A1}	P_{A2}	P_{A3}	P_{A4}	P_{A1}	P_{A2}	P_{A3}	P_{A4}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
K_1	21,027238	514,1108275	-388,68615	288,848912	-3418,35682	18087,65409	-1367,826079	5034,51033
k_{11}	-37,415417	-496,5213962	768,136867	-210,438839	6331,869562	-33361,061	2213,627525	-8798,96245
k_{12}	19,2492061	-	-352,199515	-	-2928,70472	15308,831	-911,940755	3909,019397
K_2	-74,90558	-53,7075824	47,276767	-14,487531	493,920183	-2651,67641	24,3603348	-474,263765
k_{21}	132,302517	51,586401	-91,6451	13,272656	-921,29056	4921,149265	-42,384845	876,4295117
k_{22}	-58,827061	-	44,099455	-	428,728697	-2270,0486	19,4954636	-403,450052
K_3	0,324004	1,8876139	-0,020876	0,445896	-16,909747	88,209188	16,7666023	15,7363713
k_{31}	3,056667	-1,7803291	0,17975	-0,414682	31,5209667	-163,6100	-25,7270517	-29,1297433
k_{32}	-1,762242	-	-0,142818	-	-14,6191697	75,4876303	10,4230515	13,4254667
K_4	10,953218	-47,5555165	-17,608922	-13,274702	124,157991	-626,37151	0,24432361	-134,412111
k_{41}	-19,608267	43,481425	31,5216	11,787989	-219,673712	1144,2835	-0,50177833	242,864402
k_{42}	8,772606	-	-13,711636	-	99,4244061	-520,86574	0,26882121	-109,748506
K_5	-0,06689	5,9218532	1,729065	1,445408	-15,9839196	89,599578	8,8833748	16,300322
k_{51}	0,014083	-5,4385126	-3,003583	-1,322223	29,308095	-164,43086	-13,5503533	-29,96766
k_{52}	0,030879	-	1,318212	-	13,3870636	75,116561	5,4082485	13,7172364
K_6	-0,416578	-0,2259241	-0,195839	-0,050436	0,5895239	-3,0441115	-0,0388517	-0,5469685
k_{61}	0,7446	0,2071423	0,3486	0,04633	-1,0771433	5,5833783	0,0578267	1,0050383
k_{62}	-0,333455	-	-0,155818	-	0,4895394	-2,5485848	-0,0239152	-0,4597121
K_7	-0,106127	1,3234225	3,566002	0,25505	11,8275935	-64,38339	-0,0837408	-19,82555
k_{71}	1,11185	-1,1883819	-5,433397	-0,228539	-21,84832	118,17596	0,129955	34,84133
k_{72}	-0,124636	-	2,508333	-	10,1813818	-54,2983727	-0,0520818	-15,4089455
K_8	0,232227	-0,1509869	-0,20121	-0,034921	-1,7132786	9,2266072	-0,0014948	1,6865354
k_{81}	-0,412417	0,1380434	0,376292	0,031909	3,2016783	-17,11274	0,0027983	-3,1060727
k_{82}	0,18397	-	-0,176561	-	-1,4878758	7,8974364	-0,0013485	1,4277333
K_9	0,030647	0,0062468	0,002025	0,001256	0,0584458	-0,3076474		-0,056591
k_{91}	-0,060517	-0,0056802	-0,004083	-0,001145	-0,109005	0,5703733		0,104509
k_{92}	0,027606	-	0,00203	-	0,0505727	-0,2630667		-0,0480764
K_{10}	-0,034996	-1,6990724	-0,031161	-0,876591	-0,400285	2,1541308		0,500553
k_{101}	0,062677	2,2081758	0,048805	1,02937	0,7246917	-3,9386517		-0,8984983
k_{102}	-0,028061	-	-0,020536	-	-0,3300152	1,7966515		0,404603
K_{11}	-0,000971	0,1831263	-0,003725	0,053328	0,0553443	-0,3109768		-0,0571208
k_{111}	0,001967	-0,1729835	0,00638	-0,047733	-0,1015317	0,5708		0,1049397
k_{112}	-0,00097	-	-0,002764	-	0,0463606	-0,2607455		-0,0480079

1	2	3	4	5	6	7	8	9
K_{12}	0,001433	-0,0065657	0,00052	-0,001646	-0,0020249	0,0105668		0,0019315
k_{121}	-0,002567	0,0061451	-0,000923	0,001512	0,0037033	-0,0193833		-0,0035463
k_{122}	0,001152	-	0,000412	-	-0,0016848	0,0088485		0,0016212
K_{13}		0,1596643		0,050423				
k_{131}		-0,1439478		-0,04863				
k_{132}		-		-				
K_{14}		-0,0203746		-0,005056				
k_{141}		0,0187313		0,004619				
k_{142}		-		-				
K_{15}		0,0007754		0,000175				
k_{151}		-0,0007115		-0,000161				
k_{152}		-		-				
K_{16}		-0,0041727		-0,000848				
k_{161}		0,0037665		0,000759				
k_{162}		-		-				
K_{17}		0,0005106		0,000119				
k_{171}		-0,000467		-0,000109				
k_{172}		-		-				
K_{18}		-0,0000204		-0,00000399				
k_{181}		0,0000187		0,00000363				
k_{182}		-		-				

Таблиця 6

Числові значення коефіцієнтів K, k для кривої гребня жіночої статеві-вікової групи

Коефіцієнти рівняння	Керуючі точки							
	Вісь X				Вісь Z			
	P_{A1}	P_{A2}	P_{A3}	P_{A4}	P_{A1}	P_{A2}	P_{A3}	P_{A4}
1	2	3	4	5	6	7	8	9
K_1	275,011649	910,2949723	-603,079499	103,1555088	-331,4129548	-1036,67819	-1015,54650	282,754015
k_{11}	-487,301873	-135,9752067	1110,63244	-127,133847	574,2901983	1811,52211	1744,381996	-413,951280
k_{12}	222,022503	725,0319333	-505,907921	40,7693322	-251,932930	-808,203845	-758,186945	160,1429558
K_2	-17,0899955	-52,9426587	32,5742861	1,2830998	15,0101252	53,9035159	32,92012656	9,97964534
k_{21}	29,9803967	96,6919017	-61,556338	-2,7065826	-26,3396817	-93,9195599	-58,8665407	-17,7835725
k_{22}	-13,5139697	-43,5122697	29,0952939	1,3304361	12,3203061	42,3652672	26,81451848	8,04657697
K_3	-72,771735	0,9230371	-0,4978352	7,6875135	-0,3702612	-1,25562466	-13,3083173	-0,23155709
k_{31}	132,581205	-1,68622	0,9263133	-14,486333	0,6503133	2,20374435	24,63200778	0,41103268
k_{32}	-59,5103909	0,7628182	-0,4329939	6,6963769	-0,2898667	-2,97454409	-10,895717	-0,18321712
K_4	4,4773594	-186,6629969	91,3895655	-0,353627	82,5447877	51,3030666	1,48120734	-9,05960133
k_{41}	-8,0291333	3401,353963	-167,9663967	0,6352779	-139,55615	-89,888826	-2,69726895	15,8219612
k_{42}	3,5949394	-154,8919758	77,3595333	-0,2834857	64,1724909	40,0030352	1,23276682	-6,90627424
K_5	4,8829333	11,6815666	-5,793742	-1,0005755	-3,5330534	-2,221322	7,26500431	0,26591489
k_{51}	-8,8684133	-21,23725	10,5907717	1,8182897	6,275565	3,9640316	-11,2630769	-0,4744367
k_{52}	4,019303	9,6496182	-4,8266879	-0,8228375	-2,7941909	-1,76857418	4,59123706	0,20968576
K_6	-0,3148346	-0,2178687	0,0981436	0,0456536	0,0832524	0,04926331	-0,08654124	-0,00531409
k_{61}	0,563945	0,3952583	-0,1790683	-0,0823464	-0,147545	-0,08823005	0,15134887	0,00944373
k_{62}	-0,252863	-0,1792212	0,0814939	0,0371452	0,0653545	0,03948318	-0,06729352	-0,00417648
K_7	-0,9722772	14,3245572	-7,0853265	-0,3556238	1,1095623	80,6978216	0,0365211	-2,20084455
k_{71}	2,6470217	-25,8189983	12,83359	1,1637431	-1,83759	-151,243494	-0,07193683	3,97672383
k_{72}	-0,8139242	11,6424394	-5,8095091	-0,3832726	-0,8729273	70,6197003	0,0335603	-1,67476939
K_8	0,0595059	-0,8735706	0,446522	-0,0059531	-0,056323	-5,5259732	-0,0052413	-0,0243791
k_{81}	-0,1053533	1,5805667	-0,8100367	0,0118324	0,099945	10,3324879	0,00949795	0,0454088
k_{82}	0,0474848	-0,714697	0,3671515	-0,0054374	-0,0445909	-4,81572406	-0,00431245	-0,02051636
K_9	0,2849237	0,0170043	-0,0083805	-0,019593	0,0013289	0,0660621		0,00055914
k_{91}	-0,5137233	-0,0306933	0,01518	0,0405812	-0,002345	-0,1237774		-0,00100815
k_{92}	0,230703	0,0138485	-0,0068727	-0,0194829	0,0010455	0,05779709		0,00045518
K_{10}	-0,0162633	-3,5958038	3,6963188	0,0014426	-0,2488519	1,2313434		0,04646336
k_{101}	0,0291833	7,1585817	-5,4999133	-0,0025952	0,4337775	-2,61925617		-0,078422
k_{102}	-0,0130848	-3,0100515	2,5466121	0,0011605	-0,1911318	1,07350697		0,03382
K_{11}	-0,0191894	0,2018991	-0,1265305	0,0038081	0,01265	-0,17684798		-0,00103629
k_{111}	0,0347467	-0,3698617	0,2345867	-0,0069365	-0,0224751	0,3100622		0,00183278
k_{112}	-0,0157152	0,1690697	-0,1094242	0,0031454	0,0099986	-0,13655148		-0,00080494
K_{12}	0,0001107	-0,0035406	0,0019841	-0,0001632	-0,0002885	0,00401431		0,00002151
k_{121}	-0,0019817	0,0064583	-0,0036717	0,0002944	0,0005111	-0,00707228		-0,0000382
k_{122}	0,0008879	-0,0029303	0,0017061	-0,0001328	-0,0002264	0,00313676		0,00001691
K_{13}		0,7123396	-0,380323			-0,1751311		

1	2	3	4	5	6	7	8	9
k_{131}		-1,295105	0,6915333			0,308859		
k_{132}		0,5899	-0,03156848			-0,1367327		
K_{14}		-0,0440122	0,0222835			0,00792948		
k_{141}		0,0800233	-0,0407517			-0,01416992		
k_{142}		0,0363576	0,018597			0,00634815		
K_{15}		0,0008247	-0,0003513			-0,00017653		
k_{151}		-0,0014967	0,00064			0,00031588		
k_{152}		0,0006788	-0,0002909			-0,0001413		
K_{16}		-0,0511026	0,025415			0,02176978		
k_{161}		0,0922433	-0,0460667			-0,0383775		
k_{162}		-0,0416485	0,0208788			0,01700455		
K_{17}		0,0032605	-0,0016532			-0,00105262		
k_{171}		-0,0059017	0,0030007			0,00187543		
k_{172}		0,0026697	-0,0013609			-0,00083667		
K_{18}		-0,0000528	0,0000308			0,00002357		
k_{181}		0,0000947	-0,0000558			-0,000042		
k_{182}		-0,0000424	0,0000253			0,00001873		

Висновки: Наведений матеріал дозволяє описати профільний абрис прототипу залежно від основних розмірних характеристик стопи, що дає змогу сформулювати емпіричну модель проектування ДВВ.

Література

1. Бегняк В. І. Основи конструювання і проектування виробів із шкіри: [навч. посібник] / В. І. Бегняк – Хмельницький, 2002. – 260 с.
2. Коновал В. П. Універсальний довідник взуттєвика: [навч. посібник] / [В. П. Коновал, С. С. Гаркавенко, Л. Т. Свістунова та ін.]. – К.: Лібра, 2005. – 720 с.
3. Фукин В. А. Структура комплексной САПР обуви / В. А. Фукин // Известия ВУЗов. Технология легкой промышленности. – 1989. – № 4. – С. 56– 59.
4. Фукин В. А. Проблемы автоматизированного проектирования внутренней формы обуви / В. А. Фукин // Кожевенно-обувная промышленность. – 1978. – № 8. – С. 53-55
5. Фукин В. А. Проектирование обувных колодок / Фукин В. А., Костылева В. В., Лыба В. П. – М.: Легпромбытиздат, 1987. – С. 88.
6. Чертенко Л. П. Автоматизоване проектування поздовжньо-висьового перерізу колодок / Л. П. Чертенко, В. П. Коновал // Вісник ДАЛПУ. – 2000. – № 1. – С. 37– 38.
7. 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.
8. Кернеш В. П. Проектування колодок для взуття з використанням програми PRO/ ENGINEER / В. П. Кернеш, Н. М. Омельченко // Вісник КНУТД. – 2008. – № 1. – С. 255– 258.
9. Кернеш В. П. Удосконалення гармонійності внутрішньої форми і конструкції юнацького і дівочого взуття: дис. ... кандидата техн. наук / Кернеш Вікторія Пилипівна. К., 2007. – 218 с.
10. <http://www.delcam.spb.ru/equipment/microscribe.htm>
11. Надопта Т. А. Моделювання профільних абрисів прототипу взуття з використанням кривих Безье / Т. А. Надопта // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 6. – С. 222– 226.
12. Надопта Т. А. Параметри основних анатомічних характеристик стопи / Т. А. Надопта, М. П. Савчук, Н. С. Машовець // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 5. – С. 62– 67.
13. Ченцова К. И. Проектирование и моделирование обувных колодок / К. И. Ченцова, В. Н. Муханова. – М., 1971. – С. 19– 22.
14. Надопта Т. А. Особливості формування габаритного сліду прототипу / Т. А. Надопта // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 4. – С. 247– 252.
15. Надопта Т. А. Теоретичні положення ідентифікації кривих абрисів / Т. А. Надопта // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 1, т. 2. – С. 268– 272.
16. Надопта Т. А. Застосування кривих Безье в аналітичній моделі проектування деталей верху взуття / Т. А. Надопта // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 5, – С. 130– 133.
17. Надопта Т. А. Розмірні характеристики стопи / Т. А. Надопта // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 1. – С. 102– 106.

Надійшла 22.3.2011 р.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТУПЕНЮ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВЗУТТЯ

Наведені результати досліджень з біотестування взуттєвих матеріалів за допомогою тест-об'єктів *Sinapis alba*, *Pomacea canaliculata*, *Lemna minor*, а також результати оцінки життєвого циклу (LCA) двох типів взуття – домашнього та робочого взуття.

The results of research on biological testing of shoe materials using test objects Sinapis alba, Pomacea canaliculata, Lemna minor, and the results of life cycle assessment (LCA) of two types of footwear – home and work shoes.

Ключові слова: взуттєві матеріали, біотестування, *Sinapis alba*, *Pomacea canaliculata*, *Lemna minor*, оцінка життєвого циклу.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливим науковим завданням

За останні десятиріччя європейськими країнами все частіше піднімається питання стосовно підвищення екологічної безпеки продукції, що безпосередньо контактує з людиною і використовується нею. Для оцінки ступеню екологічної безпеки продукції запропоновано використовувати спеціальні методики, які передбачають проведення аналізу “життєвого циклу” виробленої продукції (LCA) – від добування сировини, до моменту перетворення її у відход після використання. На кожному з елементів “життєвого циклу” визначаються екологічні індикатори, які характеризують сумарний вплив на оточуюче середовище і в тому числі на людину. Універсальність методу LCA полягає в тому, що він дозволяє здійснити порівняння за екологічними показниками різних технологічних процесів, виявити найбільш небезпечні фази процесу. А це, в свою чергу, дає можливість розробити рекомендації для покращення та вдосконалення як технологій так і матеріалів.

В якості об'єкту досліджень нами розглянуто процеси виготовлення взуття, з використанням як традиційних взуттєвих матеріалів, так і розроблених на основі вторинної сировини.

Одним з елементів аналізу “життєвого циклу” є дослідження стану токсичності взуттєвих матеріалів, які використовуються при виготовленні взуття, для цього було використано методи біотестування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми

Слід зауважити на те, що LCA аналіз активно використовують у багатьох галузях промисловості. Стосовно взуттєвої промисловості наводяться результати досліджень [1] впливу окремих стадій загального процесу виготовлення натуральних шкір на стан навколишнього середовища.

У роботі [2] LCA використано для розробки екологічних критеріїв для процесу виробництва шкіряного взуття. Вивчено стадії “життєвого циклу” хромового дублення шкіри. Аналіз виробничого ланцюга починали від вивчення сільськогосподарської продукції (виключено виробництво мінеральних добрив та пестицидів), необхідної для тваринництва, наступним етапом було вивчення впливу бійні на навколишнє середовище і закінчувалося етапом дублення шкір. Основні відходи та хімічні речовини, що надходять з цього виробничого ланцюга також були включені в аналіз.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є дослідження ступеню токсичності традиційних взуттєвих матеріалів і матеріалів виготовлених з вторинної сировини, що використовують при виготовленні робочого взуття за допомогою методів біотестування, а також виявлення у циклі виробництва взуття стадій, які здійснюють найбільше екологічне навантаження на оточуюче середовище за допомогою методу оцінки життєвого циклу продукції (LCA).

Виклад основного матеріалу

Як зазначалось у [3] ступінь безпечності основних видів продукції, що безпосередньо контактує з людиною є основним, що визначає і формує попит споживачів. Тому дослідження з визначення ступеня екологічної безпечності з використанням методів біотестування є надзвичайно своєчасним та затребуваним.

В якості тест-об'єктів було обрано гірчицю – *Sinapis alba*, ампулярій – *Pomacea canaliculata* та ряску -*Lemna minor* L. Біотестування на вибраних тест-об'єктах проводили у відповідності до методик [4– 6].

Досліджували традиційні взуттєві матеріали:

- матеріал для низу взуття EVA, гума для низу взуття марки ВШ, шкіра для верху взуття ДСТУ 2726-94, вінілішкіра-НТ взуттєва ГОСТ 28143-89, шкірпідкладка ГОСТ 940-81, шкіркартон ГОСТ 9542– 89, целюлозний картон Kariboard;

- матеріали виготовлені на основі відходів термопластичних поліолефінів: устілка ТКУ-О, задник ТКЗ, рециклат для виготовлення клею-розплаву, поліуретановий матеріал на основі відходів ПЕТФ.

Отримані дані біотестування наведені в таблиці 1.

Аналізуючи дані таблиці, можна зробити висновок про те, що традиційні взуттєві матеріали виявляють більшу ступінь токсичності ніж матеріали, що виготовлені на основі відходів полімерів.

Результати біотестування взуттєвих матеріалів

Вид матеріалу	Вихідна концентрація водної витяжки із взуттєвих матеріалів, мг/л	Тест-об'єкт		
		Гірчиця Sinapis alba	Ампулярії Romacea canaliculata	Ряска Lemna minor L.
		Концентрація, що знижує проростання насіння на 50 %, мг/л	Концентрація за якої $t_{роз} > t_{табл}$, мг/л	Летальна концентрація, ЛК ₅₀ , мг/л
Традиційні матеріали				
Шкіра для верху взуття ДСТУ 2726-94	1100	660	44	56
Вінілісшкіра-НТ взуттєва ГОСТ 28143-89	1470	1230	74	82
Шкірпідкладка ГОСТ 940-81	4000	1410	267	309
Картон Kariboard	1270	1300	127	126
Шкіркартон ГОСТ 9542-89	1370	1410	343	316
Матеріал EVA	400	160	9	11
Гума пориста ВШ	1050	447	30	38
Розроблені матеріали на основі відходів				
Клей-розплав	2500	1590	420	Не токсичний
Матеріал для устілки ТКУ-О	200	Не токсичний	Не токсичний	Не токсичний
Матеріал для задника ТКЗ	100	Не токсичний	Не токсичний	Не токсичний
Поліуретановий матеріал	160	Не токсичний	Не токсичний	Не токсичний

Найбільш токсичними є матеріали для низу взуття – термопласт EVA і гума пориста. Що стосується матеріалів для виготовлення верху взуття і проміжних деталей, то найбільшу токсичність зафіксовано для натуральних шкір хромового методу дублення.

Матеріали, виготовленні з використанням вторинної сировини, всупереч очікуванням виявились найменш токсичними, що кардинально змінює наше упереджене відношення до вторинних матеріалів.

Подальші дослідження передбачали здійснення LCA процесів виготовлення взуття з використанням досліджених у біотестуванні взуттєвих матеріалів. Для LCA аналізу було обрано два типи взуття – робоче, що є найбільш трудомістким у процесі виготовлення та домашнє взуття, доля якого у загальному обсязі виробництва є значною [7], а також характеризується найменшою трудомісткістю виготовлення.

Задача полягала у порівнянні окремих стадій процесу виготовлення взуття з точки зору впливу кожної з них на загальний екологічний індекс.

Процес виготовлення взуття включає стадії: процес розкрою і обробки деталей верху взуття, процес складання заготовки і процес складання взуття.

Етап інвентаризації для кожної із стадій виробництва робочого та домашнього взуття, дав можливість визначити необхідну кількість матеріалів та енергії, що затрачено на виготовлення однієї пари взуття та емісії, забруднюючих речовин в атмосферу, воду, ґрунти, які утворюються в процесі виробництва.

Основними критеріями оцінки впливу на оточуюче середовище [8] стадій виготовлення взуття є: потенціал глобального потепління (GWP) є показником того, наскільки дана маса парникових газів сприяє глобальному потеплінню; потенціал виснаження енергії (EDP) – показник поступового виснаження невідновлювальних енергетичних ресурсів; фотохімічне формування смогу (POCP) – окислення залишків розчинників та інших летючих органічних речовин під дією сонячного світла; потенціал окислення (EP) – результат таких викидів як NO_x, що негативно впливають на ґрунти, поверхневі води, біологічні організми; потенціал токсичного впливу на людину (HT) – вплив на здоров'я людини токсичних викидів; ацидифікація (AP) – підвищення кислотності води, ґрунтів.

Оцінка вагомості впливу кожного з виділених критеріїв на навколишнє середовище передбачає [7]: класифікацію факторів, характеристику факторів, нормалізацію факторів.

В таблиці 2 наведено класифікацію та характеристику факторів для всього процесу виготовлення однієї пари робочого взуття.

Класифікація і характеристика факторів для всього процесу виробництва робочого взуття

Показник	Енергія	Емісії у повітря, г				Емісії у воду, г		Всього
	МДЖ	NO _x	SO _x	CO ₂	Вуглеводні	Зважені частинки	Хімічна потреба кисню	
Сумарна кількість по інвентаризації факторів	8	0,088	1,86	557	0,0028	0,114	1,064	
Фактори еквівалентності								
EDP	1							
GWP				1				
AP		0,7	1					
POCP					0,416			
HT		0,78	1,2					
EP		0,13				1	0,022	
Фактори характеристики								
EDP	8							8
GWP				557				557
AP		0,0616	1,86					1,92
POCP					0,00116			0,00116
HT		0,0686	2,232					2,3
EP		0,0114				0,114	0,023	0,148

В таблиці 3 наведена нормалізація факторів для процесу виготовлення однієї пари робочого взуття.

Таблиця 3

Нормалізація факторів

Фактори	Значення	Для світу	Нормалізоване значення
EDP	$8 \cdot 10^6$	$235 \cdot 10^9$ Дж	$34042,6 \cdot 10^{-9}$
GWP	557	$37,7 \cdot 10^{12}$ кг	$0,015 \cdot 10^{-9}$
AP	1,92	$286 \cdot 10^9$ кг	$0,007 \cdot 10^{-9}$
POCP	0,00116	$3,74 \cdot 10^9$ кг	$0,0003 \cdot 10^{-9}$
HT	2,3	$576 \cdot 10^9$ кг	$0,004 \cdot 10^{-9}$
EP	0,148	$74,8 \cdot 10^9$ кг	$0,002 \cdot 10^{-9}$

В таблиці 4 наведено класифікацію та характеристику факторів для процесу виготовлення однієї пари домашнього взуття.

Таблиця 4

Класифікація і характеристика факторів для всього процесу виробництва домашнього взуття

Показник	Енергія	Емісії у повітря, г				Емісії у воду, г		Всього
	МДЖ	NO _x	SO _x	CO ₂	Вуглеводні	Зважені частинки	Хімічна потреба кисню	
Сумарна кількість по інвентаризації факторів	4,3	0,07	1,44	492	0,0007	0,094	0,89	
Фактори еквівалентності								
EDP	1							
GWP				1				
AP		0,7	1					
POCP					0,416			
HT		0,78	1,2					
EP		0,13				1	0,022	
Фактори характеристики								
EDP	1,4							1,4
GWP				492				492
AP		0,049	1,44					1,489
POCP					0,0003			0,0003
HT		0,0546	1,728					1,783
EP		0,0091				0,094	0,02	0,123

В таблиці 5 наведена нормалізація факторів для всього процесу виготовлення однієї пари домашнього взуття.

Таблиця 5

Нормалізація факторів

Фактори	Значення	Для світу	Нормалізоване значення
EDP	$4,3 \cdot 10^6$	$235 \cdot 10^9$ Дж	$18297 \cdot 10^{-9}$
GWP	492	$37,7 \cdot 10^{12}$ кг	$0,013 \cdot 10^{-9}$
AP	1,489	$286 \cdot 10^9$ кг	$0,005 \cdot 10^{-9}$
POCP	0,0003	$3,74 \cdot 10^9$ кг	$0,00008 \cdot 10^{-9}$
HT	1,783	$576 \cdot 10^9$ кг	$0,003 \cdot 10^{-9}$
EP	0,123	$74,8 \cdot 10^9$ кг	$0,002 \cdot 10^{-9}$

Результатом проведення розрахунків є побудова екологічних профілів, що характеризують вплив екологічних індикаторів на навколишнє середовище.

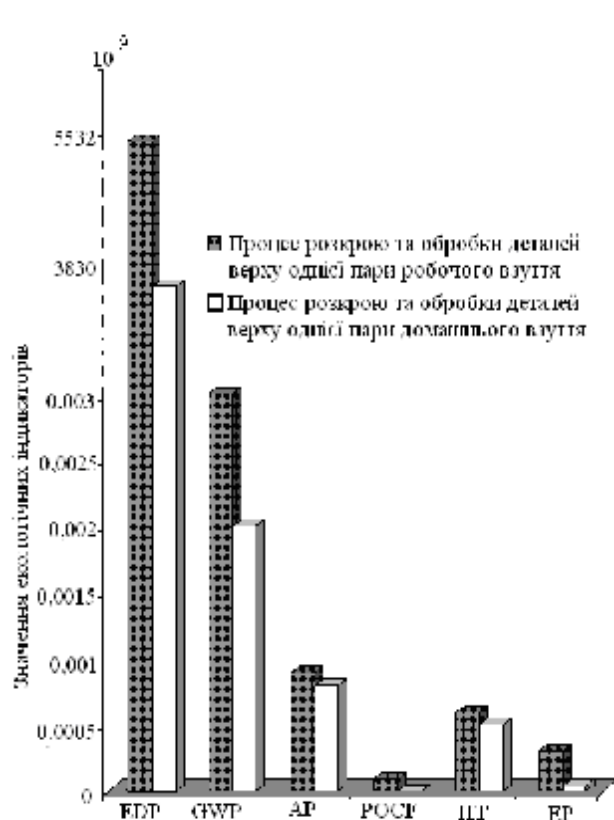


Рис. 1. Екологічний профіль процесу розкрою та обробки деталей верху взуття

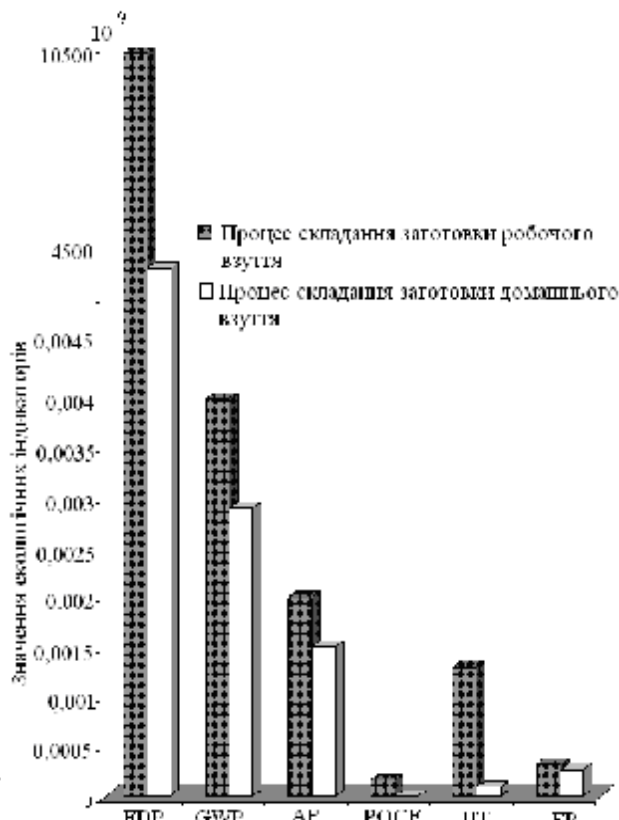


Рис. 2. Екологічний профіль процесу складання заготовки

На рис. 1 зображено екологічний профіль процесу розкрою та обробки деталей верху однієї пари робочого та домашнього взуття. На рис. 2 зображено екологічний профіль процесу складання заготовки однієї пари робочого та домашнього взуття. На рис. 3 зображено екологічний профіль процесу складання однієї пари робочого та домашнього взуття. На рис. 4 зображено екологічний профіль процесу виробництва однієї пари робочого та домашнього взуття.

Останній етап проведення LCA передбачає інтерпретацію отриманих результатів, тобто розрахунок сумарного екологічного індексу.

Розрахунок сумарного екологічного індексу для виробництва однієї пари робочого взуття показав, що він становить $3,4 \cdot 10^{-5}$, а для виробництва однієї пари домашнього взуття він становить $1,83 \cdot 10^{-5}$.

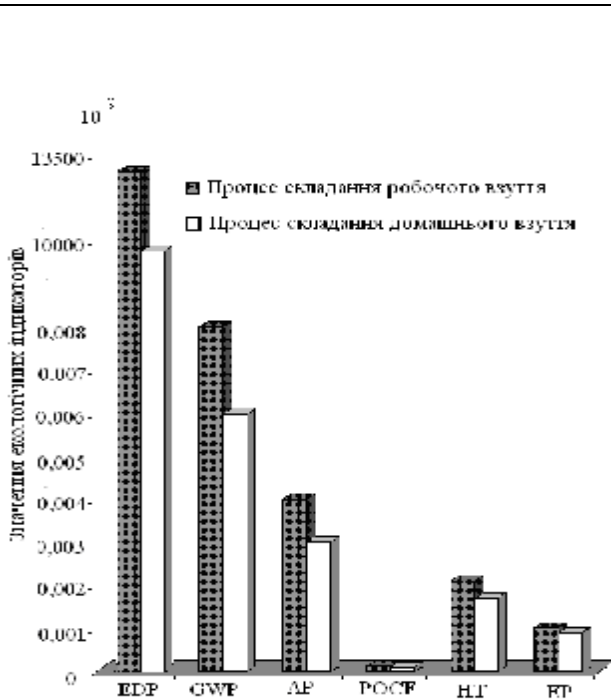


Рис. 3. Екологічний профіль процесу складання взуття

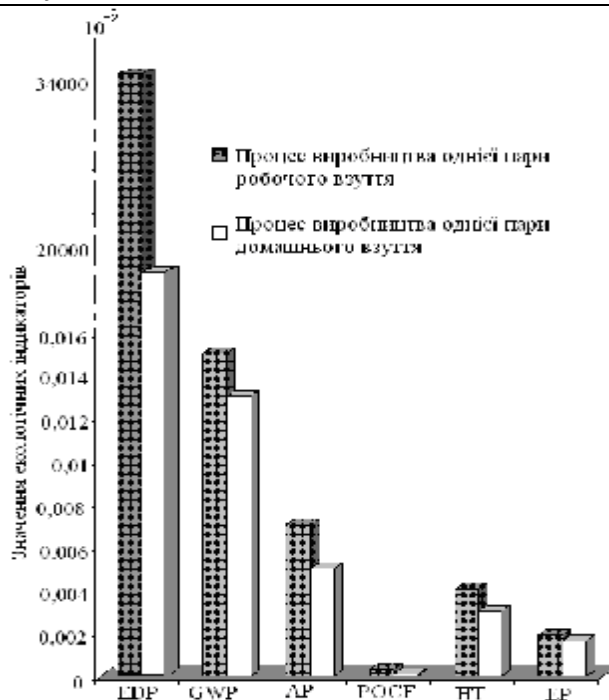


Рис. 4. Екологічний профіль процесу виробництва взуття

Висновки

Проведення біотестування на тест-об'єктах *Sinapis alba*, *Pomacea canaliculata*, *Lemna minor* L., дало змогу виявити найбільш токсичні матеріали та розташувати їх у ряд підвищення екологічної шкідливості:

задник ТКЗ < поліуретановий матеріал на основі відходів ПЕТФ < устілка ТКУ-О < клей-розплав < шкіркартон ГОСТ 9542-89 < целюлозний картон Kariboard < шкірпідкладка ГОСТ 940-81 < вінілісшкіра-НТ взуттєва ГОСТ 28143-89 < шкіра для верху взуття ДСТУ 2726-94 < гума для низу взуття марки ВШ < матеріал для низу взуття EVA.

Проведений аналіз життєвого циклу виробництва робочого та домашнього взуття, дозволив порівняти екологічну безпечність та виявити найбільш шкідливі етапи виробництва, а саме процес складання взуття. Виробництво робочого взуття є більш небезпечним ніж виробництво домашнього взуття, його сумарний екологічний індекс впливу на навколишнє середовище становить $3,4 \cdot 10^{-5}$, а сумарний екологічний індекс виробництва домашнього взуття дорівнює $1,83 \cdot 10^{-5}$.

Література

1. Rivela B., Moreira M. T., Bornhardt C., Meandez R., and Feijoo G // Life Cycle Assessment as a Tool for the Environmental Improvement of the Tannery Industry in Developing Countries // Int. Journal LCA. – 1996. – № 3. – 201-205 с.
2. Mila L., Domenech X., Rieradevall J., Fullana P., Puig R // Application of Life Cycle Assessment to Footwear // Int. Journal LCA. – 1998. – № 4. – 203-208 с.
3. Мучок О. Г. Експериментальні методи оцінки екологічної безпеки матеріалів для виготовлення взуття. Повідомлення I / О. Г. Мучак, К. О. Присяжна, І. А. Мандзюк // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 2 (146). – С. 248– 254.
4. СанПіН 2.1.7.573-96 “Гигиенические требования к использованию сточных вод и их осадков для орошения и удобрения”
5. Зайцева О. В. Современное биотестирование вод, требования к тест-организмам и тест-функциям с позиций сравнительной физиологии и физиологии адаптационных процессов / О. В. Зайцева, В. В. Ковалев, Н. Е. Шувалова // Ж. эвол. биохим. и физиол. – 1994. – № 4. – С. 575 – 592
6. Ломагин А. Г., Ульянова Л.В. Новый тест на загрязненность воды с использованием ряски – *Lemna minor* L / А. Г. Ломагин, Л. В. Ульянова // Физиология растений. – 1993. – № 2. – С. 327– 328.
7. Study for the footwear criteria revision [Електронний ресурс] / Marco Montani, Emanuela Esposito, Gian Luca Baldo // Background Report – Version 23 October 2008. – Режим доступу: http://ec.europa.eu/environment/ecolabel/ecolabelled_products/categories/pdf/footwear/final_report_footwear.pdf.
8. Оценки воздействия жизненного цикла (LCIA) [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.scienceinthebox.com/en_UK/sustainability/lcia_en.html.

Надійшла 25.3.2011 р.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ПАРПРОНИКНОСТІ МАТЕРІАЛІВ ВЕРХУ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ВЗУТТЯ ПРАЦІВНИКАМ МОЛОЧНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Аналіз роботи молочних підприємств показав, що спецвзуття для даної промисловості повинно володіти цілим рядом захисних факторів, серед яких є захист від вологи. Для встановлення кращого матеріалу, який може використовуватись для виготовлення взуття працівникам молочної промисловості, були проведені дослідження показників паропроникності для оцінки здатності матеріалів пропускати вологу.

The analysis of work of sucklings enterprises showed that the special shoe for this industry must own unit by the row of protective factors among which one of basic is protecting from moisture. With the purpose of establishment of the best material which can be used for making of shoe to the workers of suckling industry, researches of indexes of water vapor permeability were conducted for the estimation of ability of materials to skip moisture.

Ключові слова: спеціальне взуття, юхта, кирза, паропроникність, молочна промисловість, сухі зразки, зволожені зразки, статичні й динамічні умови.

Вступ. Молочна промисловість є складовою частиною харчової промисловості України. Забезпечення населення якісними продуктами харчування є одним з головних напрямків, спрямованих на соціально-економічний розвиток будь-якої країни. З розвитком економіки України з'являється усе більше підприємств молочної промисловості, готових купити якісне, зручне, надійне взуття для своїх працівників.

В теперішній час на підприємствах молочної промисловості використовуються в основному гумові чоботи, кирзові черевики, що не відповідає діючим нормам, встановлених державою, а також призводить до виникнення та розвитку різних професійних захворювань.

Аналіз досліджень та публікацій. Як показав аналіз роботи молочних підприємств, спецвзуття для даної промисловості повинне володіти цілим рядом захисних факторів, серед яких одним з основних є захист від вологи. У комплекс небезпечних і шкідливих факторів молочного виробництва входять підвищена вологість повітря, постійний контакт працівників з водою, сироваткою, жиром, молочною кислотою, коливання температури від +18–20°C до –5–10°C [1, 2].

Спеціальне захисне взуття повинне захищати від падінь на слизьких жирних підлогах, бути зручним і гігієнічним. На підприємствах молочної промисловості застосовують в основному гумові чоботи й черевики. Однак це взуття під дією жиру, ферментів, молочної кислоти й миючих розчинів швидко стає непридатним [2].

Промисловість випускає також спецвзуття наступних моделей: чоботи з жиростійкої гуми з неслизькою підошвою, а також із твердим носком, який захищає пальці стопи від механічних травм, черевики зі шкіряним верхом або зі штучної шкіри на неслизькій жиростійкій гумовій підошві.

Об'єкти й методи дослідження

Об'єктами дослідження в даній роботі були матеріали для верху взуття, що застосовуються тепер при його виробництві, а також перспективні матеріали, які рекомендовані для цієї мети [3, 4]. Матеріали верху спеціального взуття для молочної промисловості впливають на стійкість взуття до різних факторів даної області. Серед великого різноманіття матеріалів доцільні для дослідження в даному виробництві наступні: натуральна шкіра (юхта за ГОСТ 485 "Юхта для верху взуття. Технічні умови"), штучні й синтетичні шкіри: кирза 1,6, кирза 1,8 за ГОСТ 9333 "Кирза взуттєва. Технічні умови", СК1 (1,8) і СК2 (1,6) за ТУ 17-21-360.

В роботі проводяться дослідження показників паропроникності в ізотермічних умовах за стандартизованим методом (ГОСТ 938.17-70) [5].

Постановка завдання

Використання на підприємствах молочної промисловості гумових чобіт та кирзових черевиків, які не відповідають діючим нормам, установлених державою, призводить до виникнення й розвитку різних професійних захворювань [1].

Тому були визначені перспективи досліджень у цьому напрямку, а саме знаходження показників паропроникності матеріалів при впливі на них різних факторів виробництва.

Результати досліджень

Підвищення вимог до якості й асортиментам взуття спеціального призначення й впровадження системи керування її якістю визначають необхідність не тільки постійного вдосконалення процесів виготовлення взуття й взуттєвих матеріалів, але й підвищення рівня контролю якості у виробництві.

У даній роботі для дослідження впливу різних молочних продуктів на матеріали верху взуття, ми вибрали такі продукти як: сметана (масова частка жиру $20 \pm 0,5\%$), кефір і йогурт (масова частка жиру, не менше 2,5%). Як відомо, робочий день становить 8 годин і безпосередній вплив на взуття й одяг у цілому відбувається саме протягом цього часу. Цілий місяць ми змочували вище зазначені матеріали відповідно в сметані, кефірі і йогурті в період носіння, тобто занурювали їх на 8 годин, а потім виймали, промивали й висушували до початку наступного робочого дня. Провівши такий експеримент, ми досліджували, як вплинули речовини, які входять до складу молочних продуктів на матеріали, і як змінилися їхні властивості.

Виходячи із цього, ми вирішували мету роботи, а саме визначення показників паропроникності матеріалів верху взуття при впливі на них різних факторів виробництва. Причому окремо проводилися досліді для зразків у сухому стані й для зволжених (у йогурті, кефірі й сметані) зразків.

Паропроникність – одна з найважливіших характеристик гігієнічних властивостей матеріалів. Проходження пари через матеріали верху взуття відбувається в неізотермічних умовах. Температура усередині взуття вище, ніж температура навколишнього середовища. Паропроникність визначають, створюючи перепад відносної вологості повітря з різних сторін досліджуваного зразка. Виражають її в абсолютних одиницях або відносною величиною у відсотках.

Абсолютна паропроникність – це кількість пари води, мг, яка пройшла через 1 см² зразка за 1 годину при різній пружності пари з різних сторін зразка.

Відносна паропроникність – це відношення маси пари води, яка пройшла через досліджуваний зразок із простору з більшою відносною вологістю в простір з меншою відносною вологістю, до маси пари води, яка пройшла через вільний переріз склянки при однакових умовах.

Абсолютну паропроникність визначають за формулою:

$$P_0 = \frac{\Delta m}{S \cdot t} \quad (1)$$

Відносну паропроникність визначають за формулою:

$$P_0 = \frac{\Delta m}{\Delta m_1} \cdot 100\% \quad (2)$$

де Δm – маса парів води, які пройшли через досліджуваний зразок; S – площа, t – час.

Δm_1 – маса парів води, які пройшли через вільний перетин контрольної склянки.

Дані по визначенню паропроникності для сухих зразків занесені в табл. 1.

Потім ми визначали паропроникність у зволоженому в йогурті (табл. 2), кефірі (табл. 3) та сметані (табл. 4) стані.

Таблиця 1

Визначення паропроникності для сухих зразків

Матеріал	Юхта	Кирза 1.6	Кирза 1.8	СК1	СК2	Контрольна склянка
Товщина зразка, мм	2,6	1,6	1,8	1,71	1,59	-
Маса склянки до досліді, г	434,77	392,99	425,15	413,32	412,14	406,40
Маса склянки після досліді, г	434,44	392,94	425,00	413,17	411,99	405,83
Паропроникність, $\cdot 10^{-6}$ мг/см ² год	4,58	0,69	2,08	2,08	2,08	-
Відносна паропроникність, %	57,9	9	26	26	26	-

Таблиця 2

Визначення паропроникності зразків змочених у йогурті

Матеріал	Юхта	Кирза 1.6	Кирза 1.8	СК1	СК2	Контрольна склянка
Товщина зразка, мм	2,6	1,6	1,8	1,71	1,59	-
Маса склянки до досліді, г	433,68	428,99	429	421,25	-	416,25
Маса склянки після досліді, г	433,41	428,70	428,95	421,07	-	415,56
Паропроникність, $\cdot 10^{-6}$ мг/см ² год	3,75	4,03	0,69	2,5	-	9,58
Відносна паропроникність, %	39,1	42	7,2	26,1	-	-

Таблиця 3

Визначення паропроникності зразків змочених у кефірі

Матеріал	Юхта	Кирза 1.6	Кирза 1.8	СК1	СК2	Контрольна склянка
1	2	3	4	5	6	7
Товщина зразка, мм	2,6	1,6	1,8	1,71	1,59	-
Маса склянки до досліді, г	422,48	432,88	448,18	427,62	437,20	416,42

1	2	3	4	5	6	7
Маса склянки після дослідження, г	421,95	432,55	448,09	427,48	437,06	415,69
Паропроникність, $\cdot 10^{-6}$ мг/см ² год	7,36	4,58	1,25	1,94	1,94	10,14
Відносна паропроникність, %	72,6	45,2	12,3	19,2	19,2	-

Таблиця 4

Визначення паропроникності зразків змочених в сметані

Матеріал	Юхта	Кирза 1.6	Кирза 1.8	СК1	СК2	Контрольна склянка
Товщина зразка, мм	2,6	1,6	1,8	1,71	1,59	-
Маса склянки до дослідження, г	422,69	424,99	421,99	430,99	438,00	416,48
Маса склянки після дослідження, г	422,45	424,68	421,92	430,86	437,96	415,74
Паропроникність, $\cdot 10^{-6}$ мг/см ² год	3,3	4,31	0,97	1,81	0,56	10,28
Відносна паропроникність, %	32,4	41,8	9,5	17,6	5,4	-

Висновки

З проведених досліджень видно, як змінюються показники паропроникності матеріалів верху взуття у сухому й зволоженому стані відповідно. Показники паропроникності зразків юхти й кирзи 1 перебувають у допустимих межах, а для синтетичних матеріалів СК1 і СК2 значення менші, ніж за типовими нормами.

Таким чином, на основі отриманих експериментальних даних можна зробити висновок, що матеріали верху, які застосовуються в наш час при виготовленні спеціального взуття для працівників молочної промисловості, не є досконалими й не мають усіх необхідних захисних і експлуатаційних властивостей. Тому визначені перспективи подальших досліджень у цьому напрямі, а саме знаходження показників водопроникності та водопромоклості для оцінки здатності матеріалів пропускати вологу в динамічних та в статичних умовах з метою визначення кращих матеріалів, які можуть використовуватися для виготовлення взуття працівникам молочної промисловості.

Література

1. Никитин В. С. Охрана труда на предприятиях пищевой промышленности: [учебник для вузов] / В. С. Никитин, Ю. М. Бурашников. – М.: ВО Агропромиздат, 1991. – 350 с.
2. Медведев А. М. Охрана труда в мясной и молочной промышленности / Медведев А. М., Анцыпович И. С., Виноградов Ю. Н. – М.: Агропромиздат, 1989. – 256 с.
3. Зурабян К. М. Материаловедение изделий из кожи / Зурабян К. М., Краснов Б. Я., Берштейн М. М. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 416 с.
4. Михеева Е. Я. Современные методы оценки качества обуви и обувных материалов / Е. Я. Михеева, Л. С. Беляев. – М.: Легпромбытиздат, 1984. – 247 с.
5. Гуменный Н. А. Материалы для обуви и кожгалантерейных изделий: [справочник] / Н. А. Гуменный, В. В. Рыбальченко. – К.: Техніка, 1982. – 167 с.

Надійшла 2.3.2011 р.

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ТРЕСТИ ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО

В статті теоретично та експериментально обґрунтовано технологічний процес механічної обробки трести льону олійного.

In article theoretical and experimental the basic technological operations of mechanical of processing are grounded trusts of flax oil.

Ключові слова: треста льону олійного, механічна обробка, куделеприготування, чесальні машини, тіпальні барабани, трясильні машини.

Постановка завдання. Треста льону олійного на відміну від льонотрести, придатної для одержання довгого волокна, являє собою сплутану дезорієнтовану масу волокон з кострицею, серед яких знаходяться багато цілих стебел довжиною не більше 40 см. Ці стебла не здатні потрапляти у затиск конвеєрів тіпальних машин у першій і у другій секціях м'яльно-тіпальних агрегатів МТА. Поєднання у тресті льону олійного коротких стебел і волокон різної довжини визначає аналогічну переробку її з некондиційною низькосортною трестю льону-довгунця за традиційною технологією обробки на куделеприготувальних агрегатах відомих марок: КПАЛ, АКЛВ-1, АКЛВ-1-01, МКП-1Л та їх зарубіжних аналогів фірм "Charle", "Laroche", "Temafo" і т.ін.

Але до цього часу технологічний процес механічної обробки трести льону олійного не розроблено, тому щорічно майже 120 тис. тон лляної трести льону олійного спалюється на полях України [1]. На основі вивчення фізико-механічних властивостей стебел соломки льону олійного і зміни їх після комбайнового збирання можна заключити, що механічна технологія переробки трести льону олійного повинна бути аналогічна технології одержання однотипного лляного волокна і некондиційної низькосортної трести льону-довгунця, з урахуванням особливостей морфологічної і анатомічної будови стебел льону олійного.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На даний час, теоретичні основи механічної обробки некондиційної низькосортної трести льону-довгунця розроблені Іпатовим О.М. (Росія) [2]. Технологія одержання однотипного лляного волокна впроваджена Інститутом луб'яних культур НААН України Гілязетдіновим Р.Н [3], а також Центральним науково-дослідним інститутом луб'яних волокон Дербеневим О.С [4].

За технологією Інституту луб'яних культур НААН України, на відміну від існуючих куделеприготувальних агрегатів, запропонована нова конструкція м'яльних вальців планчатого типу та замість тіпальної частини розроблена конструкція тіпально-чесального агрегату. За новою технологічною схемою виготовлено дослідний макет агрегату для одержання однотипного волокна льону-довгунця (рис. 1).

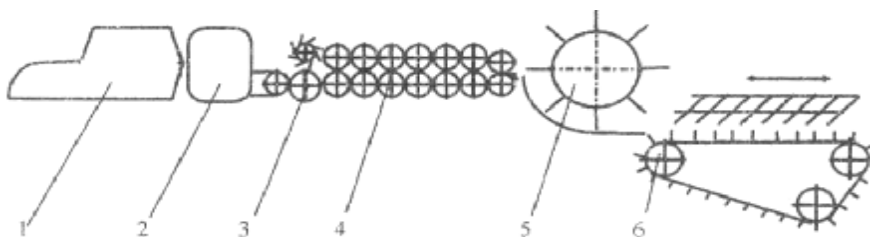


Рис. 1. Принципова технологічна схема агрегату для виділення однотипного волокна льону (ІЛК НААН Україна):

1 – розмотувач рулонів, 2 – сушильна машина, 3 – шароформуєча машина, 4 – м'яльна частина,
5 – тіпальна частина, 6 – трясильна частина

Не дивлячись на те, що ці розробки мали б велике значення для визначення технології та обладнання переробки стебел льону олійного, але на даний час відсутній серійний випуск такого обладнання. Крім того, одержане за даною технологією волокно має заокостриченість 37–40 %, що обмежує сферу його застосування.

В спільних науково-дослідних роботах, Херсонського національного технічного університету, Інституту луб'яних культур НААН України та Луцького національного технічного університету, був запатентований спосіб одержання однотипного волокна [5]. Даний спосіб передбачає отримання однотипного волокна із трести льону олійного. Але, за запропонованою технологією, також неможливо отримати волокно високої якості, так як його заокостриченість на виході становить 35–40 %.

Також відомі роботи з очищення і розділення волокна льону-олійного, виконані Римським дослідним центром (Італія (IPZS)) [6, 7]. На рисунку 2 наведено схему процесу обробки стебел льону олійного технологією, розробленою IPZS.

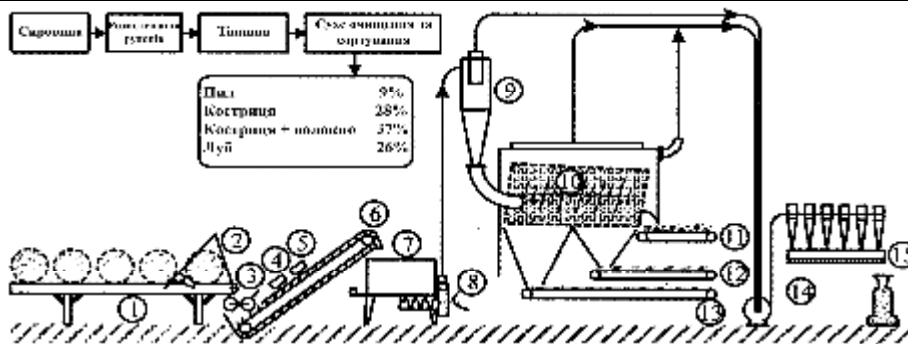


Рис. 2. Схема процесу обробки стебел льону олійного для одержання целюлози (Італія):

1 – рулонний конвеєр, 2 – лезо ножа, 3 – натискні валики, 4 – металодетектор, 5 – металоекстактор, 6 – транспортер, 7 – вертикальний тіпальний апарат, 8 – вентилятор з сушаркою, 9 – циклон, 10 – циліндр-відокремлювач, 11 – конвеєр для луб'яного волокна, 12 – конвеєр для костриці і лубу, 13 – конвеєр для костриці, 14 – вентилятор з обігрівом, 15 – транспорт пилу

За цією схемою стебла обробляються на вертикальному тіпальному апараті (7) і очищуються в циліндрі відділювачу (10). При обробці стебел льону олійного за цією технологією закостриченість виділеного волокна складає 37%. Разом з цим, закупівля даної лінії в Італії потребує великих валютних витрат.

В роботі Пашина Е.Л. і Федосової Н.М [8], наводяться тільки схеми обробки стебел соломки льону олійного, але не розкривається механізм обезкострювання волокон, що є основною технологічною операцією механічної обробки. Таким чином, залишаються відкритими питання: яке обладнання може бути застосовано для механічної обробки трести льону олійного, параметри та режими його експлуатації? Тому в даній роботі було проаналізовано технології обробки некондиційної низькосортної трести льону-довгунця, які можуть бути аналогами нової технології для переробки льону олійного.

Виклад основного матеріалу. Зазвичай, низькосортна некондиційна треста льону-довгунця, до якої подібні стебла льону олійного, обробляється на типовому куделеприготувальному агрегаті КПАЛ, технологічна схема якого наведена на рис. 3.

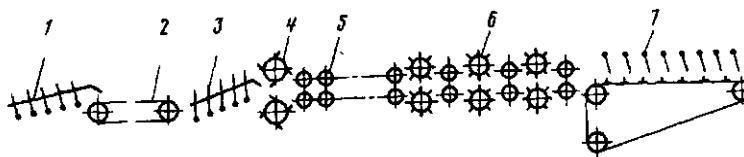


Рис. 3. Технологічна схема обробки низькосортної некондиційної трести льону-довгунця

1, 3, 7 – трясильні машини, 2 – сушильна машина, 4 – шаропотоншуючий механізм, 5 – м'яльна машина, 6 – тіпальна машина

Згідно зі схемою 3, технологія одержання лляного волокна складається з попереднього збагачення відходів тіпання на першій трясильній машині 1, сушіння у сушильній машині 2, трясіння на другій трясильній машині 3, формування шару у шаропотоншуючому механізмі 4, м'яття у м'яльній машині 5, тіпання у тіпальній машині 6, і кінцевого очищення на третій трясильній машині 7.

Відомо, що збирання льону олійного проводиться за допомогою зернозбирального комбайна. За даною технологією стебла цієї групи льонів скошуються на висоті 5 см від землі, на переробку надходить серединна і верхня частина стебел, які мають малий діаметр. З цим пов'язані труднощі відділення костриці від волокна, які посилюються тим, що у стеблах малого діаметру більш тонка і гнучка деревина і, відповідно, менша різниця її за жорсткістю з волокном. Щоб порушити зв'язок такої деревини з волокном і видалити її, необхідно перш за все штучним шляхом збільшити різницю у властивостях, деревинної і волокнистої частини стебла, а потім застосувати інтенсивні впливи.

Збільшення різниці за жорсткістю між волокном і деревиною досягається за рахунок попереднього сушіння трести льону олійного від вологості 12–13% до вологості 6–8%. При зміні вологості у даному діапазоні гнучкість і міцність волокна зменшуються незначно, а жорсткість костриці різко збільшується, що підвищує ефективність впливів м'яття і тіпання.

Тому першою операцією при переробці трести льону олійного, за розробленою нами технологією, повинно бути обов'язково застосовано підсушування до технологічної вологості, а потім повинні здійснюватися операції м'яття і тіпання відповідно до традиційного технологічного процесу, який наведено на рис. 3.

В даній роботі запропоновано технологію і обладнання для поглибленої механічної обробки трести льону олійного на основі модернізації існуючого обладнання. З цією метою на експериментальній технологічній лінії агрегата КПАЛ (рис. 4), було замінено тіпальну частину на дві секції тіпальних машин "Charle". Це було здійснено, враховуючи особливості технологічних властивостей стебел льону олійного, для запобігання утворенню намотів волокна на тіпальні барабани, обриву волокна, що сприятиме збільшенню інтенсивності очищення волокна від костриці. Загальний вигляд модернізованого

куделеприготувального агрегату надано на рис. 4.

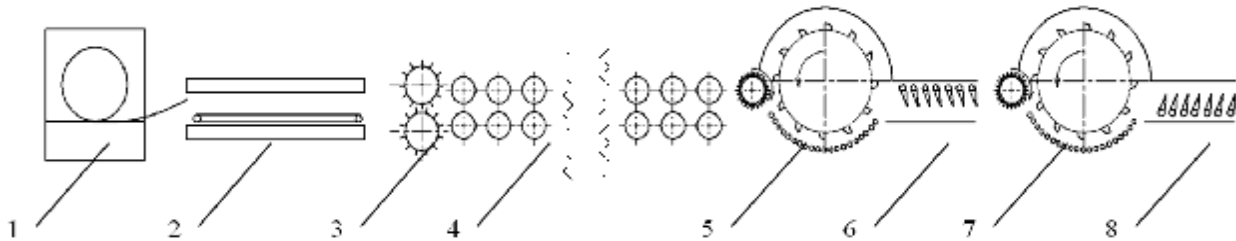


Рис. 4. Технологічна схема модернізованого куделеприготувального агрегату:

- 1 – рулонорозмотувач; 2 – сушильна машина; 3 – живильні вальці; 4 – м'яльна машина;
5 – тїпальний модуль машини «Charles»; 6 – трясильна машина з верхнім гребінним полем;
7 – тїпальний модуль машини «Charles»; 8 – трясильна машина з нижнім гребінним полем

За запропонованою технологією з технологічного процесу, в порівнянні з традиційною технологією (рис. 3), виключається трясильна машина 1. Треста льону олійного після розмотування рулонів на рулонорозмотувачі 1, буде направлятися в сушильну машину СКП-10КУ1 2, і за допомогою колкового механізму 3, подаватися на м'яльну машину куделеприготувального агрегату 4 (рис. 4), з 19 парами м'яльних вальців, що забезпечує глибокий промин стебел льону олійного. Пром'ятий сирець подається за допомогою живильного вальця на тїпальний модуль машини «Charles», далі після першого тїпання, волокно поступає на трясильну машину куделеприготувального агрегату з верхнім гребінним полем, а потім на другий тїпальний модуль машини «Charles», заключною операцією на модернізованому куделеприготувальному агрегаті є трясильна машина з нижнім гребінним полем.

Процес м'яття трести льону олійного призначений для порушення зв'язку між волокном і деревиною у тих стеблах, у яких він ще не порушений.

Процес тїпання даної сировини, як і некондиційної низькосортної трести льону-довгунця, призначений для інтенсивного знекострення волокна. Найбільш інтенсивний процес тїпання волокна льону олійного після м'яття здійснено за рахунок використання тїпальної секції машини фірми «Charles», в якому тїпальний барабан має діаметр – 120 см, з 12 бильними планками. Залежно від якості волокна за допомогою важеля регулюються зазори між ножами і бильними планками тїпального барабану. Процес трясіння застосовується для кінцевого очищення волокна від костриці.

Незважаючи на можливість регулювання технологічного процесу куделеприготування, одержане за даною технологією волокно містить велику кількість костриці від 28– 31 %, тому таке волокно непридатне до використання у текстильній, фармацевтичній, паперовій галузях промисловості та для виробництва композиційних матеріалів. Адже, для використання у паперовій промисловості потрібно, щоб волокно мало закостриченість 0,2 %, у текстильній до 1,5 %, у фармацевтичній – 0,5 %, а для виробництва композиційних матеріалів – 0 %. Поряд з цим, як показали попередні дослідження, волокно льону олійного містить до 70 % целюлози, за довжиною волокна та формою жмутів на зрізах воно наближене до бавовни, отже за певної переробки його можливо використовувати замість бавовняного волокна, у сумішах з ним та для одержання целюлози [9– 11].

Для повного очищення волокна льону олійного основною технологічною операцією є процес чесання на машинах грубого та тонкого чесання, відповідно Ч-600Л та ЧМД-4. В роботі запропоновано технологію і обладнання для поглибленої механічної обробки трести льону олійного. Запропонована технологічна лінія переробки трести льону олійного подана на рис. 5.

Оптимальні режими роботи окремих вузлів даного агрегату були визначені в роботах Литвина З.Л [12], Валько М.І [13], Коб'якова С.М [14] і Мешкова Ю.М [15]. Тому оптимізація технологічних режимів роботи модернізованого куделеприготувального агрегату не проводилася.

Технологічний процес чесання було оптимізовано: досліджено залежності масодовжини волокна, вмісту костриці та лінійної щільності волокна льону олійного від числа обертів головного барабана та



Рис. 5. Технологічна лінія для отримання очищеного волокна із трести льону олійного

величини розведення між головним барабаном і сміттєвідбійним ножом машини ЧМД-4.

За фактори варіювання при кожному прочісуванні було обрано число обертів головного барабана n_1 (n_2) – x_1 (x_3) та величину розведення l_1 (l_2) – δ_2 (δ_4) між головним барабаном і сміттєвідбійним ножом машини ЧМД-4. Вихідними параметрами при першому та другому прочісуваннях відповідно є y_1 (y_4) – масодовжина волокна, y_2 (y_5) – вміст костриці, y_3 (y_6) – лінійна щільність волокна льону олійного.

Згідно з експериментальними даними отримано аналітичні залежності (1– 6), за якими встановлено оптимальні характеристики процесу чесання на машинах ЧМД-4, які наведені в таблиці 1.

$$y_1 = 26,84 - 1,23x_1 + 0,87x_2 - 0,75x_1^2, \quad (1)$$

$$y_2 = 3,29 + 0,21x_2 - 0,21x_1x_2, \quad (2)$$

$$y_3 = 1,25 + 0,07x_1 + 0,06x_2 - 0,08x_1^2, \quad (3)$$

$$y_4 = 18,39 + 0,18x_3 - 0,27x_4 - 0,45x_3x_4 + 0,18x_4^2, \quad (4)$$

$$y_5 = 2,44 + 0,26x_4 + 0,23x_3x_4 - 0,37x_3^2 + 0,25x_4^2, \quad (5)$$

$$y_6 = 0,42 + 0,03x_3 - 0,02x_3x_4 + 0,02x_4^2. \quad (6)$$

Таблиця 1

Характеристика прядильних властивостей волокна льону олійного, отриманого за різними режимами обробки на ЧМД-4

Режими обробки на ЧМД-4		Характеристика прядильних властивостей волокна льону олійного		
Число обертів головного барабану, хв. -1	Розведення, мм	Середня масодовжина, мм	Вміст костриці, %	Лінійна щільність, текс
Перше прочісування				
x_1	x_2	y_1	y_2	y_3
770	3,5	25,5	1,00	1,23
650	3	26,7	1,25	1,5
Друге прочісування				
x_3	x_4	y_4	y_5	y_6
605	2,5	18,1	1,00	0,51
515	1,5	19,5	0,05	0,49

В результаті обробки трести льону олійного за всіма технологічними переходами, згідно з технологією наведеною на рис. 5, після дворазового прочісування, було одержано волокно. Розподіл волокон за довжиною наведено на рис. 6 і діаграмі (рис. 7).

$$y = -0,002x^6 + 0,19x^2 + 6,52x^4 + 112,86x^3 - 1009,8x^2 + 3997,4x - 2637,7$$

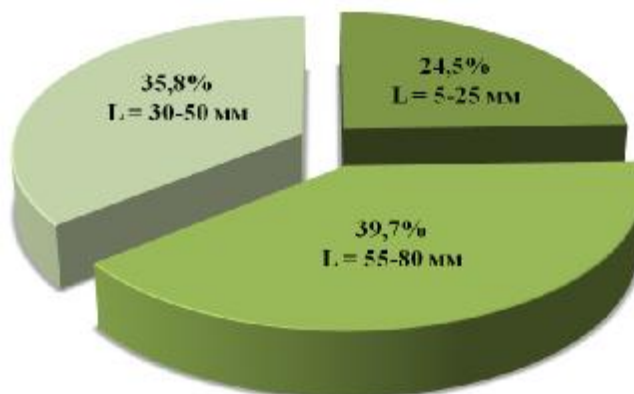


Рис. 6. Відсоткове співвідношення розподілу волокон льону олійного за довжиною після обробки за всіма технологічними циклами

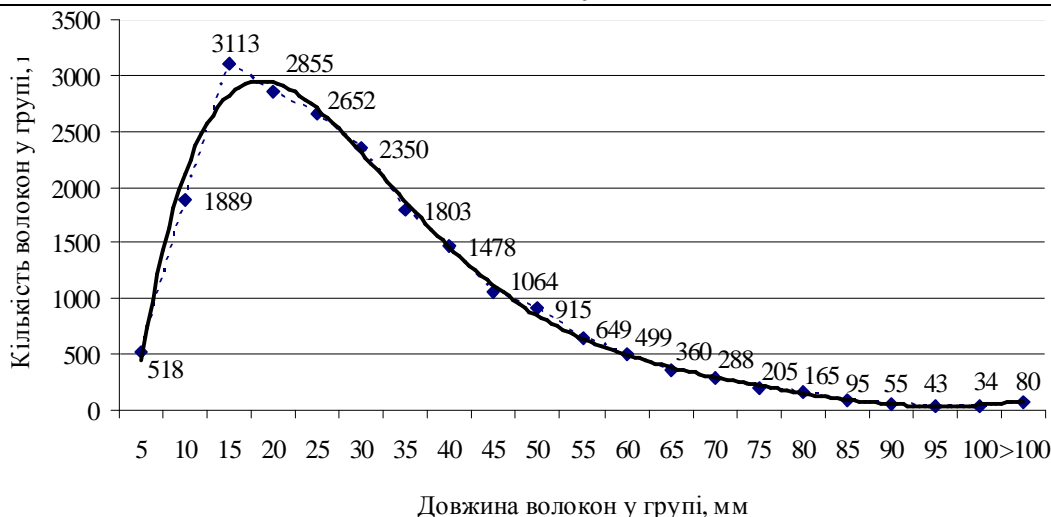


Рис. 7. Кількість волокон у групах за довжиною

Результати показують, що вміст волокон, придатних для переробки в умовах текстильного виробництва з бавовною дорівнює 35,80 %, у яких довжина волокон знаходиться в межах від 30 до 50 мм, а кількість волокон придатних для переробки в целюлозному виробництві, в яких довжина волокон знаходиться в межах від 5 до 25 мм, складає 24,49 %. Частка волокон, придатних для переробки з вовною, складає 39,71 %, в яких довжина волокон знаходиться в межах від 55 до 80 мм. В результаті виробничих випробувань було проведено аналіз вмісту костри у волокні, одержаного після кожного технологічного циклу обробки. Вміст костри після обробки на куделеприготувальному агрегаті дорівнював 23,0–25,5 %. Вміст костри після обробки на чесальних машинах Ч-600-Л дорівнював 7,5–8,6 %, а після обробки на машинах після подвійного прочісування тонкого чесання ЧМД-4 вміст костри складав 0,05–1,0 %.

Висновки. В результаті аналізу якості волокна встановлено, що обробка трести льону олійного за розробленим технологічним процесом механічної обробки, згідно схеми 5, дозволяє отримати волокно з високими технологічними характеристиками, яке можна рекомендувати для застосування в різних галузях промислового виробництва.

Література

1. Тіхосова Г. А. Обґрунтування ефективності переробки стебел льону олійного / Г. А. Тіхосова, Т. М. Головенко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 4. – С. 268–274.
2. Ипатов А. М. Теоретические основы механической обработки стеблей лубяных культур / Ипатов А. М. – М.: Легпромбытиздат, 1989. – 143 с.
3. Гелязетдінов Р. Н. Розвиток наукових основ створення інноваційних технологій первинної переробки луб'яних культур: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.01 / Р. Н. Гелязетдінов. – Херсон, 2009. – 255 с.
4. Дербенев А. С. Разработка технологии получения из льняной трести однотипного ориентированного волокна в ленте: дисс. ... к. т. н. / Дербенев А. С. – Кострома, 1983.
5. Пат. 53465 Україна, МПК А01D 45/00. Спосіб одержання однотипного волокна із льону олійного / В. А. Сай, Т. О. Кузьміна, В. Ф. Дідух, С. П. Коропченко; заявник і патентовласник ХНТУ. – № u201003575; заявл. 29.03.2010; опубл. 11.10.2010, Бюл. № 19.
6. Cappelletto P. Mechanical treatment of field retted oilseed flax and hemp/ Resulting fibers can restore recycled fibres quality / Cappelletto P., Mongardini F., Sannibale M., Brizzi M., Pasini P // Nord flax: proceeding and abstracts of the first Nording Conference on flax and hemp processing, held in Tampere, Finland, 10-12 August 1998, P. 127-141.
7. Cappelletto P. L. Fiber valorization of oilseed flax / A. Assirelli, M. Bentini, P. L. Cappelletto, P. Pasini // Flax and other Bast Plants Symposium. – Poznan, Poland: Institute of Natural Fibres, 1997. – С. 150–151.
8. Пашин Е. Л. Технологическое качество и переработка льна-межеумка / Е. Л. Пашин, Н. М. Федосова. – Кострома: ВНИИЛК, 2003. – 85 с.
9. Тіхосова Г. А. Товарознавча оцінка якості волокна льону олійного / Г. А. Тіхосова, Т. М. Надєєва, К. В. Кухаренко // Товарознавчий вісник: зб. наук. праць. – Луцьк: ЛНТУ, 2010. – № 2. – С. 190–195.
10. Тіхосова Г. А. Теоретичні передумови створення інноваційної технології переробки стебел льону олійного / Г. А. Тіхосова, О. В. Князев, Т. М. Надєєва // Легка промисловість. – 2010. – № 2. – С. 27–28.
11. Тіхосова Г. А. Сучасний стан стандартизації стебел льону олійного / Г. А. Тіхосова, О. В. Князев, Т. М. Надєєва // Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. – Одеса. – 2010 – Вип. 38. Т. 1. – С. 93–95.
12. Литвин З. Л. Розробка ресурсозберігаючої технології переробки низькосортного короткого льняного волокна: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.03 / З. Л. Литвин. – Херсон, 2000. – 186 с.
13. Валько М. І. Наукові основи технологічних процесів одержання модифікованого льняного

волокна: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.03 / М. І. Валько. – Херсон, 2002. – 347 с.

14. Коб'яков С. М. Удосконалення технології приготування трести льону біологічними способами: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с-г. наук: спец. 05.18.03 «Первинна обробка, зберігання зерна та іншої продукції рослинництва» / С. М. Коб'яков. – К., 1993. – 144 с.

15. Мешков Ю. Є. Розробка технологічного процесу одержання короткого лляного волокна підвищеної якості: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.03 / Ю.Є. Мешков. – Херсон, 2007. – 162 с.

Надійшла 21.3.2011 р.

УДК 675.017.63

Г. В. САВЧЕНКО, Б. М. ЗЛОТЕНКО
Київський національний університет технологій та дизайну
А. А. ГОРБАЧОВ
ТОВ «ГВП – Хімматеріали»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЕЛЕКТРОАКТИВОВАНОЇ ВОДИ НА ТЕРМОСТАБІЛЬНІСТЬ ДЕРМИ КРОЛЯ

У статті представлено результати досліджень впливу електроактивованої води на основні характеристики шкірної тканини хутрових шкурок кроля у зв'язку зі зміною термостабільності дерми. Проведені експерименти дозволили встановити, що температура зварювання корелює з вмістом жиру, основних солей хрому в дермі, а також оптичною густиною спектру, що характеризує утворення термостійких зв'язків в дермі. Це відображено парною кореляцією зв'язків оптичних густин хвиль спектру, які приймають участь в утворенні термостійких зв'язків.

The researching results of influence of the electro-activated water on basic descriptions of skin tissue of rabbit fur hides in connection with the change of derma thermal stability are presented in the article. The conducted experiments allowed setting that a welding temperature correlates with content of fat, basic salts of chrome in a derma, and also by the optical density of spectrum which characterizes formation of heat-ties in a derma. It is represented by pair correlation of connections of optical density waves of spectrum, which take part in formation of heat-ties.

Ключові слова: термостійкість шкірної тканини, електроактивована вода, ІЧ-спектри, аноліт, католіт.

Одним із основних показників шкірної тканини хутра кроля є температура її зварювання, що пов'язана із загальною кількістю термостійких зв'язків в колагені дерми [1].

Постановка завдання

Дослідити взаємозв'язок температури зварювання зі змінами в структурі дерми кроля. Встановити вплив електроактивованої води (аноліта та католіта) на структурні показники шкірної тканини кроля.

Об'єкти та методи досліджень

Досліджувався вплив способів виготовлення хутра кроля, в тому числі з використанням електроактивованої води, на властивості готових шкурок, зокрема кореляційні співвідношення між вмістом жируючих речовин, солей хрому в дермі та її температурою зварювання. Визначення основних характеристик шкірної тканини відповідає [2– 4].

Результати та їх обговорення

Відмінна особливість процесу утворення термостійких зв'язків в дермі є результатом кількох, на перший погляд, протилежних реакцій. Перш за все, звичайне утворення термостійких зв'язків пов'язане з входженням карбоксильної групи в хромовий комплекс. А взаємодія молекули жиру з комплексами хрому заважає подальшому утворенню термостійкого містка. Таким чином, зменшується термостійкість шкірної тканини (рис. 1, 2).

Проте цим тлумаченням неможливо пояснити, чому після зварювання за невеликий проміжок часу властивості шкіри відновлюються. Таке явище спостерігається при дубленні шкіри альдегідними сполуками. Поява в структурі дерми груп С-О-С з довжиною хвилі 1084 см⁻¹ (рис. 3) є наслідком взаємодії диальдегідних сполук з білком. Альдегідні групи виникають внаслідок присутності в системі значної кількості окислювачів або відновників в католіті та аноліті.

В наведених спектрах (див. табл. 1) при хвилі коливань 3325-3410 см⁻¹ збільшенню оптичної густини відповідає коливання групи N-H, що притаманне структурі колагену і відповідає утворенню водневих зв'язків N-H...O=C та C-OH...O=C [5].

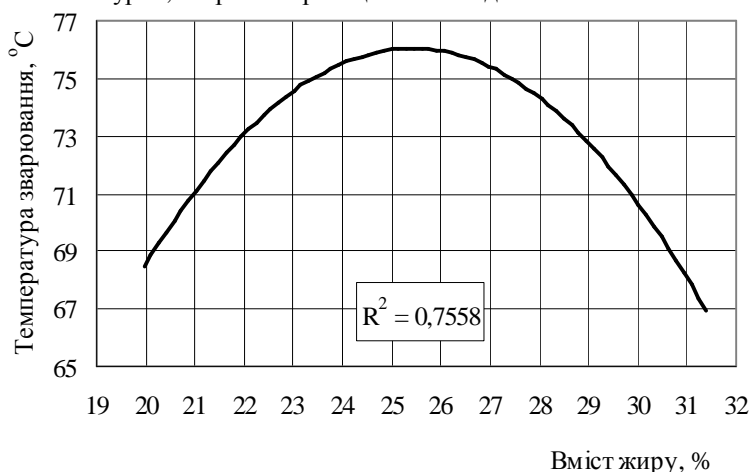


Рис. 1. Взаємозв'язок вмісту жиру з температурою зварювання дерми

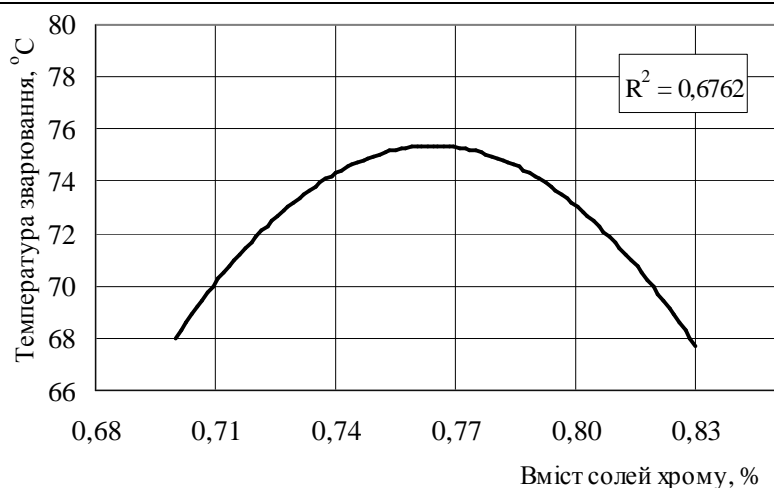
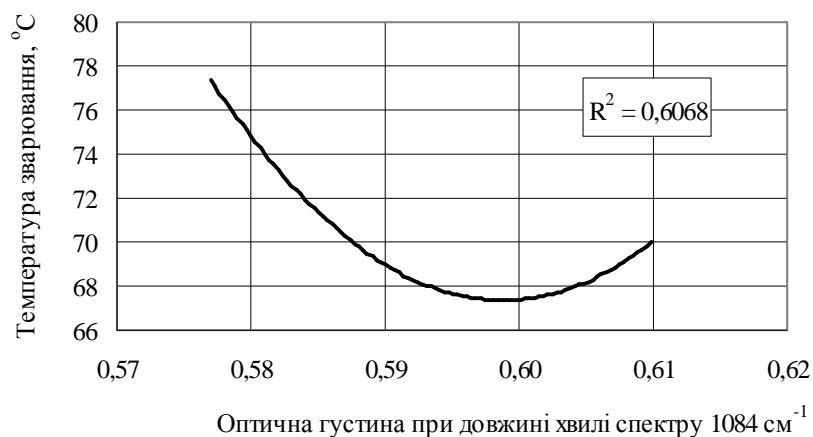


Рис. 2. Взаємозв'язок вмісту солей хрому з температурою зварювання дерми

Рис. 3. Взаємозв'язок температури зварювання з оптичною густиною при довжині хвилі спектру 1084 см⁻¹

Таблиця 1

Характеристика ІЧ-спектрів в дермі готової шкірки кроля

Довжина хвилі коливань спектру	Відповідність оптичної густини функціональним групам		
	Група атомів	Тип коливання	Інтенсивність смуги
3410 см ⁻¹	N-H, OH	Валентний	с*
3325 см ⁻¹	-N=N- N-H	Валентний	с
3246 см ⁻¹	NH	Валентний	с
3070 см ⁻¹	C-H Ароматичне кільце	Деформаційний	сл
2926 см ⁻¹	C-H	Валентний	с
2855 см ⁻¹	C-H	Валентний	с
1663 см ⁻¹	N-H C=O	Деформаційний Валентний	ср ср
1539 см ⁻¹	COO ⁻	Валентний	сл
1410 см ⁻¹	C-H	Деформаційний	ср
1335 см ⁻¹	COO ⁻	Деформаційний	ср
1240 см ⁻¹	Амід III C=C	Деформаційний	ср
1166 см ⁻¹	C-O-C олігоєфір	Деформаційний	с
1084 см ⁻¹	C-O-C Me-OH	Деформаційний Деформаційний (комплексна сфера металу)	с с
1036 см ⁻¹	OH C-O-C	Деформаційний Деформаційний	ср ср
619-621 см ⁻¹	SO ₄ ²⁻	В комплексній сфері металу	ср

* Примітка: с – сильна, сл – слабка, ср – середня інтенсивність смуги

Водневий зв'язок N-H...O=C є характеристикою взаємодії між пептидними зв'язками і впливає на оптичну густину, характерну для амідів II, тобто в даному експерименті при довжині хвилі 1539 см^{-1} , яка тісно пов'язана (коефіцієнт кореляційного відношення $R^2=0,97$) з оптичною густиною, характерною для групи NH при смузі спектру 3410 см^{-1} , яка відповідає сольовому зв'язку та описується залежністю, представленою на рис. 4.

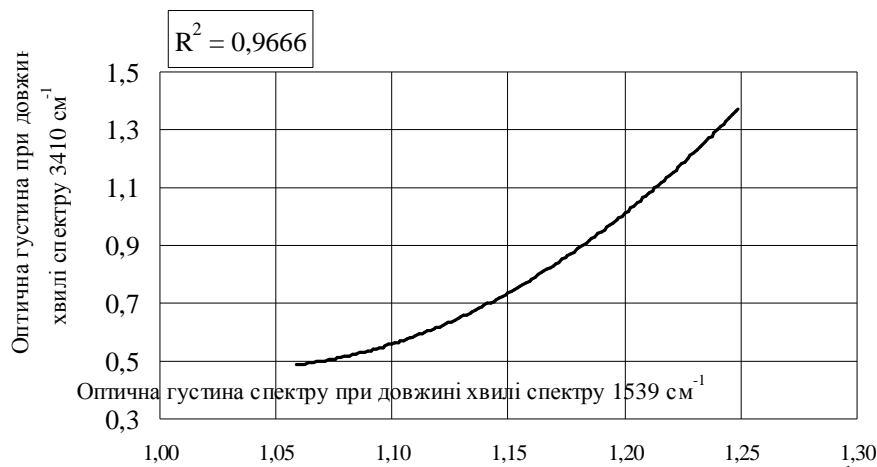


Рис. 4. Взаємозв'язок оптичних густин при довжинах хвиль спектру 3410 та 1539 см^{-1}

Висновки

На основі проведених експериментальних досліджень по впливу температури зварювання на структурні показники шкірної тканини хутра кроля можна стверджувати, що перетворення структури колагену в присутності електроактивованої води не можливо віднести до якоїсь однієї хімічної групи або визначити якимось одним впливом. Поєднання дії комплексів водневих зв'язків, комплексних сполук хрому, утворення кисневих містків внаслідок взаємодії альдегідів, утворення сольових зв'язків та втрати на деякий час водневих зв'язків з послідовним утворенням нових забезпечує перетворення структури при експлуатації шкірки, моделлю яких може служити релаксація деформацій шкірки при постійному навантаженні, що буде розглядатись в наступних статтях.

Література

1. Горбачов А. А. Наукові основи технологічних процесів виробництва шкіри та похідних колагену з позиції термодинаміки: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня д.т.н.: 05.19.05 / А. А. орбачов. – К., 2002. – 44 с.
2. ГОСТ 26129-84. Шкурки меховые и овчина шубная. Методы определения содержания несвязанных жировых веществ. – Введ. 26.03.84. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 5 с.
3. ГОСТ 9212-77. Шкурки меховые и овчина шубная. Методы определения содержания окиси хрома. – Взамен ГОСТ 9212-59; Введ. 23.11.77. – М.: Изд-во стандартов, 1978. – 6 с.
4. ГОСТ 17632-72. Шкурки меховые и овчина шубная. Метод определения температуры сваривания. – Введ. 01.10.89. – М.: Изд-во стандартов, 1980. – 3 с.
5. Орлова О. Д. Розробка нового асортименту шкір з урахуванням аніонно-катионного балансу в оздоблювальних композиціях: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня к.т.н.: 05.19.05. – К., 2001. – 18 с.

Надійшла 27.3.2011 р.

УДК 677.12: 027

Є.О. КОРОЛЕНКО

Херсонський національний технічний університет

ВПЛИВ ДОДАТКОВОЇ ОБРОБКИ ПЕНЬКОВОГО ВОЛОКНА НА ЙОГО ЯКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

В статті розглядається проблема використання пенькового волокна при прядінні та її вирішення шляхом додаткової обробки. Відзначено вплив додаткової обробки волокна на його розщепленість і визначено залежність розщепленості пенькового волокна від концентрації розчину, яким обробляється пенькове волокно.

The problem of use of fibers of hempen in spinning industry and its decision in that way additional treatment are examined. The influence of additional treatment of fibers to its schism is explored and the dependence of schism of fibers from concentration of working solution is derived.

Ключові слова: пенькове волокно, обробка, якісні характеристики.

Вступ

На даному етапі розвитку коноплярства в Україні волокно конопель в основному використовується

для виготовлення тарних і технічних тканин, а також мотузок, канатів і пожежних рукавів. Використання такого волокна для тонкотканого прядіння дуже обмежене. Крім того, при додаванні пенькового волокна до багатокомпонентних сумішей при подальшому відбілюванні тканин, полотна відбілюються неоднорідно. На таких тканинах спостерігаються непрофарбовані включення, що пов'язано з особливостями будови волокон різної природи.

Постановка завдання

Однією з основних проблем, що присутня під час сучасного використання пенькового волокна при прядінні його в суміші з іншими волокнами, є складність обробки готових тканин. В першу чергу це неоднорідність відбілювання тканин із суміші волокон, яка виражається присутністю сірих і жовтих вкраплин. Це спричинене природою самого пенькового волокна, яке по природі є грубішим у порівнянні з льоном і бавовною і менше піддається впливу обробки, ніж деякі інші природні і хімічні текстильні волокна.

Існуючі дані свідчать про велику цінність пенькового волокна для тонкотканого прядіння. Відомо, що конопля має тонкі елементарні волокна [1], кількість яких в стеблі перевищує кількість волокон в стеблі льону (табл. 1).

Таблиця 1

Потужність луб'яного шару повздож стебла

Відстань від семидолі, см	Кількість елементарних волокон		Відстань від семидолі, см	Кількість елементарних волокон		Відстань від семидолі, см	Кількість елементарних волокон	
	Для льону	Для коноплі		Для льону	Для коноплі		Для льону	Для коноплі
0.5 мм	155	-	20	-	1509	60	-	1869
0	-	5253	21	648	-	65	-	1876
0.5	174	-	24	677	-	70	-	1964
1	202	-	25	-	1480	75	200	2064
2	93	-	30	624	1541	80	-	1870
4	372	-	35	-	1664	85	-	1885
5	-	3220	40	618	1741	90	-	1933
10	-	1231	45	-	1830	95	-	1691
12	567	-	50	-	1023	100	-	1739
15	585	1407	55	485	1620	-	-	-

Аналізуючи приведені в табл. 1 дані про властивості луб'яних рослин, можна побачити, що число елементарних волокон в стеблах коноплі в деяких випадках в 7–11 разів більше, ніж в стеблах льону. Це свідчить про те, що, якщо досягти більшої подрібненості між пучками елементарних волокон при обробці пенькового волокна, воно буде мати велику цінність для тонкотканого прядіння.

Тому дуже важливим є удосконалення існуючих технологій обробки пенькового волокна для отримання волокон з покращеними прядильними властивостями.

Результати досліджень

Можна зробити припущення, що завдяки новітнім технологіям є можливість на стадії первинної обробки луб'яних волокон провести додаткову обробку пенькового волокна ще перед формуванням суміші волокон і в результаті отримати волокна з поліпшеними прядильними властивостями і достатньою білизною. Це дозволить виключити дефекти при подальшій обробці тканин.

Отже, враховуючи необхідність надання поліпшених властивостей пеньковому волокну, можна припустити, що на стадії первинної обробки необхідно проводити відбілювання тіпаного пенькового волокна з подальшим емульсуванням.

Спираючись на досвід попередніх досліджень деяких вчених [2], можна спрогнозувати, що зріст розщепленості пенькового волокна в результаті додаткової обробки може змінюватись залежно від режимів обробки волокнистого матеріалу.

Ступінь міцності зв'язків, що утримують луб'яні волокна поміж собою характеризується показником розщепленості. Фізична сутність цього показника наступна. Він демонструє, яка кількість елементарних волокон в стеблі має повну відсутність зв'язків з іншими волокнами. В даному випадку, спираючись на дані таблиці 1, максимальним буде показник розщепленості, що дорівнює 5253.

Необхідно відзначити, що під час попередніх досліджень було визначено, що розщепленість вихідного пенькового технічного волокна дорівнює 1934. Це свідчить про те, що зв'язки між елементарними волокнами досить міцні і не повністю зруйновані. Теоретично у волокна з повністю зруйнованими такими зв'язками цей показник дорівнює 5253. Отже, можна припустити, що цей показник змінюється завдяки обробці волокна залежно від концентрації розчину, яким проводять обробку, від свого мінімального значення – 1934, до свого максимуму – 5253. В той же час можна помітити, що яка б не використовувалась концентрація розчину для обробки і які б не було задано параметри процесу обробки пенькового волокна – показник розщепленості не матиме значення більшого за 5253. Це означає, що значення показника розщепленості асимптотично наближається до своєї максимальної величини [3].

При деякій концентрації обробляемого розчину C_1 показник розщепленості буде дорівнювати V_1 .

Слід відзначити, що одночасно в пеньковому волокні залишається певний «залишок розщепленості», що дорівнює:

$$V_{\text{зал}} = V_{\text{max}} - V_i, \quad (1)$$

де $V_{\text{зал}}$ – залишок розщепленості волокна;
 V_{max} – максимальна розщепленість волокна;
 V_i – розщепленість волокна при деякій концентрації обробляемого розчину C_i .
 У цьому випадку показник розщепленості можна визначити таким чином:

$$V_i = V_{\text{max}} - V_{\text{зал}} \quad (2)$$

З формули (2) виходить, що розщепленість і «залишок розщепленості» є зворотно залежними показниками. Під час попередніх досліджень було встановлено, що приріст показника розщепленості на початку процесу значно перевищує аналогічний приріст в кінці. За аналогією це означає, що показник «залишку розщепленості» на початку процесу знижується досить швидко, а ближче до кінця процесу обробки волокна, швидкість його зміни уповільнюється. Значення показника «залишку розщепленості» зменшується від 5253 до 1934.

Зміна «залишку розщепленості» зворотно пропорційна концентрації розчину для обробки пенькового волокна, тобто:

$$V_{\text{зал}}(C) = 1 / f(C), \quad (3)$$

де C – концентрація обробляемого розчину, %.
 Оскільки максимальний показник "залишку розщепленості" дорівнює 5253, то функція матиме вигляд:

$$V_{\text{зал}}(C) = 5253 / f(C). \quad (4)$$

Відзначимо, що знаменник функції не може дорівнювати нулю, тобто функція $f(C)$ має змінюватись лише в інтервалі від 1 (при $C = 0$), до ∞ (при $C \rightarrow \infty$). Це означає, що

$$f(C) = 1 + A \cdot C. \quad (1.5)$$

З наведеної рівності видно, що на початку процесу приготування трести при $C = 0$, $f(C) = 1$, а «залишок розщепленості» дорівнює $(5253 / 1 = 5253)$. Збільшення проміжку часу ($f(C) \rightarrow \infty$) призводить до відповідної зміни «залишку розщепленості» $(5253 / \infty \rightarrow 0)$.

Коефіцієнт A у формулі (5) враховує швидкоплинність процесу і чинники прискорення або уповільнення процесу обробки пенькового волокна. Концентрація розчину для обробки волокна завжди є показником позитивним ($C \in (1; \infty)$), а функція (1.5) при цьому завжди більша за одиницю, тобто $f(C) \neq 0$ [4]. Залежність «залишку розщепленості» від концентрації має вигляд:

$$V_{\text{зал}}(C) = \frac{5253}{1 + A \cdot C}. \quad (6)$$

Підставивши показники $V_{\text{max}} = 5253$ та $V_{\text{зал}}$ з формули (6) до формули (2), отримаємо:

$$V(C) = 5253 - \frac{5253}{1 + A \cdot C} = 5253 \cdot \left(1 - \frac{1}{1 + A \cdot C} \right). \quad (7)$$

Залежність (7) дає можливість попередньо теоретично прогнозувати хід обробки пенькового волокна і встановлювати необхідну концентрацію розчину для обробки волокнистого матеріалу (C) з метою досягнення необхідного оптимального показника якості готової продукції. Отриману залежність можна відобразити графічно (рис. 1). Залежно від коефіцієнта A криві зміни розщепленості пенькового волокна матимуть різний характер.

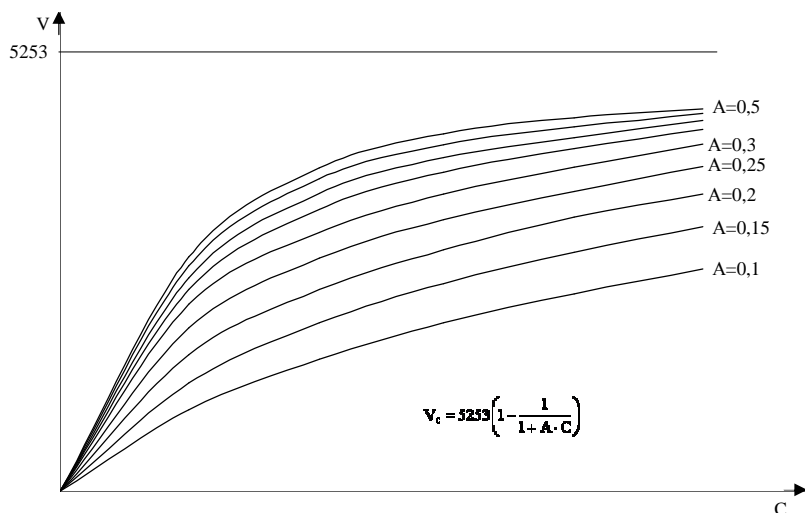


Рис. 1. Криві зміни розщепленості пенькового волокна в процесі його обробки при $A = (0,1 - 0,5)$

З графічної залежності (рис. 1) можна побачити, що в процесі обробки розщепленість пенькового

волокна підвищується зі збільшенням концентрації розчину, яким проводиться обробка.

Отже, теоретично встановлено характер зміни розщепленості пенькового волокна в процесі запропонованої обробки. Визначено, що при обробці пенькового волокна за запропонованою схемою можна очікувати підвищення показника розщепленості волокна, що позитивно відіб'ється на якості волокна і сприятиме його подальшій обробці.

Література

1. Крагельский И. В. Физические свойства луб'яного сырья / Крагельский И. В. [2-е изд. доп. и перераб.]. – М.: Государственное издание легкой промышленности, 1939. – С. 54
2. Валько В.М. Змінювання відокремлюваності волокна при витримуванні зволоженої льносолони без доступу повітря / В. М. Валько // Вісник технологічного університету Поділля. – 2000. – № 1. – С. 46 – 48.
3. Сидоров М. И. Общая технология переработки лубяных волокон: [учебник для сред. спец. учеб. заведений легкой промышленности] / Сидоров М. И., Храмцов В. Н., Алексеева З. Ф. – М.: Легкая индустрия, 1980. – С. 13– 15, 71.
4. Выгодский М. Я. Справочник по высшей математике / Выгодский М. Я. – М.: Изд-во физико-математической литературы, 1963. – С. 243– 496.

Надійшла 13.3.2011 р.

УДК 648.145

Л.С. СТЕПАНОВА, І.А ПІГОЛЬ
Хмельницький національний університет

ДІЯ ДЕНАТУРУЮЧОГО АГЕНТУ НА ПРОТЕОЛІТИЧНУ АКТИВНІСТЬ

Проаналізовано вплив рН середовища та температури на зміну протеолітичної активності нативного і іммобілізованого пепсину, досліджено можливість тривалого використання іммобілізованого ферменту. Показано, що іммобілізований фермент, на відміну від нативного, може використовуватись в більш широкому діапазоні рН середовища без втрати активності, та при більш високих температурах.

The influence on the change of proteolytic activity and immobilized pepsin of pH environment and the temperature are analyzed. The possibility for continued use of immobilized enzyme is investigated. The immobilized enzyme in contradistinction to native one may be used in a wide range of pH without loss of activity and at higher temperatures are shown.

Ключові слова: фермент, іммобілізація, протеолітична активність, субстрат, біологічний каталізатор.

Постановка проблеми

Застосування нативних ферментів у різних галузях промисловості пов'язано з певними труднощами: висока вартість, важкість відділення від реакційного середовища, низька стабільність при зберіганні. Їх можна подолати, якщо іммобілізувати той же фермент на волокнистому носії.

Іммобілізовані ферменти у порівнянні з нативними мають ряд переваг:

- гетерогенний каталізатор легко відділяється від реакційного середовища, що дає можливість зупинити реакцію в будь-який момент, використовувати фермент повторно, а також отримувати чистий від ферменту продукт;
- ферментативний процес з використанням іммобілізованих ферментів можна проводити безперервно, регулюючи швидкість реакції та вихід продукту шляхом зміни швидкості потоку;
- модифікація ферменту цілеспрямовано змінює такі його властивості, як специфічність (особливо по відношенню до високомолекулярного субстрату), залежність каталітичної активності від рН, іонного складу та інших параметрів середовища, стабільність до денатуруючого впливу [1].

Проблема використання біологічних каталізаторів у вигляді ферментів, іммобілізованих на волокнистих носіях, в різних галузях промисловості залишається й досі відкритою. В основному це пов'язано з недостатньою кількістю проведених досліджень. Як у природі, так і на практиці при проведенні будь-яких виробничих, лабораторних та інших процесів на об'єкт дослідження виявляє вплив не один фактор, а комплекс різних факторів. Змінюючи значення цих факторів і комбінуючи їх між собою, отримують зовсім різні результати, тому необхідним при дослідженнях є вивчення взаємодії факторів між собою та об'єктом дослідження, вибір оптимального варіанту.

Крім створення стійких біокаталітичних ферментних систем, важливою задачею інженерної ензимології є вивчення фізико-хімічних властивостей даних систем і розробка наукових основ їх функціонування та використання в різних галузях народного господарства.

Дослідження показали, що фермент, закріплений на твердому носії, стає більш стійким до денатурації. У такого фермента обмежена рухливість білкового ланцюга, його вже не так просто розвернути і порушити цим його каталітично активну структуру. Крім того, носій може сильно впливати на каталітичні властивості ферменту й інколи збільшувати його активність [2].

Для отримання іммобілізованих ферментів використовується обмежена кількість як органічних, так і неорганічних носіїв. До носіїв висуваються наступні вимоги, які наведені у літературі [3]:

- висока хімічна і біологічна стійкість;
- висока хімічна міцність;
- достатня проникність для ферменту і субстратів, пористість;
- велика питома поверхня;
- можливість отримання у вигляді зручних в технологічному відношенні форм (гранул, мембран);
- легка активація;
- висока гідрофільність та невисока вартість.

Як носій для іммобілізації пепсину обрали целюлозну тканину у вигляді медичної марлі, виходячи з ряду переваг, які належать цьому природному полімеру: створення природних умов для роботи ферменту, висока гідрофільність, легкість активації, невисока вартість, доступність, нетоксичність.

Такий біокатализатор можна швидко відділити від реакційного середовища, а також можна використати для створення біореакторів, вистилаючи біологічно-активним волокном внутрішню поверхню реактора.

Для досліджень обрали пепсин, оскільки була розроблена методика його іммобілізації, але не проведене вивчення поведінки, стабільності при впливі на нього різних факторів [4].

Мета дослідження

- порівняти вплив денатуруючого агенту на протеолітичну активність нативного та іммобілізованого пепсину;
- дослідити стабільність іммобілізованого і нативного пепсину до дії таких факторів, як температура та рН, а також, визначити тривалість дії іммобілізованого ферменту.

Основний розділ

Однією із важливих вимог до нерозчинних похідних ферментів є підвищення їх стабільності, в результаті чого можна було б тривалий час використовувати препарат та проводити процеси при більш високих температурах. Це дає можливість контролювати хід та швидкість реакції, якість та вихід продукту. Стабільність ферментів, закріплених на носіях, зазвичай вивчають, піддаючи його дії таких факторів, як температура і рН-середовище, а також впливу водних обробок. Важливим також є визначення тривалості дії іммобілізованого ферменту.

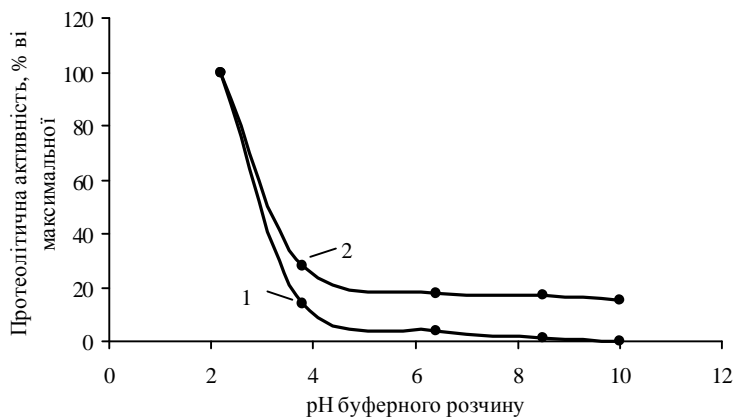


Рис. 1. Вплив рН буферного розчину на протеолітичну активність нативного (1) та іммобілізованого (2) ферментів

Дослідження стабільності ферменту до дії рН буферного розчину проводили при зміні рН від 2 до 10. Активність виражали у відсотках від максимального її значення, яке проявляється нативним та іммобілізованим ферментами. Результати досліджень представлені на рис. 1.

Після витримання нативного та іммобілізованого ферментів в буферному розчині впродовж години їх активність помітно падає, але порівняно з нативним ферментом, активність якого повністю втрачається при рН, починаючи від його значення 8, активність іммобілізованого ферменту в лужному середовищі залишається практично незмінною. Найбільше значення активності, як у нативного так і у іммобілізованого ферменту спостерігається при рН 2,2 буферного розчину, адже пепсин за своєю природою функціонує в кислому середовищі. Значне збереження активності в кислих і лужних середовищах пепсину, іммобілізованого на целюлозному волокні, зумовлене його зв'язуванням водневими і гідрофобними зв'язками, які запобігають розгортанню білкової молекули, тобто денатурації. Крім того, високе збереження активності іммобілізованого ферменту в лужному середовищі свідчить про різке зниження швидкості автолізу в результаті закріплення молекул цього ферменту на полімерному носії [5].

Для вивчення стабільності ферменту до дії підвищених температур сухий нативний фермент та волокно з іммобілізованим на його поверхні ферментом витримували у термостаті впродовж години при температурах: 20°C, 30°C, 40°C, 60°C та 80°C. Потім проводили гідроліз казеїну даними ферментами і визначали протеолітичну активність за методом Ансона. Активність виражали у відсотках від вихідної активності для ферменту закріпленого на носії та нативного ферменту.

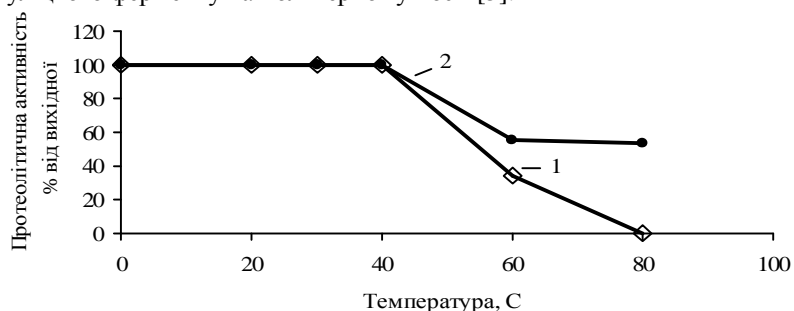


Рис. 2. Вплив температури на протеолітичну активність нативного (1) та іммобілізованого (2) ферментів

Результати досліджень представлені на рис. 2.

Як видно з рис. 2, нативний та іммобілізований ферменти при їх нагріванні впродовж години до 40 °С повністю зберігають свою активність, яка складає 100 % від вихідної. Тут фермент, як речовина, яка синтезується у живих організмах, здатен витримувати підвищення температури до 40 °С, а потім відбувається його денатурація, що зумовлює втрату активності. Але на відміну від нативного ферменту, який повністю інактивується при температурі 80 °С, фермент закріплений на волокнистому носії продовжує зберігати свою активність, яка при 80 °С становить 53 % від вихідної. Підвищення термолабільності пепсину, зв'язаного з целюлозним волокном, слід, знову ж таки, пов'язувати з конформаційними змінами молекул цього ферменту в результаті взаємодії з носієм.

Для визначення тривалості дії (експлуатаційних властивостей) ферменту, закріпленого на модифікованому акриловою кислотою целюлозному волокні, послідовно проводили реакцію гідролізу субстрату.

Зразки волокна з приєднаним до його поверхні пепсином поміщали в розчин субстрату – казеїну для проведення його ферментативного гідролізу. Було проведено 10 циклів гідролізу. Вихідну активність пепсинмістких волокон приймали за 100 %. Результати досліджень представлені на рис. 3.

Значне збереження активності ферменту, закріпленого на носії, як уже неодноразово зазначалося при поясненні впливу ряду факторів на його властивості, пояснюється тим, що завдяки іммобілізації нативна конформація молекули білка стає більш жорсткою за рахунок утворення додаткових зв'язків всередині молекули та між ферментом і субстратом. Саме жорсткість просторової структури молекули ферменту, зменшення ймовірності автолізу, стійкість його до змін рН та підвищених температур, можливість відокремлення ферменту від реакційного середовища дає змогу використовувати такий біокатализатор багаторазово без втрати його активності протягом кількох циклів, що видно з рис. 3а.

В даному випадку іммобілізований на модифікованому акриловою кислотою целюлозному волокні пепсин повністю зберігає свою активність до 7 циклів використання, після чого вона повільно починає падати, але залишається досить високою – близько 90 % на 10-му циклі використання.

Також досліджували вплив багаторазових водних обробок на якісні та кількісні характеристики іммобілізованого пепсину.

З цією метою зразки целюлозного матеріалу, що містить пепсин, витримували в 0,1 М розчині фосфатного буферу з рН 7,5 впродовж 10 хвилин (модуль ванни 100) та віджимали. Після висушування на одних зразках визначали протеолітичну активність, інші знову піддавали вологим обробкам, здійснюючи їх 10 раз. Результати досліджень представлені на рис. 3, б.

З рис. 3 б видно, що фермент, закріплений на носії, витримує до шести водних обробок без втрати активності, потім активність починає зменшуватися і після десятої водної обробки вона становить 83 %.

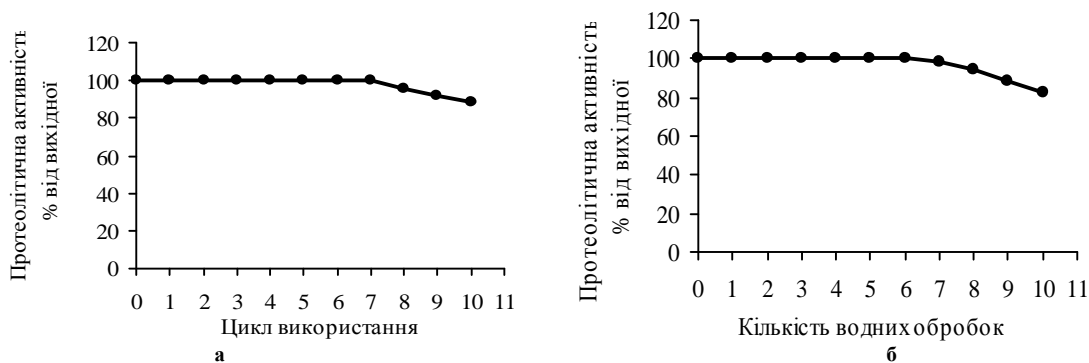


Рис. 3. Зміна протеолітичної активності іммобілізованого пепсину залежно від кількості циклів використання при гідролізі казеїном (а) та водних обробок (б)

Після кожної водної обробки біологічно-активного волокна визначали в буферному розчині кількість пепсину, що відщепився від поверхні біокатализатора, за методом Лоурі та розраховували кількість ферменту, що залишився на волокні. Одержані результати досліджень представлені на рис. 4.

Зменшення активності ферменту пов'язане з тим, що внаслідок багаторазової водної обробки зв'язки між носієм та молекулами ферменту послаблюються, тому певна кількість ферменту відщеплюється від поверхні носія, потрапляючи в буферний розчин. З рис. 4 видно, що кількість ферменту на волокнистому носії після шести водних обробок залишається незмінною, при наступних водних обробках із поверхні носія починає відщеплюватися незначна кількість ферменту, що й викликає зменшення активності останнього.

З отриманих результатів експериментальних досліджень видно, що іммобілізований фермент має більшу стійкість до зміни впливу різних факторів на відміну від нативного ферменту і проявляє при цьому значно більшу здатність до збереження активності. Важливим також є те, що фермент, закріплений на волокнистому носії, можна використовувати багаторазово без втрати активності.

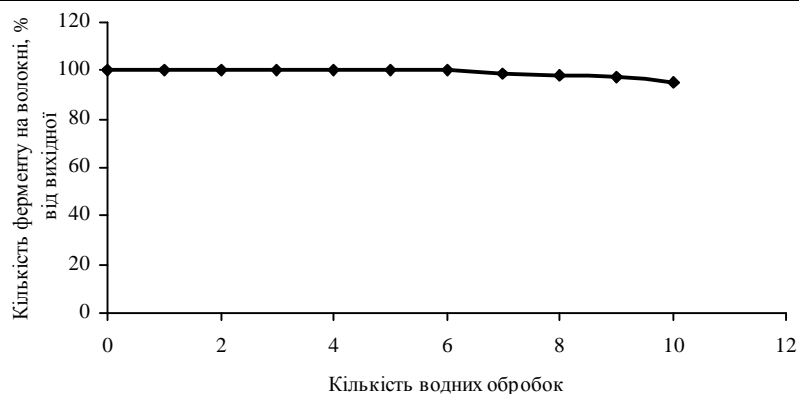


Рис. 4. Вплив водних обробок на кількість ферменту закріпленого на целюлозному носії

Висновки

Імобілізація пепсину на волокнистому носії призводить до більшої стабільності щодо:

- температури,
- рН-середовища,
- тривалості використання (до 10 циклів) без значної зміни протеолітичної активності, як в розчинах субстрату (казеїну), так і водному середовищі.

Література

1. Методи іммобілізації ферментів та використання біокатализаторів: перспективи іммобілізації ферментів [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.window.edu.ru/window/catalog/pdf/2txt/id/> (дата звернення: 04.10.2010).
2. Волков М. И. Биохимия мышечной деятельности / Волков М. И. – К.: Олимпийская литература, 2000. – 502 с.
3. Степанова Л. С. Вплив різних факторів на процес модифікації целюлозної тканини органічною кислотою / Л. С. Степанова, Ю. В. Жак // Вісник ХНУ. – 2006. – № 4. – С. 211– 215.
4. Степанова Л. С. Дослідження впливу субстрату на активність іммобілізованого пепсину / Л. С. Степанова, І. А. Піголь // Вісник ХНУ. – 2010. – № 2. – С. 240– 244.
5. Мосолов В. В. Нерастворимые ферменты, их получение, свойства и применение / В. В. Мосолов // Успехи биологической химии. – 1973. – Т. 14. – С. 146– 171.

Надійшла 18.3.2011 р.

УДК 664.8

Т.С. ЯРОШЕВИЧ

Луцький національний технічний університет

СУЧАСНІ МЕТОДИ ДІАГНОСТУВАННЯ КАРТОПЛЯНОЇ ХВОРОБИ ХЛІБА ТА ЗАСОБИ ЗАПОБІГАННЯ ЇЇ РОЗПОВСЮДЖЕННЮ

Досліджено фактори, які впливають на виникнення й розвиток картопляної хвороби хліба. Наведено методику виявлення збудника хвороби у борошні, а також засоби раннього діагностування картопляної хвороби та шляхи запобігання розвитку хвороби з точки зору технології виготовлення хліба й додержання санітарного становища складських приміщень, обладнання, транспортних засобів.

The factors that influence the occurrence and development of potato diseases bread. The method of detection of causative agent in the flour, and the means of early diagnosis of potato diseases and ways to prevent disease development in terms of food production technology and observance of sanitary status of storage facilities, equipment and vehicles.

Ключові слова: бактерія картопляна паличка, спори, картопляна хвороба, мезофільні та концентровані молочнокислі закваски, пробна випічка, якість хліба.

Вступ

В сучасних умовах, коли вимоги до якості хлібобулочних виробів систематично зростають, питання якості борошна набуває ще більшого значення, ніж раніше [1, 2]. Особливо актуальним є питання зараження борошна бактерією *B. Subtilis ssp. Mesentericus* – картопляною паличкою, яка останніми роками створює велику проблему борошномельним підприємствам та хлібозаводам, викликаючи картопляну хворобу хліба. Бактерія картопляна паличка дуже розповсюджена у природі. Вона знаходиться у ґрунті, у повітрі, на рослинах, й на поверхні зерна.

Постановка завдання

Проблема полягає у тому, що на більшості зернопереробних підприємств з економічних міркувань відмінили операцію миття зерна перед помелом (згідно з Правилами проведення технологічного процесу на млинах, ця операція є обов'язковою), його піддають лише зволоженню [1]. У результаті, під час

розмелювання зерна бактерії та їх спори потрапляють до борошна. У хлібному виробі за сприятливих умов термолабільні спори бактерій картопляної палички швидко розмножуються, уражаючи його картопляною хворобою. Найчастіше спалахи хвороби відбуваються у весняно-літній період. Особливо уразливим є хліб з пшеничного борошна 2-го сорту, а також виробі, до рецептури яких включено висівки. Хліб, виготовлений з вищих сортів пшеничного борошна, менше уражається картопляною хворобою, що пояснюється практичною відсутністю у борошні периферійних частинок зернівки, які є первинними носіями картопляної палички. Хвороба майже не вражає житній хліб, оскільки кисла реакція середовища пригнічує розвиток бактерій.

Сама картопляна паличка не є патогенною для людського організму й вживання хліба, виготовленого з борошна, у якому вона присутня, до розвитку симптомів псування хліба (фруктові відтінки у ароматі, початкові зміни в м'якуші) є безпечним і припустимим. Хліб стає шкідливим й непридатним для споживання лише після розвитку картопляної хвороби внаслідок накопичення продуктів життєдіяльності картопляної палички – токсичних продуктів розпаду білка. Такий хліб провокує у людини порушення функцій шлунково-кишкового тракту.

Питання щодо використання хліба, ураженого картопляною хворобою, на відгодівлю тварин у кожному окремому випадку вирішують органи ветеринарного нагляду. Хліб, який не може бути використаний для кормових і технічних цілей, підлягає актуванню й знищенню спалюванням або закопуванням в ґрунт на глибину не менше 1м.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання споживної цінності хлібобулочних виробів завжди в достатній мірі розглядалося багатьма дослідниками, зокрема, в роботах [2– 4]. У роботі [2] авторами детально розглянуті чинники, що погіршують споживні властивості зерна, у тому числі, недотримання відповідних заходів агротехніки вирощування зернових, наслідки забруднення зерна шкідниками й розвитку небажаних мікроорганізмів у зерновій масі. На сьогодні саме проблема безпеки хліба стає актуальною, тому є потреба в узагальненні результатів досліджень, пов'язаних з причинами, механізмом розвитку картопляної хвороби, методами її виявлення.

Формування цілей статті

Метою роботи є проведення аналізу досвідів діагностування картопляної хвороби хліба, надання практичних рекомендацій щодо запобігання зараженню хліба з точки зору зберігання й переробки зерна та технології виготовлення і зберігання хліба до реалізації.

Виклад основного матеріалу досліджень

Останніми роками в Україні спостерігається значне погіршення якісних показників зерна та борошна [2– 4]. Серед основних причин низької якості борошна можна назвати порушення санітарних і технологічних режимів зберігання та переробки зерна, розвиток у зерновій масі мікроорганізмів, зокрема, картопляної палички, яка провокує зараження хліба на картопляну хворобу.

Термостійкі спори картопляної палички витримують температуру близько 120°C протягом 1 год та знешкоджуються за 100°C лише через 6 год. Тобто спори залишаються життєздатними під час випікання хліба, адже, м'якуш хліба з пшеничного борошна під час випічки прогрівається до 97°C. Далі, у процесі зберігання хліба спори за сприятливих умов утворюють бактеріальні клітини й відбувається інтенсивне розмноження бактерій картопляної палички. Для інтенсивного розвитку хвороби необхідні рН середовища у межах 5– 8, достатня вологість хліба, та його зберігання не менше 48 год за температури 30– 35°C.

Під впливом активних амілолітичних ферментів палички, у хлібному виробі зростає кількість декстринів, які надають м'якушу липкості; під впливом протеолітичних ферментів палички утворюються продукти розкладу білків, характерні специфічним запахом. Уражений хліб на початку хвороби набуває слабого фруктового запаху, поодиноких сіруватих липких плям у м'якуші. З подальшим розвитком хвороби м'якуш починає тягнутися сріблястими липкими нитками, запах посилюється, причому в ньому з'являється неприсмний гнилісний відтінок. Далі м'якуш перетворюється на слизисту масу з нестерпним запахом гнилі.

Методика визначення наявності та кількості у борошні пшеничному 2-го сорту бактерій картопляної палички оснований на висіванні розведень певної кількості продукту в селективне агаризоване середовище, культивуванні посівів у чашках Петрі за температури 24±1°C протягом 120 год, візуальному підрахунку всіх колоній картопляної палички і перерахунку їх кількості на 1 г продукту. Колонії картопляної палички на агарі різноманітні за формою та видом, але найчастіше мають вигляд слизисто-складчастих з шкірястою плівкою та більш сухих, зморшкуватих, сірувато-білого чи кремового забарвлення. Вони не врастають в агар, активно розріджуючи желатин.

Для запобігання розвитку картопляної хвороби, пшеничне борошно повинно бути дослідженим на зараженість картопляною паличкою шляхом пробної лабораторної випічки хліба за ГОСТ 27669-88 «Мука пшеничная. Методы пробной лабораторной выпечки хлеба». Методика дослідження полягає у наступному. Випечений формовий хліб через 1,5– 2 год обгортають подвійним шаром вологого пористого паперу й витримують 24 год. у термостаті за температури 36– 38°C та відносної вологості повітря 83– 87 %. Далі хліб розгортають, розрізують та досліджують щодо наявності первинних ознак захворювання.

Результат дослідження борошна заносять у якісне посвідчення з зазначенням часу прояву картопляної хвороби, при цьому вказують: «Хліб захворів на картопляну хворобу через 24 год» або «Хліб не

захворів на картопляну хворобу через 24 год». Перевірку повторюють через 36 год.

Для раннього діагностування картопляної хвороби використовують люмінесцентний метод, що полягає у опроміненні м'якуша чи борошняної бовтанки ртутно-кварцевою лампою з ультрафіолетовим фільтром. При цьому колонії картопляної палички набувають яскраво-жовтого забарвлення і стають чітко помітними.

Оскільки одним з наслідків картопляної хвороби є зменшення в м'якуші кількості органічних кислот (зокрема маленової), наявність хвороби можна встановити методом хромато-мас-спектрометрії.

Для запобігання зараженню хліба на картопляну хворобу, з точки зору технології виготовлення хліба [4], доцільно підвищувати кислотність тіста у межах 1 град., наприклад, використовуючи мезофільні закваски, виготовлені на чистих культурах *L. Plantarum-30* з кислотністю 16–18 град. або на чистих культурах *L. Fermenti-27* з кислотністю 25–28 град. та інші види заквасок – пропіоновокислу, ацидофільну чи комплексну.

Бездріжджові пшеничні закваски сприяють інтенсифікації технологічного процесу, покращанню мікробіологічної чистоти хліба, пригнічують розвиток у хлібі мікрофлори, що викликає захворювання на картопляну хворобу. При переробленні пшеничного борошна II сорту чи оббивного, підвищення кислотності тіста шляхом внесення заквасок (або інших підкислювачів) сприяє покращанню набрякання оболонкових частинок у борошні. При використанні підкислюючих заквасок тісто збагачується не лише кислотами, але й водорозчинними білками, вуглеводами, а також ароматичними сполуками, що сприяє покращанню стану м'якуша хліба, його смакових якостей. Кислотність виробів підвищується приблизно на 1 град., порівняно зі звичайною нормою.

Дослідним шляхом встановлено, що у літній період підвищення кислотності тіста шляхом внесення мезофільної молочнокислої закваски (ММКЗ) є найдоцільнішим технологічним заходом для підвищення стійкості хліба до картопляної палички [4]. Закваска являє собою напівфабрикат вологістю 68–72 % з кінцевою кислотністю 20–25 град. У циклі розведення приготування ММКЗ використовують чисті культури молочнокислих бактерій *L. Fermenti 27*. У виробничому циклі живильне середовище готують із борошна I або II сорту. Закваски виброджують за температури 35–37°C протягом 8–24 год до кислотності 20–25 град. Термін виброджування залежить від кількості закваски і сорту борошна. В опару ММКЗ вносять у кількості 4–6 %, в разі внесення її в тісто – 6–8 % до маси борошна.

Концентрована молочнокисла закваска (КМКЗ) має вологість 63–66 %, кінцеву кислотність – 14–18 град. У циклі розведення можна використовувати чисті культури молочнокислих бактерій *L. Plantarum-30*, *L. Brevis-1*, *L. Fermenti-34*, *L. Casei-26*, або лише дві останні культури у вигляді рідини чи сухого лактобактерину, який є сумішшю цих культур. КМКЗ слід додавати під час приготування опари у кількості 4–5 % від маси борошна у тісті. Якщо тісто виготовляється у безопарний спосіб, закваску вносять у кількості 8–10 % від маси борошна, витраченого на приготування тіста.

Крім зазначених заквасок, для підвищення кислотності напівфабрикатів в межах 1 град., можна використовувати достиглі опару чи тісто, згущену молочну сироватку кислотністю 450–500°Т, а також розчини, що містять одну з харчових органічних кислот: лимонну, яблучну, молочну, оцтову.

Потрібну кількість кислоти (G_k , кг) визначають за формулою:

$$G_k = \frac{(G_m \cdot K - G_n \cdot K_1 - G_o \cdot K_2) \cdot 1000 \cdot T}{M}, \quad (1)$$

де G_m – маса тіста, кг (визначається розрахунковим шляхом за рецептурою);

K – задана кислотність тіста, град.;

G_n – маса опари чи закваски, кг;

K_1 – кінцева кислотність опари або закваски, град.;

G_o – маса борошна, витраченого на приготування тіста, кг;

K_2 – кислотність борошна, град.;

T – титр кислоти, г/см³: молочної – 0,09, лимонної – 0,07, оцтової – 0,06;

M – вихідна концентрація кислоти за якісним посвідченням або за етикеткою на упаковці, %.

Необхідну для підвищення кислотності тіста в межах 1 град. кількість сироватки ($G_{сир}$), визначають за формулою:

$$G_{сир} = \frac{G_m \cdot K - G_o \cdot K_o}{K_{сир}}, \quad (2)$$

де $K_{сир}$ – кислотність сироватки, град. або 0, 1°Т.

З метою попередження розвитку картопляної хвороби хліба можна застосовувати пропіоновокислу закваску, виготовлену на пропіоновокислих бактеріях штаму *BKM-103*. Живильним середовищем для її приготування є борошняна заварка. Пропіоновокислі бактерії накопичують у живильному середовищі пропіонову і мурашину кислоти, які є ефективними інгібіторами розвитку споривих бактерій. Поряд з цим, у заквасці накопичується вітамін B_{12} . Кислотність цієї закваски становить 12–16 град.

Здатність до пригнічення розвитку споривих бактерій має ацидофільна закваска, яка містить

культуру бактерій *L. Acidophilus-146* (ацидофільна паличка) і дріжджі штаму *Рязанські-17*, адаптовані до підвищених температур (40– 45°C). Кислотність ацидофільної закваски становить 9– 10 град. Її рекомендується застосовувати під час виготовлення виробів з підвищеним вмістом цукру та жирів. Крім того, ацидофільна закваска сприяє покращенню структурно-механічних властивостей тіста та стану м'якуша виробів.

Комплексна закваска, яка містить штами пропіоновокислих і молочнокислих бактерій та дріжджів, також має здатність пригнічувати розвиток спорових бактерій. Кислотність комплексної закваски становить 10-12 град.

На розповсюдження картопляної палички значно впливає порушення санітарних і технологічних режимів зберігання та переробки зерна й борошна, а також умов зберігання хліба до реалізації. У зв'язку з цим, велике значення має дотримання вимог санітарних та технологічних інструкцій [5], діючих у елеваторній, борошномельній, хлібопекарній галузях промисловості, а також у торгівлі.

Висновки

Підприємства з виготовлення хлібопродуктів повинні мати лабораторію для контролю якості сировини, зокрема, борошна щодо наявності у ньому картопляної палички. У разі неспроможності здійснення такого дослідження, слід передбачити можливість відсилання проб борошна у профільні лабораторії міста (району). Крім того, на місцях потрібно обов'язково проводити пробну випічку хліба за ГОСТ 27669-88.

Під час вимушеного використання у технологічному процесі борошна, у якому присутня картопляна паличка, доцільно за допомогою рекомендованих заходів підвищувати кислотність тіста у межах 1 град. та досліджувати випечений хліб на наявність захворювання. У разі успішного завершення дослідження, такий хліб слід рекомендувати для швидкої реалізації.

На підприємствах-виробниках і у місцях реалізації хлібобулочних виробів необхідно стежити за санітарним станом складських приміщень, комунікацій, обладнання, транспортних засобів і в разі потреби своєчасно проводити їх дезинфекцію з наступним бактеріологічним контролем. Заражений хліб повинен бути негайно видаленим із загальної маси виробів.

Дотриманням даних рекомендацій цілком реально захистити споживача від неякісного хліба, а виробничі та торгівельні підприємства – від значних економічних втрат.

Література

1. Брасалин С. Замечания по проекту Технического регламента о требованиях к безопасности продуктов переработки зерна, процессов их производства, хранения, перевозки, реализации, утилизации / С. Брасалин // Хлебопродукты. – 2009. – № 8. – С. 16– 17.
2. Продовольственное зерно: качество и безопасность: [монографія] /под ред. Н. А.Рябенко]. – Донецьк: ДонНУЕТ, 2009. – 778 с.
3. Черных С. А. Невидимые враги хранящегося зерна / С. А. Черных, Н. В. Карнаухова // Хранение и переработка зерна. – 2001. – № 9.
4. Коломникова Я. П. Технологические приемы по предупреждению заболеваний хлебобулочных изделий / Я. П. Коломникова // Хлебопродукты. – 2009. – № 3. – С. 51– 53.
5. Інструкція щодо попередження картопляної хвороби хліба / Міністерство аграрної політики України, Державна акціонерна компанія «Хліб України». – К., 2003. – 23 с.

Надійшла 22.3.2011 р.

УДК 004.932 + 004.931

О.А. РЕМІННИЙ

Вінницький національний технічний університет

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ КРУГОВИХ БІНАРНИХ ОБЧИСЛЕНЬ ДЛЯ ПОШУКУ ЕЛЕМЕНТІВ В БАЗАХ ДАНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

В даній роботі наведено вперше методику пошуку елементів в базах даних зображень за допомогою методу кругових бінарних обчислень. Методика тестується на базі даних логотипів автомобілів. Наведено переваги та недоліки застосування даного методу для розв'язання даної задачі, запропоновані наступні кроки для вдосконалення вихідного методу.

In this paper the technique for items search in image database using circular binary calculations algorithm is proposed. The technique is tested on a database with car logos. Advantages and disadvantages of this method for solving the problem are shown, also the further steps for improving the original method are proposed.

Ключові слова: база даних, зображення, метод кругових бінарних обчислень.

Вступ

Високий ступінь інформатизації суспільства призводить до того, що в будь-якій сфері діяльності людини накопичується велика кількість цифрових даних, придатних до сортування та каталогізації з метою подальшого прискорення пошуку потрібної інформації. В цій роботі розглядається задача пошуку зображення за заданим шаблоном в базі даних зображень. Як приклад може бути запропонована база даних зображень торгових марок. В кожній країні існує власний каталог логотипів. При подачі нової заявки важливо, щоб нова торгова марка, назва, логотип були унікальними, інакше це може спричинити певні конфліктні ситуації між компаніями, що володіють цими торговими марками.

Дана задача широко розглядається в літературі. В [1] описані методи, за якими різні характеристики екстрагуються зі вхідного зображення, а потім порівнюються з шаблоном. Велика кількість публікацій присвячена оптимізації часу або точності методів [2– 4], немало з них працюють як з вхідними даними саме з базами логотипів [2].

За наявності великих кількостей елементів в сучасних базах даних важливо, щоб час пошуку схожих торгових марок (логотипів) був мінімізований.

В [5] запропоновано метод класифікації зображень на основі аналізу форми шуканих об'єктів. Основною перевагою над представленими методами є швидкість обробки вхідного зображення, коли для виділення інформації про все зображення достатньо зробити лише один прохід через всі пікселі. Крім того, мінімальною є і кількість даних, яка буде порівнюватись з еталонами, що також призводить до виграшу в швидкодії.

Метою даної статті є використання переваг методу кругових бінарних обчислень для пришвидшення пошуку логотипу в базі даних зображень.

Обробка зображень завжди пов'язана зі значними апаратними затратами. В задачі класифікації зображень ці апаратні затрати можна поділити на два типи: затрати, пов'язані з виділенням об'єкту на фоні, та затрати на класифікацію виділеного об'єкту. В межах даної задачі – пошуку зображень логотипів – можна сказати, що попередній етап можна відкинути – зображення подаються на білому або прозорому фоні, інакше фон є частиною зображення. Тому можна одразу переходити до класифікації.

До проблем, які є вторинними при розпізнаванні, можна віднести віддаленість та кут повороту об'єктів. В даному випадку масштаб логотипу не має значення, так як більш важливим є геометричне співвташування елементів.

Вхідними даними для даної задачі буде база даних зареєстрованих логотипів та набір тестових логотипів для додавання в систему. Задача роботи – швидко відсіяти частину логотипів з бази даних, які не є схожими на тестові.

Математична модель

В [4] наведено варіант збору інформації про форму об'єкту за допомогою методу бінарних кругових обчислень. Наведемо коротку суть даного методу.

Спочатку знаходиться центр мас чорно-білого зображення предмету за формулою (1) – він і буде центром кола.

$$\begin{cases} X = \frac{x_1 \cdot m_1 + x_2 \cdot m_2 + \dots + x_n \cdot m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} \\ Y = \frac{y_1 \cdot m_1 + y_2 \cdot m_2 + \dots + y_n \cdot m_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} \end{cases}, \quad (1)$$

де x_i, y_i – координати точки з масою m_i .

Оскільки вхідний файл ми вважаємо бінарним, кожна точка може приймати лише забарвлений

($m_i = 1$) або незабарвлений ($m_i = 0$) стан.

Для знаходження радіусу кола, в який буде вписано об'єкт, запропоновано наступний метод. Від центру мас в k напрямках будуються вектори. Потім обирається m підмножина векторів з найдовшою довжиною проходження через об'єкт (через точки, які є забарвленими). Значення довжини радіусів знаходиться як:

$$R = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m r_i, r_i \in (O(n))_m \quad (2)$$

Для знаходження радіусу кожного додаткового кола всередині зовнішнього використовується формула:

$$R_i = R_{i-1} \cdot \cos(45^\circ), \quad (3)$$

де R_i – радіус шуканого внутрішнього кола;

R_{i-1} – радіус попередньо обчисленого кола.

Об'єкт кола представимо у вигляді залежності від пікселів, що йому належать:

$$C(P) = \frac{\sum P_{i,j}}{\sum P_{i,j} |_{p=1}}, \quad (4)$$

де $p_{i,j}$ – піксель, що належить колу;

$p=1$ – забарвлений піксель.

Залежно від кількості класів об'єктів та їх складності вводиться будь-яка кількість внутрішніх кіл як характеристик – $C(P_1), C(P_2), C(P_3) \dots C(P_n)$. Даний варіант значно швидший за інші методи виділення місцевих особливостей об'єкту [1].

Результати аналізу конкретного $C(P_i)$ об'єкту порівнюватимуться з еталонними $C(P_i)$ значеннями для кожного з класів, в результаті чого знаходитимуться найбільш відповідні класи.

Методика пошуку зображень

Суть запропонованої методики зводиться до наступних етапів:

- при додаванні нового логотипу в базу даних крім інших операцій також відбувається прогонка зображення через вище описаний алгоритм для пошуку $C(P_1) \dots C(P_n)$. Надалі ці числа додаються до бази даних логотипів як складові;

- при реєстрації нового логотипу для пошуку схожих в базі даних також відбувається пошук $C(P_1) \dots C(P_n)$;

- знаходяться пари чисел $[C(P_1)_{\min}, C(P_1)_{\max}] \dots [C(P_n)_{\min}, C(P_n)_{\max}]$ для нового логотипу за формулою:

$$C(P_i) = \begin{cases} C(P_i)_{\min} = \frac{C(P_i)}{k} \\ C(P_i)_{\max} = C(P_i) \cdot k \end{cases}, \quad (5)$$

де k – коефіцієнт розширення меж для пошуку. Даний коефіцієнт пропонується встановити експериментально.

Зображення з бази вважається схожим з тестовим при виконання наступної умови:

$$\begin{cases} C(P_i)_{\min} < C(P_i)_{db} \\ C(P_i)_{\max} > C(P_i)_{db} \end{cases}, i = 1, \dots, n, \quad (6)$$

де індекс db вказує на дані зображення, взятого з бази даних.

Для проведення експерименту була сформована база даних зображень. Оскільки це початковий опис концепції, до бази ввійшло 100 зображень торгових марок, знайдених в мережі Інтернет.

Приклади цих марок наведені на рис. 1. Як тестові приклади, було додано ще десять зображень, які були схожими на оригінальні за певними параметрами (рис. 2).



Рис. 1. Приклади зображень бази даних



Рис. 2. Приклади зображень тестових даних

Для всіх наведених випадків важливо, щоб чітко були виділений фон та зображення на ньому. Основною проблемою наведених зображень є наявність градієнтів. На етапі автоматичної бінаризації навіть візуально дуже схожі зображення стають зовсім іншими. Тестування алгоритму на небінаризованих зображеннях не принесло результату через цю проблему.

Наступним кроком була ручна бінаризація зображень. За основу було прийнято 40 різних зображень автомобільних марок, бінаризованих вручну. Приклади наведені в табл. 1.

Загалом всі зображення автомобільних торгових марок мають багато спільних ознак. Цікавим кроком китайської автомобільної промисловості є копіювання загальних рис логотипів відомих західних брендів. Також було досліджено різні варіації логотипів одного виробника. Приклади таких копіювань наведені на рис. 4, зображення – в базі.

Як видно з наведених прикладів, різниця між лого не визначається лише насиченістю областей обробки зображення. Це є першим потенційним викликом для обробки. Візуальні елементи є часто схожими, однак мають різну товщину, а за наявності градієнтних заливок – і колір, як це видно, наприклад, для варіанту а рис. 3.

Елементи з колонки 1 були внесені в базу даних програми обробки, рисунки з колонки 2 використовувались як тестові. В колонках 3 та 4 винесено результати роботи програми при коефіцієнті розширення меж пошуку $k=0,7$. При збільшенні числа k втрачались зразки, які були очевидними в схожості (за еталон було обрано рядки g, i, k та їх коректно розпізнані аналоги), при зменшенні k відбувалось збільшення числа некоректно опізнаних логотипів. Число значимих кіл в експерименті $n = 3$.

Таблиця 1

Тестування роботи методики при роботі з автомобільними логотипами

	Зображення в базі	Зображення для тестування	Знайдені схожі зображення	Помилково знайдені схожі зображення
а				
б				
в				
г				
д				
е				
є				
ж				
з				
і				
к				

Додатково потрібно звернути увагу на те, що логотипи однієї і тієї ж компанії можуть значно відрізнятися. Якщо звернути увагу на рядок г або рис. 3, то можна побачити, що одна і та ж символіка присутня і в тестовому логотипі, і в логотипі з бази даних, однак схожість за даним методом між ними не встановлена. Якщо розглянути ці зображення, як пропонує метод – вписані у коло при $n = 3$, то можна

візуально побачити (рис. 3), що кількість зафарбованих пікселів у зовнішньому колі значно більше у варіанті а, ніж в б.



Рис. 3. Бінаризовані маски елементів

Зображення на рисунку 3 наводить на думку про проведення експерименту з модифікацією формули (6) методики, коли

$$i = 0..m, m < n. \quad (7)$$

Висновки

В даній статті вперше запропоновано методику пошуку цільового елементу в базі даних зображень з використанням методу кругових бінарних обчислень. Результати вказують на два основних нюанси роботи – високу швидкість, що забезпечується використанням алгоритму методу, і відносно невисоку стійкість, що можна спостерігати через великий відсоток некоректно класифікованих зображень. Тому потрібне внесення додаткових модифікацій в алгоритм для підвищення його стійкості. Як основа для подальшої роботи є включення до початкового методу поняття осі симетрії зображення та густини зображення в області осі симетрії. Це дещо збільшить час обробки зображень, однак також вплине і на його точність.

Література

1. Trier O. Feature extraction methods for character recognition – a survey/ O. Trier, A. Jain, T. Taxt // Pattern Recognition. – Vol. 29, No. 4. – 1996. – pp. 641-662.
2. Ravela S. Retrieval of trademark and gray-scale images using global similarity // S. Ravela, R. Manmatha and W. Bruce Croft // In Proc. 12th Int. Conf. on Pattern Recognition. – 1999. – pp. 459 – 464.
3. Agarwal S. Learning a sparse representation for object detection/S. Agarwal, D. Roth // In Proc. ECCV. – Vol.4. – 2002. – P.113– 130.
4. Mikolajczyk K. Shape recognition with edge-based features/ Mikolajczyk K., A. Zisserman, C. Schmid // Proceedings of the British Machine Vision Conference. – 2003.
5. Kvetny R.N. Binary circular calculations method for the objects classification using their form/ Kvetny R.N., Reminnyi O.A // Aplikovane vedecke novinki. – 2009. – P 54 – 60.

Надійшла 22.3.2011 р.

УДК 681.31

І.З. ЯКИМЕНКО

Тернопільський національний економічний університет

ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ОСНОВИ СТРУКТУРИЗАЦІЇ ТА ОПРАЦЮВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ ПОТОКІВ В КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖАХ

В статті проаналізовано та досліджено системні характеристики, архітектури та трафіки комп'ютерних мереж, продуктивність на низовому рівні системи. Також вказані основні переваги архітектур та трафіків комп'ютерних мереж на основі оцінки їх емерджентності.

This article analyzes and studies the system characteristics, architecture and traffic computers networks, performance grassroots system. Also listed the main benefits of computers networks, architectures and traffic based on their assessment emerzhmentnosti.

Ключові слова: системні характеристики, продуктивність системи, архітектури та трафіки комп'ютерних мереж.

Вступ

Створення розвинуеного і захищеного інформаційного розвитку суспільства є невід'ємною умовою розвитку суспільства та держави. Глибока структура та технологічна реформа, що проходить сьогодні в Україні, спрямована на впровадження низки важливих автоматизованих інформаційних систем і мереж зв'язку, телекомунікаційних систем, систем прийняття рішень та ін.

Важливим аспектом розвитку досліджень в цій галузі є врахування принципових нових відмінностей між комп'ютеризованими системами і комп'ютерними мережами. Оскільки виходячи з

визначення комп'ютерної системи як взаємодії сукупності системних об'єктів, які як показано в роботах американського вченого Дж. Мартіна та українських вчених (О.В. Палагіна, В.А. Стеклова, В.М. Локазюка, Я.М. Николайчука) включають для комп'ютеризованих систем п'ять системних об'єктів: Р – процесори, Д – дані, СПД – систему передавання даних, О – оператори і ОУ – об'єкти управління. При цьому комунікаційним компонентом комп'ютеризованих систем є комп'ютерні мережі, які в склад своїх компонентів включають процесори, дані і СПД. Причому характеристики комп'ютерних мереж та функціональні характеристики операторів проектуються виходячи з проблемної орієнтації та спеціалізації реальних об'єктів управління, для якої проектується і застосовується розподілення комп'ютеризованих систем.

Постановка задачі

Основним завданням даної статті є дослідження:

- 1) системних характеристик, класифікацій архітектур та трафіків комп'ютерних мереж;
- 2) продуктивності системи низовому рівні КС;
- 3) основних аналітичних моделей характеристик системних об'єктів комп'ютерної мережі, які є базою для теоретичної формалізації руху інформаційних потоків.

Класифікація архітектур та трафіків в комп'ютерних мережах

Дослідження та аналіз архітектур розподілених комп'ютерних систем, які використовуються в локальних, проблемно-орієнтованих та спеціалізованих комп'ютерних мережах [2, 3, 7, 9, 11], дозволяють визначити наступні класи їх архітектур представлених в табл. 1, до яких належать однорівнева, багаторівнева, безпроводна, з відкритим оптичним каналом [14]. Основним показником ефективності архітектур розподілених комп'ютерних систем є коефіцієнт емерджентності, який визначається згідно з рівнянням 1.

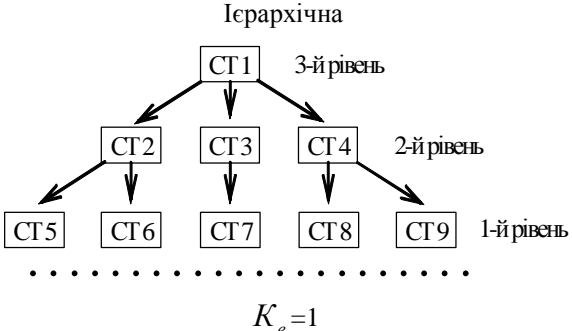
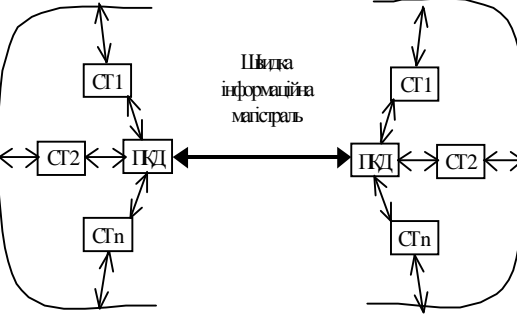
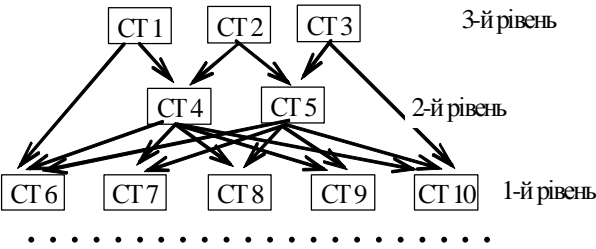
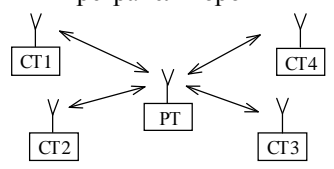
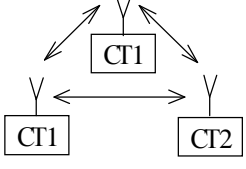
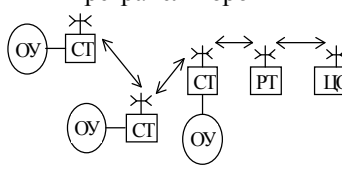
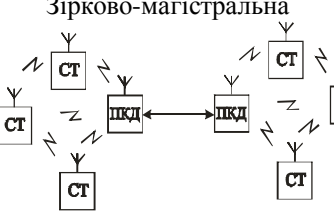
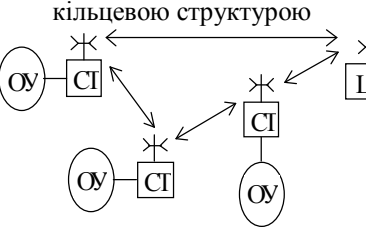
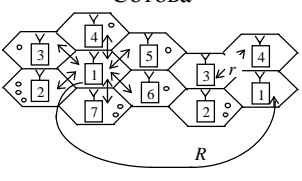
$$K_e = \frac{n_z}{n_e}, \tag{1}$$

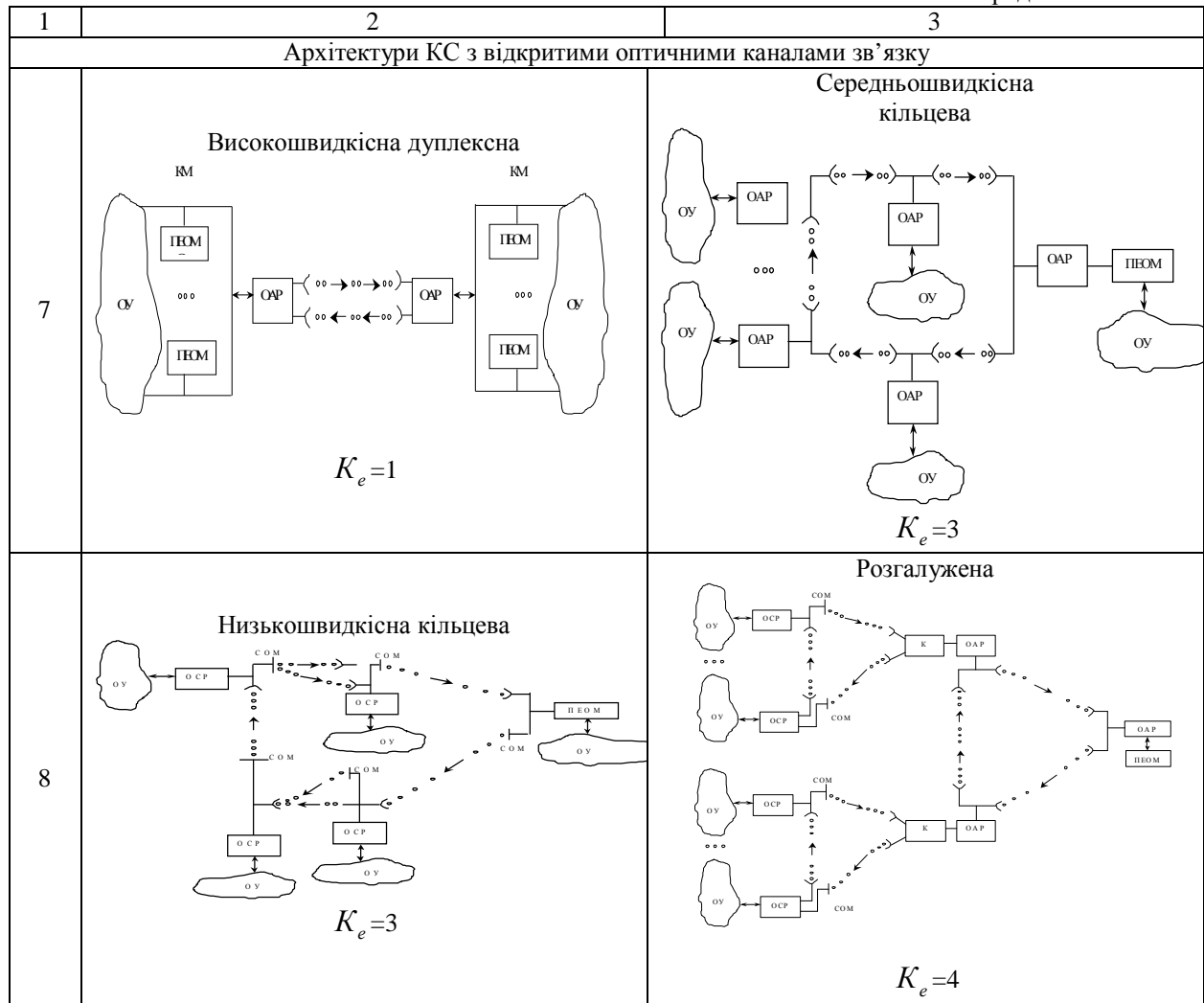
де n_z – число зв'язків, n_e – число компонентів.

Таблиця 1

Класифікація типів та архітектур комп'ютерних систем

№	Тип та архітектура КС	
1	2	3
Однорівневі архітектури		
1	Зіркова	Моноканал
	<p style="text-align: center;">$K_e = 3$</p>	<p style="text-align: center;">$K_e = 1$</p>
2	Систолічна	Кільцева
	<p style="text-align: center;">$K_e = 10$</p>	<p style="text-align: center;">$K_e = 1$</p>

1	2	3	
3	<p style="text-align: center;">Багаторівневі архітектури</p> <p style="text-align: center;">Ієрархічна</p>  <p style="text-align: center;">$K_e = 1$</p>	<p style="text-align: center;">Зірково-магістральна</p> <p>Множонал</p>  <p style="text-align: center;">$K_e = 10$</p>	
4	<p style="text-align: center;">Мережно-ієрархічна</p>  <p style="text-align: center;">$K_e = 10$</p>		
5	<p style="text-align: center;">З пасивним ретранслятором</p>  <p style="text-align: center;">$K_e = 3$</p>	<p style="text-align: center;">Безретрансляційна</p>  <p style="text-align: center;">$K_e = 10$</p>	<p style="text-align: center;">З активним ретранслятором</p>  <p style="text-align: center;">$K_e = 4$</p>
6	<p style="text-align: center;">Зірково-магістральна</p>  <p style="text-align: center;">$K_e = 10$</p>	<p style="text-align: center;">З активним ретранслятором та кільцевою структурою</p>  <p style="text-align: center;">$K_e = 6$</p>	<p style="text-align: center;">Сотова</p>  <p style="text-align: center;">$K_e = 6$</p>



З таблиці 1 видно, що найкращими показниками емерджентності характеризуються наступні архітектури: мереживо-ієрархічна; систолічна; безпровідна безретрансляційна; безпровідна зірково-магістральна; зірково-магістральна. На рис. 1 показана гістограма коефіцієнтів емерджентності різних типів архітектур КС.

В роботах [2, 3, 11] показано, що найбільш перспективною архітектурою КС, в якій доцільно використовувати спецпроцесори та АЦК є безпровідна зірково-магістральна архітектура. Ефективність трафіку передавання даних досліджуваним класом СП при реалізації різних процедур доступу до віддаленого концентратора даних досліджено в роботах [12, 13] (рис. 1).



Рис. 1. Ефективність мережних архітектур за параметром емерджентності. Однорівневі: 1 – зіркова; 2 – моноканал; 3 – кільцева; 4 – систолічна. Багаторівневі: 5 – ієрархічна; 6 – зірково-магістральна; 7 – мереживо-ієрархічна; безпровідні: 8 – з пасивним ретранслятором; 9 – безретрансляційні; 10 – з активним ретранслятором; 11 – зірково-магістральна; 12 – з активним ретранслятором та кільцевою структурою; 13 – сотова. З відкритими оптичними каналами зв'язку: 14 – високошвидкісна дуплексна; 15 – середньошвидкісна кільцева; 16 – низькошвидкісна кільцева; 17 – розгалужена

Паралельну систему з k абонентами з'єднаних з пам'яттю колективного доступу (ПКД), досліджено в роботі [14], окремими каналами зв'язку в [12] (рис. 2).

На низовому рівні КС існує тільки зв'язок сенсор – ПКД, що не дозволяє синхронізувати процес передачі даних від формувачів інформаційних потоків (ФІП). Продуктивність такої системи можна розрахувати за наступною формулою [12]

$$P = \frac{\sum_{i=0}^N K_i}{N}, \quad (2)$$

де P – коефіцієнт продуктивності системи, K_i – кількість активних формувачів інформаційних потоків в i -й момент часу, N – загальна кількість формувачів інформаційних потоків системи, N – кількість відліків часу в дискретному просторі.

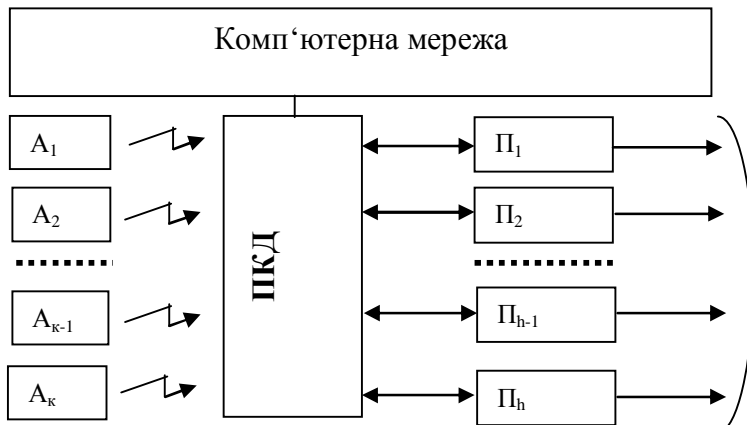


Рис. 2. Структура системи низового рівня дистрибутивних КС на базі ПКД (A_1 - A_k – автономні сенсори, ПКД – пам'ять колективного доступу, Π_1 - Π_h – процесори)

На основі використання математичної моделі (1.2) отримано значення продуктивності при 30000 формувачах інформаційних потоків комп'ютерної системи. Результати досліджень показали, що максимальна продуктивність досягає 40 % при використанні асоціативної оперативної пам'яті системи з паралельним доступом.

При збільшенні часу обміну інформації в комп'ютерній системі спостерігається зменшення продуктивності. Тому для ефективного використання КС потрібно максимально збільшити обсяг оперативної пам'яті системи, оскільки її ефективність в значній мірі залежить від часу обміну інформації між формувачами інформаційних потоків системи.

В результаті аналізу трафіку автономних сенсорів безпроводних архітектур КС витікає висновок, що СП низових рівнів безпроводних зірково-магістральних КС забезпечують максимальну ефективність при режимі паралельного асинхронного формування та передавання даних. Незважаючи на велику ефективність зірково-магістральних мереж, такі архітектури отримали недостатньо широке застосування, оскільки вони на стадії розвитку і використовуються як проблемно-орієнтовані КС.

Системні об'єкти та моделі комп'ютерних мереж

Глобальна модель комп'ютерної системи вперше була запропонована Николайчуком Я.М. у вигляді взаємодії п'ятих типів системних об'єктів (рис. 4) [8].

В середовищі КС системні об'єкти виконують чотири системні функції:

- формування даних;
- передавання даних;
- цифрова обробка даних;
- приймання та зберігання даних.

Тобто кожен з системних об'єктів (СО) може бути одним з функціональних об'єктів наступного типу:

- джерело інформації (ДІ);
- середовище передавання інформації (СПІ);

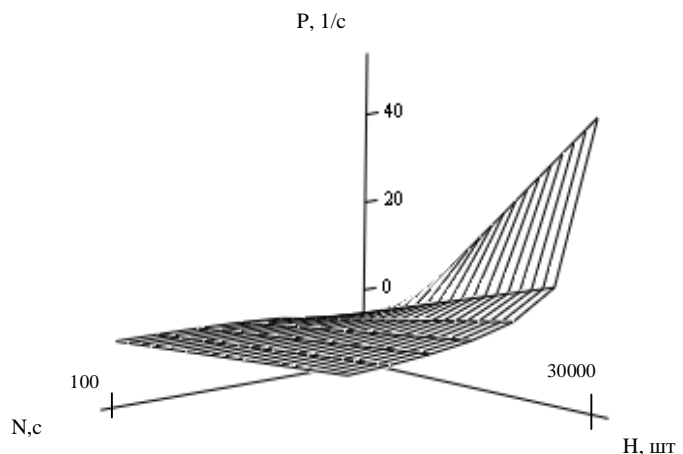


Рис. 3. Продуктивність системи

- середовище цифрової обробки інформації (СОІ);
- приймач інформації (ПІ).

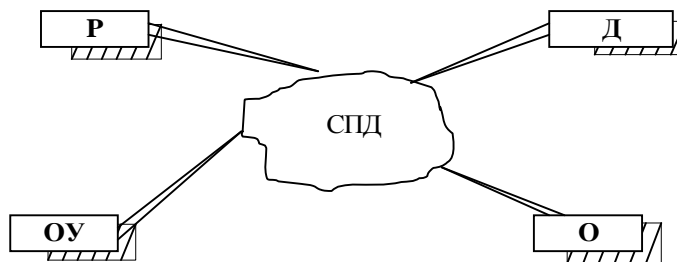


Рис. 4. Глобальна модель комп'ютерної системи: Р – процесор, Д – дані, СПД – система передавання даних, ОУ – об'єкт управління, О – оператор

Отже, системні об'єкти КС характеризуються дуальними (поліфункціональними) властивостями, що в значній мірі ускладнює методологію проектування та теоретичні основи оптимізації параметрів КС.

Виходячи з класифікації п'яти системних об'єктів КС, можна побудувати таблицю пар їхньої взаємодії через інтерфейсні засоби комунікацій (табл. 2).

Таблиця 2

Взаємодія системних об'єктів КС через інтерфейсні засоби комунікацій

	Р	Д	СПД	О
Р	Р→Р	Р→Д	Р→СПД	Р→О
Д	Д→Р	Д→Д	Д→СПД	Д→О
СПД	СПД→Р	СПД→Д	СПД→СПД	СПД→О
О	О→Р	О→Д	О→СПД	О→О

Очевидно, що для вивчення названих інтерфейсних взаємодій СО та використання їх при проектуванні КС необхідно описати взаємодію 16-ти їхніх пар. Виділені системні об'єкти в табл. 2 Р, Д і СПД, оскільки вони є базовими при формуванні та опрацюванні інформаційних потоків в комп'ютеризованих системах [1, 4, 5].

В таблиці 3 подано основні аналітичні моделі характеристик системних об'єктів комп'ютерної мережі, які є базою для теоретичної формалізації руху інформаційних потоків.

Таблиця 3

Аналітичні моделі характеристик системних об'єктів комп'ютерної мережі

№	Аналітичні моделі характеристик системних об'єктів комп'ютерної мережі	Характеристики СО
1	$E_{co} = F(T, V, M, S)$ $0 \leq T \leq T_0;$ $0 \leq V \leq V_0;$ $0 \leq M \leq M_0;$ $0 \leq S \leq S_0,$	Загальний випадок опису ресурсних характеристик СО та межі змін параметрів проектованої КС
2	$E_{co} = \frac{T+V+M+S}{4},$ $0 \leq E_{co} \leq 1$	Функція адаптивності, що забезпечує діапазон зміни від 0 до 1, та відповідає гіпотезі про статистичну незалежність ресурсних параметрів СО
3	$P_{co} = E_{co} \cdot P_0 - V_0$	Економічна собівартість руху даних з врахуванням прибутків та затрат на реалізацію функцій СО
4	$P_{co} = \frac{T+V+M+S}{4} \cdot P_0 - V_0$	
5	$E_{co} = F(T, V_R, V_W, M, S)$	Розширений функціонал системних об'єктів, з врахуванням параметру швидкості виконання системних операцій, а саме швидкості запису та швидкості зчитування, дозволяє врахувати асиметричність характеристик швидкодії вхідних та вихідних пристроїв системних об'єктів

де T – час використання ресурсу, V – швидкість виконання системних операцій (формування, передавання, цифрова обробка та зберігання даних), M – об'єм використовуваного ресурсу пам'яті, S – системні функції, T_0 – час формування, передавання, цифрової обробки та зберігання даних, використання

технічного засобу та інше, V_0 – пропускна здатність каналу зв'язку, максимальна швидкість читання/запису, максимальна частота обміну даними та інше, M_0 – максимальний об'єм пам'яті, що використовується (ОЗП, ПЗП, магнітних, оптичних та твердих копій носіїв), S_0 – максимальний ресурс системних функцій (операційні системи, пакети прикладних програм тощо), P_0, V_0 – відповідно прибутки та затрати на реалізацію функцій СО, V_R – швидкість запису (вхідний інформаційний потік), V_W – швидкість зчитування (вихідний інформаційний потік).

Аналогічні формули можуть бути застосовані для інших системних об'єктів, в яких формальні параметри S будуть відрізнятися наступними системними функціями:

P – процесор (апаратне, системне та прикладне програмне забезпечення);

D – дані (зберігання даних в архівах, способи кодування даних, захист від помилок, захист від несанкціонованого доступу, семантичні властивості даних і т.д.);

$СПД$ – мережеве програмне забезпечення, оптимізація маршрутів передавання даних, використання спецканалів, інформаційна технологія моделювання руху даних;

OU – характеристики стаціонарності, нестаціонарності, квазістаціонарності, інформаційні технології кодування станів та контролю їхнього відхилення від норми, статистичні, кореляційні та ентропійні моделі, функції керування та побудови моделей руху даних;

O – система знань та професійних навиків і т.д.

Аналітичні моделі характеристик системних об'єктів комп'ютерної мережі є базою для теоретичної формалізації процесів формування та опрацювання інформаційних потоків. За допомогою моделей (табл. 1) проводиться аналіз ефективності та розробка проектів комп'ютерних мереж з проблемною орієнтацією для конкретних технологічних процесів та підприємств [6, 10].

Ці показники використовуються при мережних технологіях при формуванні та опрацюванні інформаційних потоків.

Висновки

Аналіз та дослідження архітектур та трафіків КМ на основі оцінки їх емерджентності показує, що найбільш перспективною архітектурою мережевих технологій опрацювання інформаційних потоків є зірково-магістральна архітектура. Архітектури існуючих КМ типу ієрархічні та багаторівневі характеризуються нижчим рівнем емерджентності та рівнем трафіку у порівнянні з зірково-магістральною архітектурою. Однак магістральні архітектури ще не є достатньо поширеними і теражованими у світовій практиці і розглядаються як перспективні. Таким чином, вдосконалення мережевих технологій захисту інформаційних потоків на основі сучасних архітектур КМ не можуть в повній мірі забезпечити ефективність формування та опрацювання інформаційних потоків для захисту інформації.

Література

1. Алексеев В. Е. Основы информационных технологий. Графы и алгоритмы. Структуры данных. Модели вычислений / Алексеев В. Е. – М.: ВВНУ, 2006. – 320 с.
2. Столлингс В. Беспроводные линии связи и сети / В. Столлингс; [пер. с англ.] – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. – 640 с.
3. Таненбаум Э. Компьютерные сети / Э. Таненбаум; [4-е изд.]. – СПб.: Питер, 2003. – 992 с.
4. Гриценко В. И. Распределенные информационные системы. Состояния. Перспективы развития / В. И. Гриценко, А. А. Урсатев // Управляющие системы и машины. – 2003. – № 4. – С. 11– 21.
5. Дейтел Х. М. Операционные системы. Распределенные системы, сети, безопасность / Х. М. Дейтел, П. Дж. Дейтел, Д. Р. Чофнес. – М.: БИНОМ, 2006. – 704 с.
6. Дивак М. П. Властивості інтервальних моделей при інтервальній формі їх параметрів / М. П. Дивак // Сб. науч. тр. международного науч. – учеб. центра информ. технологий и систем, науч. совет НАН Украины по пробл. „Кибернетика”. Моделирование и управление состоянием эколого-экономических систем региона. – К., 2001. – С. 58– 63.
7. Столлингс В. Структурная организация и архитектура компьютерных систем. / В. Столлингс; [пер. с англ.]; [5-е изд.]. – М.: Издательский дом "Вильямс", 2002. – 896 с.
8. Николайчук Я. М. Низові обчислювальні мережі: [учбовий посібник] / Я. М. Николайчук. – К.: УМК ВО, 1990. – 64 с.
9. Николайчук Я. М. Основы построения вычислительных систем на базе вертикальной информационной технологии / Я. М. Николайчук // Тези науково-практичної конференції професорсько-викладацького складу. – Івано-Франківськ. – 1999. – С. 90– 92.
10. Пітух І. Інформаційна технологія побудови миттєвих та інтегральних економічних епюр руху даних на основі циклів матричних моделей комп'ютерних систем / І. Пітух // Вісник Технологічного університету Поділля. Технічні науки. – Хмельницький. – 2007. – Т.1, № 3. – С. 130– 134.
11. Мартин Дж. Планирование развития автоматизированных систем / Мартин Дж. – М.: Финансы и статистика, 1984. – 196 с.

12. Nykolaychuk Y. Architecture and system characteristic of distributed computer network with autonomus sensor equipment / Y. Nykolaychuk, N. Krutskevych, O. Zastavnyy // Proc. of the International Conf. "Modern problems of radio engineering, telecommunications and computer science" TCSET 2006. – Lviv-Slavsko (Ukraine). – P. 394 – 398.

13. Nykolaychuk O. Y. Perspective Architecture and Components of Computer Networks / O Y. Nykolaychuk, N. Krutskevych O. Zastavniy, T. Grinchyshyn // Proc. Of the Second IEEE International Workshop on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications, IDAACS, Lviv, Ukraine, 2003.

14. Николайчук Я. М. Теорія джерел інформації / Николайчук Я. М. / – Тернопіль: ТНЕУ, 2008. – 536 с.

Надійшла 3.3.2011 р.

УДК 004.94

В.І. МЕЖУСЬ

Бердянський державний педагогічний університет

АНАЛІЗ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПРЕДМЕТНО-ОРІЄНТОВАНОГО МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

У статті розглядається інформаційна технологія (ІТ) предметно-орієнтованого математичного моделювання (DSMM). Виділені класи ІТ та відповідних інструментів, риси яких інтегрують у собі засоби DSMM. Проведений порівняльний аналіз властивостей виділених класів інструментів з функціональністю засобів DSMM. Методом аналізу ієрархій розв'язана оптимізаційна задача вибору найбільш ефективної інформаційної технології.

The information technology (IT) of domain specific mathematical modelling (DSMM) is considered in the paper. The classes of IT and related software which features are integrated in DSMM tools are allocated. The comparative analysis of properties of the allocated classes of software with functionality of DSMM tools is given. The task of choosing the most effective information technology by the method of hierarchies analyses is solved.

Ключові слова: предметно-орієнтоване математичне моделювання.

Вступ

Дана стаття присвячена аналізу інформаційної технології (ІТ) предметно-орієнтованого математичного моделювання (DSMM, від англ. Domain Specific Mathematical Modelling). Особливістю ІТ DSMM є те, що вона включає риси багатьох підходів до комп'ютерного моделювання предметних областей (ПрО). Метою даної статті є доведення того положення, що цілеспрямована інтеграція властивостей різних ІТ дозволяє суттєво підвищити ефективність процесу моделювання ПрО. Довести ефективність нової ІТ і відповідних інструментальних засобів можна лише шляхом порівняння з існуючими підходами. Тому перша частина статті присвячена аналізу властивостей наявних ІТ моделювання ПрО та відповідних їм інструментальних засобів. На підставі аналізу виділяються критерії порівняння інструментів, встановлюються пріоритети даних критеріїв, що дозволяє обрати найбільш ефективну альтернативу.

Основна частина

DSMM є розширенням інформаційної технології предметно-орієнтованого моделювання (DSM, від англ. Domain Specific Modelling). Ключовою особливістю інструментів DSM є можливість створення специфічної для ПрО мови моделювання (метамоделі). Така властивість призводить до істотного підвищення ефективності процесу моделювання ПрО, тому що модель створюється у термінах ПрО саме фахівцем ПрО.

Відмінність DSMM від існуючої технології DSM полягає у можливості визначення на рівні метамоделі загального способу розв'язання класу задач (зокрема, генерації програмного коду). Крім того, DSMM інтегрує риси багатьох ІТ в єдиному інструменті, що призводить до поняття комплексних інструментальних засобів предметно-орієнтованого математичного моделювання.

Серед існуючих інструментів, риси яких інтегрують у собі засоби DSMM, можна виділити наступні класи:

1. Інструменти предметно-орієнтованого моделювання (MetaEdit+, Eclipse Modeling Framework, MS DSM Tools й ін.).
2. Інструменти моделювання ПрО (CASE-системи), що використовують універсальні мови (UML, SDL, SysML й ін.).
3. Системи автоматизації проектування (САПР, до яких відносяться класи CAD, CAE, CAM).
4. Системи автоматизації обчислень (MathCad, MatLab, Maple й ін.).
5. Інструменти автоматизації наукових досліджень – фізичного, інженерного та ін. моделювання й імітації (LabVIEW, MapleSim, MathModelica й ін.).
6. Системи керування змістом (Content Management Systems – CMS) – Plone, Drupal та ін.
7. Інструменти онтологічного моделювання (зокрема, Protege).
8. Системи автоматизації умовиводів (машини виведення, наприклад Fact++ плагін для Protege).

9. Валідатори моделей (TLC, SPIN, UPPAAL й ін.).
10. Синтаксичні аналізатори та генератори компіляторів (lex / yacc, flex / bison й ін.).
11. Віртуальні машини (CLR, JVM, Forth й ін.).
12. Інтегровані середовища розробки (IDE), особливо системи швидкісної розробки додатків (RAD).
13. Системи керування проектами (MS Project, OpenProj, TaskJuggler та ін.).
14. Інструменти моделювання бізнес процесів (BPWin, Rational Rose, Oracle Process Modeller й ін.).

Наведемо стисло характеристику властивостей даних класів інструментів з метою виділення функціональності, реалізованої у засобах DSMM.

Зазначимо, що аналізу інструментів предметно-орієнтованого моделювання (DSM) була присвячена стаття [1]. CASE-системи, що використовують UML та інші універсальні мови, були розглянуті нами у [2].

Системи автоматизації проектування

Інструменти DSMM мають множину схожих рис із системами автоматизації проектування. Помітимо, що основна мета створення та використання САПР – це підвищення ефективності етапів проектування виробів й підготовки виробництва. Підвищення ефективності досягається шляхом скорочення термінів, зниження собівартості робіт, підвищення якості й техніко-економічного рівня проектних робіт, скорочення витрат на натурне моделювання, виготовлення й випробування зразків та ін.

Для досягнення цієї мети як інструменти DSMM, так і САПР здійснюють підтримку користувача в розробці й генерації проектною документації, дозволяють уніфікувати й повторно використовувати проектні рішення, замінюють натурні розробку та випробування модельним експериментом. DSMM і САПР також містять як важливу складову програмне забезпечення, що реалізує математичні методи та алгоритми, необхідні для розв'язання задач автоматизації проектування. Помітимо, що як і DSMM, САПР включає лінгвістичне забезпечення – сукупність мов, що використовуються для подання інформації про проєктовані об'єкти, процеси, а також засоби проектування. Принципова відмінність полягає у тому, що DSMM надає можливість розробки власної (специфічної для ПрО) мови моделювання або проектування.

Системи автоматизації обчислень

Помітимо, що такі системи також часто відносять до класу САПР (так, у назві MathCAD навіть зафіксована абревіатура Computer Aided Design, що є англійським еквівалентом САПР). Математичні пакети – це інтерактивні системи, що здійснюють підтримку розв'язання технічних і наукових задач шляхом застосування множини вбудованих методів й алгоритмів. Так, MathCAD дозволяє виконувати чисельні й символічні обчислення, здійснювати операції зі скалярними величинами, векторами та матрицями. Таким чином, схожість із інструментами DSMM полягає в підтримці розв'язання задач шляхом застосування вбудованих у систему методів або ж навіть розробки власних алгоритмів, а основна відмінність – у використанні для моделювання ПрО універсальної математичної, а не предметно-орієнтованої мови. Зазначимо також, що для систем автоматизації обчислень є традиційним використання текстових, а не візуальних нотацій.

Інструменти інженерного моделювання й імітації

На відміну від попереднього класу програмних засобів, інженерні інструменти частіше використовують для моделювання ПрО деяку графічну (візуальну) мову. Розглянемо наприклад інструмент LabVIEW, в основі якого лежить основана на архітектурі потоків даних мова «G».

Модель в LabVIEW є віртуальним приладом і складається з блокової діаграми, що описує логіку роботи приладу і лицьової панелі, що описує його зовнішні інтерфейси. Такий підхід є близьким до сутності предметно-орієнтованого моделювання, за винятком того факту, що LabVIEW призначений для створення моделей фіксованої ПрО (а саме, електротехніки). Так, лицьова панель LabVIEW містить характерні для електротехніки засоби введення-виведення: кнопки, перемикачі, світлодіоди, шкали, інформаційні табло й т.п.

Ще однією схожістю з DSMM є те, що користувач LabVIEW за допомогою візуальної нотації (блокової діаграми) може визначити не лише структуру й функції ПрО, але й задавати спосіб розв'язання задач. До функціональних вузлів блокової діаграми відносяться як джерела й приймачі даних, так і управлючі структури, що є аналогами елементів мов програмування (умовний оператор, оператор циклу та ін.).

Також проведемо аналогію із системами інженерного моделювання, що використовують мову Modelica (OpenModelica, JModelica, MapleSim, MathModelica). Modelica є об'єктно-орієнтованою (ОО) і декларативною мовою моделювання складних гетерогенних (тобто таких, що складаються з різномірних частин – механічних, електричних, термічних й ін.) систем. Хоча Modelica й є ОО мовою, її не можна віднести до мов програмування. Класи Modelica не компілюються у код, а виконуються на спеціальній машині. У цьому полягає схожість з DSMM, де модель виконується на особливій (віртуальній) машині, що виконує конструкції у відповідності з правилами, зафіксованими на рівні метамоделі.

Іншою близькою до DSMM особливістю OpenModelica є можливість так званого кіберфізичного моделювання (що розроблюється в рамках ІТЕА2 OPENPROD проекту [3]). Мова йде про спеціальний профіль UML/Modelica, що поєднує похід системної інженерії (тобто розробку вимог, специфікацій та ін.) з фізичним моделюванням.

Системи керування змістом

Одним із принципів DSMM є можливість розробки моделей різних типів (як концептуальних, онтологічних так і формальних, математичних). Метамодель у DSMM задає структуру елементів предметної області. Тип цих елементів залежить від специфіки ПрО, задач, що розглядаються, наявних методів

розв'язання та інших чинників.

Для неформалізованих (або слабиформалізованих) предметних областей побудова концептуальних моделей є практично єдиною можливістю вивчення ПрО та розв'язання виникаючих задач. Так, виділення концептуальної схеми ПрО дозволяє побудувати структуру бази даних фактично без розуміння законів існування ПрО. Концептуальне моделювання у системній інженерії також розглядається як перший етап у розробці будь-якої системи (тут воно має сутністю формулювання вимог і специфікацій).

Про зв'язок DSMM з інструментами онтологічного моделювання (і можливість їхнього застосування в контексті системної інженерії) мова піде у наступному розділі статті. Проведемо паралель між DSMM і системами управління змістом (Content Management Systems, CMS), де типи змісту (контенту) використовуються для породження конкретних екземплярів змісту. Дані типи утворюють концептуальну схему, яку можна вважати метамоделлю для створення моделей ПрО.

Деякі з CMS (наприклад, Plone [4]) дозволяють редагувати концептуальну схему й навіть створювати нові типи контенту на основі базових понять системи. Таким чином, реалізується предметно-орієнтований підхід у контексті концептуального моделювання.

Відмінність DSMM від CMS полягає в можливості створення формальних моделей, а також застосування до даних моделей математичних методів розв'язання задач. Інший аспект полягає в тому, що метамодель в DSMM включає не тільки набір абстрактних понять (що слугують типами для породження екземплярів), але також визначає способи поєднання екземплярів понять (тобто граматику моделі). Наприклад, екземпляри визначених на рівні метамоделі понять "система" та "підсистема", можуть бути зв'язані на рівні моделі тільки відношенням "частина– ціле". Таким чином, структурування моделі здійснюється шляхом накладення обмежень на можливі відношення екземплярів типів метамоделі.

Інструменти онтологічного моделювання

У філософії онтологія визначається як учіння про буття. Інше (і більш вузьке) визначення онтології дається в Semantic Web, де воно означає формальну (звичайно, основану на логіці першого порядку) специфікацію концептуалізації [5].

Таким чином, онтологічне моделювання основане на концептуалізації ПрО, тобто визначенні найважливіших понять ПрО й формалізації відношень між ними. Для цього використовують мови онтологій, наприклад OWL (Web Ontology Language). У статті [6] нами було доведено, що побудова онтологій є окремим випадком IT DSMM. У цьому контексті метамодель розглядається як отологія верхнього рівня й використовується для створення предметно-орієнтованих онтологій ПрО.

Однак на відміну від DSMM, онтологічна модель у Semantic Web є повністю дескриптивною. Для формалізації відношень між поняттями ПрО застосовують логіку першого порядку, а частіше її DL (Description Logic) підмножину. Даний підхід дозволяє довести деякі властивості онтологічної моделі ПрО, однак не дає можливості визначити спосіб розв'язання задачі.

Метамодель в DSMM задає не тільки структуру типів (концептів) ПрО, але й дозволяє визначити спосіб розв'язання специфічної для предметної області задачі. Більше того, метамодель у DSMM може бути використана для структурування елементів ПрО довільного виду, у тому числі таких, що мають строге математичне визначення (наприклад, фізичних величин). IT DSMM також дозволяє здійснити різні способи структурування властивостей, що відбивають знання ПрО. Так, у статті [7] нами був розглянутий підхід, де висловлювання про ПрО (сілогізми) розподілені на векторах у логічному просторі.

Великий інтерес також має можливість використання інструментів онтологічного моделювання (та відповідно IT DSMM) у контексті системної інженерії. Взагалі кажучи, основну ідею системної інженерії можна сформулювати так: перш ніж бути реалізованою, система повинна бути специфікована. Під специфікацією розуміють твердження про необхідні властивості, структуру й поведінку майбутньої системи.

Онтології дозволяють формалізувати специфікації систем, що традиційно здійснюється природною мовою. Необхідність цього впливає з відомих вад природної мови, а саме її надмірності та неоднозначності (залежності від контексту). Крім того, лише до формальних специфікацій застосовне поняття адекватності, що дозволяє перевірити, відповідає або не відповідає побудована модель системи вираженням у вигляді онтологій специфікаціям.

Системи автоматизації умовиводів

Таким чином, онтологічний підхід до моделювання ПрО є важливим окремим випадком DSMM. Цінність формального подання концептуалізації ПрО полягає в можливості використання спеціальних програм, які відносяться до класу систем автоматизації умовиводів (CAU). Наприклад, у випадку Protege використовується інструмент FACT++, що дозволяє здійснити перевірку різних властивостей OWL-DL онтологій (найчастіше це коректність ієрархії концептів онтології, зв'язаних відношенням Is-A). Природно, що існуючий CAU можуть бути також використані в контексті IT DSMM.

Валідатори моделей (TLC, SPIN, UPPAAL й ін.)

Як було зазначено нами вище, формальна специфікація системи надає можливість її валідації. Для цього використовують спеціальні інструменти – валідатори (англ. *checkers*), що перевіряють всі можливі стани системи на відповідність її специфікаціям.

Найважливішою властивістю інструментів DSMM є можливість формальної перевірки побудованих з їх допомогою моделей ПрО.

Така властивість є наслідком двох причин:

- способу побудови алфавітів мов DSMM;
- формальної специфікації граматики мов.

Символи алфавітів мов DSMM на рівні моделі є екземплярами типів метамоделі та мають власний набір значень атрибутів, що відбиває поточний стан ПрО. Граматику мови DSMM можна розглянути як певний інваріант – тобто властивість, якій повинні відповідати всі можливі стани системи. Таким чином, користувач інструменту DSMM будує модель ПрО у відповідності до граматики мови, тип самим гарантуючи валідність моделі.

Генератори компіляторів

Ключовою особливістю інструментів DSMM є можливість розробки мови моделювання (метамоделі) у рамках понять більш високого рівня абстракції (мета-метамоделі). Помітимо, що даний підхід не є принципово новим. Існують формальні нотації (найбільш відомою з яких є форма Бэкуса-Наура, BNF), що дозволяють виразити граматику мови програмування (або моделювання). Така граMATика є входом для спеціального інструменту, що називається генератором компіляторів (наприклад, lex / yacc, flex / bison та ін.), результатом роботи якого є синтаксичний аналізатор і компілятор даної мови.

Строго говорячи, синтаксичний аналізатор є частиною генератору компіляторів. Синтаксичний аналіз мови – це процес зіставлення лінійної послідовності елементів мови з її формальною граMATикою. Результатом роботи такого інструменту є структура даних (звичайно, деревоподібна), що відбиває синтаксис вхідної мовної конструкції.

Семантика мови виражається шляхом зіставлення з кожною синтаксичною конструкцією процедури генерації коду. Така процедура викликається щораз при розпізнанні синтаксичним аналізатором даної конструкції мови у вихідному тексті.

Аналогічний механізм використовується в інформаційній технології DSMM. Однак, генерація коду є лише окремим випадком функціональності інструментів DSMM, де у відповідність синтаксичним конструкціям мови може бути поставлена будь-яка програмна функція. Таким чином, IT DSMM дозволяє на рівні метамоделі (граматики мови моделювання) визначити спосіб розв'язання класу задач ПрО (модель у цьому випадку є повністю декларативною).

Іншим аспектом є виразність існуючих формальних нотацій, призначених для опису граMATик мов програмування та моделювання. Помітимо, що у випадку використання візуальних нотацій, мовна конструкція не є лінійною послідовністю символів, а може мати два або більшу кількість вимірів. Дослідженню виразності візуальних мов та відповідних граMATик будуть присвячені наші наступні роботи.

Віртуальні машини

Генератори компіляторів перетворюють вихідний текст програми в код, що буде виконуватися на деякій обчислювальній машині. В інструментах DSMM модель ПрО виконується усередині самого інструмента DSMM. Така властивість приводить до визначення інструмента DSMM як *віртуальної машини*, що емулює поведінку деякого реального обчислювального пристрою.

Модель ПрО виконується в контексті мета-метамоделі за правилами, зафіксованим на рівні метамоделі. Наприклад, модель визначає структуру програмного додатка. У цьому випадку метамодель задає граматику моделі (можливі способи з'єднання її елементів), а також методи опрацювання моделі, зокрема, правила обходу моделі, що приводять до генерації коду програмного додатка.

Таким чином, метамодель задає структуру обчислювального процесу, що виконується на віртуальній машині DSMM для структур даних, визначених на рівні моделі. Даний процес також використовує ресурси (бібліотеки програмних функцій), визначені на рівні мета-метамоделі.

Інтегровані середовища та системи швидкісної розробки додатків

Під інтегрованим середовищем розробки (Integrated Development Environment, IDE) розуміється система інструментальних засобів, призначених для розробки програмного забезпечення. Властивість «інтегрованості» визначає, що IDE включає множину інструментів, до яких традиційно відносяться текстовий редактор, компілятор та налагоджувач програми. Сучасні IDE також мають засоби для візуальної розробки графічних інтерфейсів, використання яких підвищує швидкість створення додатків у десятки разів. У цьому випадку IDE переходить у розряд систем швидкісної розробки додатків (Rapid Application Development, RAD). Засоби DSMM також включають множину інструментів, що слугують для підтримки користувача в процесі розробки моделі ПрО. Із системами RAD засоби DSMM поєднує можливість швидкісної візуальної розробки моделі ПрО.

Системи керування проектами

Такі системи використовуються для підтримки діяльності менеджерів при аналізі обсягів робіт, плануванні етапів проекту, відстеженні прогресу в здійсненні проекту, розподілі ресурсів і т.д. Завдяки можливості розробки довільної мови, засоби DSMM здійснюють підтримку користувача й у такий ПрО, як керування проектами. Найважливішою відмінністю інструментів DSMM є можливість не лише моделювання процесів, але й організації діяльності користувачів відповідно до визначеної моделі процесу.

Аналіз ефективності інформаційних технологій моделювання ПрО

Таким чином, DSMM містить у собі риси множини різних IT комп'ютерного моделювання ПрО. Специфіка даних інформаційних технологій істотно залежить від ПрО, що розглядаються, а також класів задач, які необхідно розв'язати. У той же час можна відібрати близькі за сутністю інформаційні технології і

виділити в них інваріанти властивостей та функціональності (наприклад, застосування універсальних або розробка предметно-орієнтованих мов, використання візуальних або текстових нотацій, здійснення концептуального або формального моделювання й ін.).

Виділення й аналіз даних критеріїв дозволяє вирішити оптимізаційну задачу прийняття рішення, метою якого є вибір найбільш ефективної інформаційної технології комп'ютерного моделювання ПрО. У даному розділі статті наведено розв'язання даної задачі методом аналізу ієрархій (МАІ) [8; 9].

МАІ надає процедуру для декомпозиції визначаючих суть проблеми критеріїв, з наступною їх обробкою шляхом попарних порівнянь, що дозволяє чисельно виразити пріоритетність критеріїв та, власне, знайти рішення. Таким чином, розв'язання проблеми методом МАІ є процесом поетапного встановлення пріоритетів критеріїв. При цьому критерії повинні охоплювати всі важливі характеристики проблеми, необхідні для її розв'язання.

Першим етапом МАІ є декомпозиція проблеми у вигляді трьохрівневої ієрархії, починаючи з мети (вершина ієрархії), через критерії оцінки до найнижчого рівня (переліку альтернатив).

Постановка мети застосування МАІ. Із множини схожих за сутністю інформаційних технологій комп'ютерного моделювання ПрО вибрати ІТ, що забезпечує найкращі оцінки відповідно до МАІ.

Відібраними **альтернативами вибору** є наступні ІТ (та відповідні їм інструментальні засоби):

А 1. ІТ моделювання ПрО, що використовують універсальні мови (CASE-UML).

А 2. ІТ предметно-орієнтованого моделювання (DSM).

А 3. ІТ предметно-орієнтованого математичного моделювання (DSMM).

У результаті експертної оцінки була обрана множина критеріїв оцінки властивостей інформаційних технологій комп'ютерного моделювання ПрО. Дані критерії були розбиті на кілька груп, що відбивають різні аспекти аналізованих ІТ (лінгвістичні, процесуальні, функціональні). Це було зроблено для відповідності сформульованому в [8; 9] критерію погодженості суджень.

Помітимо також, що відповідно до МАІ, кількість порівнюваних об'єктів повинна бути достатньо малою, звичайні межі – це 7 ± 2 одиниць. Тому в списку критеріїв були залишені лише найважливіші й відкинуті другорядні.

У даній роботі ми розглянемо критерії, які визначають часові параметри ефективності застосування ІТ:

К 1. Швидкість розробки моделі.

К 2. Швидкість розробки метамоделі (або ж предметної адаптації універсальної мови моделювання).

К 3. Швидкість зміни моделі у відповідь на запити.

К 4. Швидкість переходу між етапами діяльності (від вимог до архітектури, від архітектури до реалізації та ін.).

К 5. Тривалість етапу навчання мові моделювання.

На другому етапі МАІ особою, що приймає рішення (ОПР) були побудовані матриці для порівняння відносної важливості критеріїв з метою встановлення їх пріоритетів. Методика обчислення вектору пріоритетів для матриці попарних порівнянь надана у [8; 9].

Отримані значення компонентів вектору локальних пріоритетів надали можливість ранжувати критерії відповідно до оцінок ОПР за убуванням отриманих ваг:

1. Швидкість розробки моделі (вага – 0,3767285).

2. Швидкість зміни моделі у відповідь на запити (вага – 0,268545).

3. Швидкість переходу між етапами діяльності (вага – 0,1515467).

4. Швидкість розробки метамоделі (вага – 0,1227431).

5. Тривалість етапу навчання мові моделювання (вага – 0,0804366).

Побудова матриць попарних порівнянь третього рівня

Для кожного критерію були проведені попарні порівняння альтернатив і був здійснений синтез локальних пріоритетів (ми упустимо розрахунки з метою скорочення об'єму статті).

Синтез глобальних пріоритетів для ІТ моделювання ПрО

На основі матриць попарних порівнянь третього рівня були розраховані значення компонент вектора глобальних пріоритетів та здійснений синтез глобальних пріоритетів для різних ІТ моделювання ПрО.

Результати обчислень можна трактувати як значення функції корисності для кожної з альтернатив. На першому місці виявилася ІТ предметно-орієнтованого математичного моделювання, що випередила найближчого сусіда «ІТ предметно-орієнтованого моделювання» на $(0,4726-0,3410) \times 100 \% = 13,16 \%$.

Висновки

1. Визначені найважливіші властивості інструментів предметно-орієнтованого математичного моделювання. Засоби DSMM включають риси множини ІТ комп'ютерного моделювання предметних областей, тобто є комплексними інструментальними засобами.

2. Виділені класи існуючих інструментів, риси яких інтегрують у собі засоби DSMM. Проведений порівняльний аналіз властивостей виділених класів інструментів з функціональністю засобів DSMM.

3. Виділені близькі за сутністю до DSMM інформаційні технології комп'ютерного моделювання ПрО та виділені критерії їх порівняння. Методом аналізу ієрархій розв'язана оптимізаційна задача прийняття рішення, метою якого є вибір найбільш ефективної інформаційної технології. Найкращі оцінки

Література

1. Межуєв В. І. Технології та інструментальні засоби предметно-орієнтованого моделювання / В. І. Межуєв // Системи управління, навігації та зв'язку. – 2010. – № 3 (15). – С. 102– 106.
2. Межуєв В. І. Доцільність застосування UML для моделювання систем озброєння та військової техніки / В. І. Межуєв // Системи озброєння та військова техніка. – 2010. – № 2 (22). – С. 122– 126.
3. Openprod project [Електроний ресурс]. – Режим доступу: www.openprod.org
4. Plone CMS [Електроний ресурс]. – Режим доступу: www.plone.org
5. Gruber T. R. A translation approach to portable ontologies. Knowledge Acquisition, 5 (2). 1993. – pp. 199– 220.
6. Межуєв В. І. Онтологические модели систем и процесса системной инженерии / В. І. Межуєв // "Искусственный интеллект". – 2010. – № 4. – С. 606– 616.
7. Mezhuuev V. Vector logic: theoretical principles and practical implementations // Вісник ЗНУ: збірник наукових статей. Фізико-математичні та технічні науки. – Запоріжжя: ЗНУ, 2006. – С. 91– 97.
8. Саати Т. Аналитическое планирование. Организация систем / Т. Саати, К. Кернс; [пер. с англ.] – М.: Радио и связь, 1991.
9. Шикин Е. В. Математические методы и модели в управлении: [учеб. пособие] / Е. В. Шикин, А. Г. Чхартишвили. – М.: Дело, 2000. – 440 с.

Надійшла 7.3.2011 р.

УДК 621.396.7

Ю.М. БОЙКО, В.М. СВОРІНЬ
Хмельницький національний університетОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ АЛГОРИТМІВ АДАПТИВНОЇ
ФІЛЬТРАЦІЇ В СИСТЕМАХ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ

Проведено огляд алгоритмів адаптивної фільтрації в системах обробки сигналів. Розглянуто особливості використання LMS та RLS алгоритмів адаптивної фільтрації, алгоритму фільтрації Калмана в системах обробки сигналів. Розглянуто математичні моделі перелічених алгоритмів фільтрації та досліджено збіжність алгоритмів в середовищі Matlab Simulink. Досліджено особливості використання перелічених алгоритмів в системах зв'язку при побудові еквалайзерів, з допомогою середовища Matlab Simulink.

The review of algorithms of adaptive filtration is conducted in the systems of treatment of signals; to consider the features of the use of LMS, RLS, to the algorithm of filtration of Kalman in the systems of treatment of signals. The mathematical models of the transferred algorithms of filtration and probed meets of algorithms are considered in the environment of Matlab Simulink. The features of the use of the transferred algorithms are probed in communication networks at the construction of equalize, with the help of environment of Matlab Simulink.

Ключові слова: адаптивна фільтрація, метод найменших квадратів, адаптивна система.

Вступ

Досягнутий останнім часом прогрес в розробці і виробництві мікросхем призвів до створення дуже компактних, економічних і надійних пристроїв обробки сигналів, конкуруючих з біологічними нейронними системами за розмірами і таких, що перевершують біологічні системи по швидкодії механічного впливу. В результаті цього значно розширилася сфера їх застосування у всіх видах цифрової обробки сигналів, у тому числі адаптивної обробки [1]. В даний час адаптивні системи застосовуються в таких областях, як зв'язок, радіолокація, гідролокація, сейсмологія, проектування механічних систем, навігація і біомедична електроніка. Основною властивістю адаптивної системи є змінне в часі функціонування з саморегулюванням. Необхідність такого функціонування очевидна з наступних міркувань. Якщо розробник проектує «незмінну» систему, яку він вважає оптимальною, то це означає, що розробник передбачає всі можливі умови на її вході, по меншій мірі у статистичному сенсі, і розраховує, що система буде працювати при кожній з цих умов. Далі розробник обирає критерій, за яким має оцінюватися функціонування, наприклад середня кількість помилок між вихідним сигналом реальної системи і вихідним сигналом деякої обраної моделі або «ідеальної» системи. Нарешті, розробник обирає систему, яка виявляється кращою відповідно до встановленого критерію функціонування, зазвичай, з деякого апріорно обмеженого класу (наприклад, з класу лінійних систем). Однак, у багатьох випадках весь діапазон вхідних умов може бути не відомий точно навіть у статистичному сенсі або умови можуть час від часу змінюватися. Тоді адаптивна система, використавши регулярний процес пошуку, постійно шукає максимум в межах допустимого класу можливостей і таким чином встановлює переваги в порівнянні з незмінною системою. Адаптивні системи за своєю природою мають бути змінними в часі і нелінійними. Наприклад, якщо сигнал подається на вхід адаптивної системи для визначення властивостей по її відгуку, то система адаптується до цього певного вхідного сигналу і тим самим змінює власну структуру. Таким чином, адаптивні системи по суті важко

описати в звичайних уявленнях. Не можна сказати, що адаптивні системи належать до абсолютно чіткої підмножини нелінійних систем. Однак притаманні їм дві особливості в загальному випадку відрізняють їх від інших видів нелінійних систем: по-перше, адаптивні системи є регульованими, і процеси їх регулювання залежать від усереднених в обмеженому інтервалі часу характеристик сигналу, а не від миттєвого значення сигналів або миттєвих значень внутрішніх станів системи; по-друге, процеси регулювання адаптивних систем цілеспрямовано змінюються для того, щоб оптимізувати задані параметри функціонування.

В статті здійснена спроба систематизувати відомі алгоритми адаптивної обробки (фільтрації) сигналів та провести порівняльний аналіз можливостей реалізації цих алгоритмів з допомогою середовища Matlab.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Вхідний дискретний сигнал $x(k)$ обробляється дискретним фільтром, в результаті чого виходить вихідний сигнал $y(k)$ рис. 1. Цей вихідний сигнал порівнюється із зразковим сигналом $d(k)$, різниця між ними утворює сигнал помилки $e(k)$. Завдання адаптивного фільтра – мінімізувати помилку відтворення зразкового сигналу [2]. З цією метою блок адаптації після обробки кожного відліку аналізує сигнал помилки і додаткові дані, що надходять з фільтра, використовуючи результати цього аналізу для підстроювання параметрів (коефіцієнтів) фільтра (рис. 1). В якості фільтра в структурі, що на рисунку 1, найчастіше використовується нерекурсивний цифровий фільтр. Одним з головних переваг цього варіанту є те, що нерекурсивний фільтр є стійким при будь-яких значеннях коефіцієнтів. Однак слід пам'ятати, що алгоритм адаптації в будь-якому випадку вносить в систему зворотний зв'язок, внаслідок чого адаптивна система в цілому може стати нестійкою. Надалі в статті розглянемо три адаптивних алгоритма з використанням зразкового сигналу, що часто застосовуються на практиці в різних системах обробки інформації. Розгляд почнемо із визначення оптимальних параметрів адаптивного фільтра, тобто параметрів до яких він має прагнути. Підхід до задачі оптимальної фільтрації може бути як статистичним, так і детермінованим.

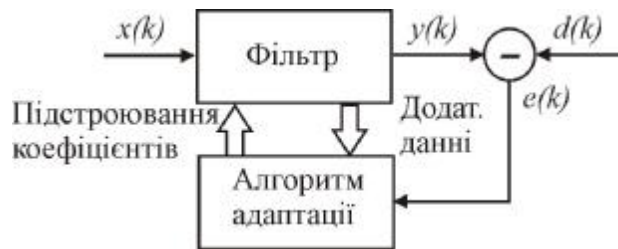


Рис. 1. Загальна структура адаптивного фільтра

Нехай вхідний дискретний випадковий сигнал $x(t)$ обробляється нерекурсивним дискретним фільтром порядку N , коефіцієнти якого можуть бути представлені вектор-стовпцем $\mathbf{w} = [w_0, w_1, \dots, w_N]^T$. Вихідний сигнал фільтра буде рівним:

$$y(k) = \mathbf{u}^T(k) \mathbf{w}, \quad (1)$$

де $\mathbf{u}(k) = [x(k), x(k-1), \dots, x(k-N)]^T$ – вектор-стовпець вмісту лінії затримки фільтра на k -му кроці. Крім того, є зразковим (також випадковий) сигнал $d(k)$. Помилка відтворення зразкового сигналу дорівнює:

$$e(k) = d(k) - y(k) = d(k) - \mathbf{u}^T(k) \mathbf{w}. \quad (2)$$

Необхідно знайти такі коефіцієнти фільтра \mathbf{w} , які забезпечують максимальну близькість вихідного сигналу фільтра до зразкового, тобто мінімізують помилку $e(k)$. Оскільки $e(k)$ також є випадковим процесом, в якості міри її величини розумно прийняти середній квадрат. Таким чином, оптимізуючий функціонал виглядає так: $J(\mathbf{w}) = \overline{e^2(k)} \rightarrow \min$.

Квадрат помилки дорівнює

$$e^2(k) = (d(k) - \mathbf{u}^T(k) \mathbf{w})^2 = d^2(k) - 2d(k) \mathbf{u}^T(k) \mathbf{w} + \mathbf{w}^T \mathbf{u}(k) \mathbf{u}^T(k) \mathbf{w}.$$

Статистично усереднюючи вираз, отримуємо наступне:

$$J(\mathbf{w}) = \overline{e^2(k)} = \overline{d^2(k)} - 2\overline{d(k) \mathbf{u}^T(k) \mathbf{w}} + \mathbf{w}^T \overline{\mathbf{u}(k) \mathbf{u}^T(k)} \mathbf{w}. \quad (3)$$

Тут усереднені величини мають наступний зміст: $\overline{d^2(k)} = S_d^2$ – середній квадрат зразкового сигналу; $\overline{d(k) \mathbf{u}^T(k)} = \mathbf{p}^T$ – транспонований вектор-стовпець \mathbf{p} взаємних кореляцій між k -м відліком зразкового сигналу і вмістом лінії затримки фільтра. Якщо розглядаються випадкові процеси $x(k)$ і $d(k)$ які є взаємно

стаціонарними, вектор взаємних кореляцій не залежить від номера кроку k ; $\overline{\mathbf{u}(k)\mathbf{u}^T(k)} = \mathbf{R}$ – кореляційна матриця сигналу, що має розмір $(N+1) \times (N+1)$. Для стаціонарного випадкового процесу кореляційна матриця має вигляд матриці Теплиця, тобто на її діагоналях стоять однакові величини:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} R_x(0) & R_x(1) & R_x(2) & \mathbf{L} & R_x(N) \\ R_x(1) & R_x(0) & R_x(1) & \mathbf{L} & R_x(N-1) \\ R_x(2) & R_x(1) & R_x(0) & \mathbf{L} & R_x(N-2) \\ \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{M} & \mathbf{O} & \mathbf{M} \\ R_x(N) & R_x(N-1) & R_x(N-2) & \mathbf{L} & R_x(0) \end{bmatrix},$$

де $R_x(m) = \overline{x(k)x(k-m)}$ – кореляційна функція (КФ) випадкового процесу $\{x(k)\}$. З урахуванням введених позначень (3) приймає наступний вигляд:

$$J(\mathbf{w}) = s_d^2 - 2\mathbf{p}^T \mathbf{w} + \mathbf{w}^T \mathbf{R} \mathbf{w}. \quad (4)$$

Цей вираз являє собою квадратичну форму щодо \mathbf{w} і тому при невиродженій матриці \mathbf{R} має єдиний мінімум, для знаходження якого необхідно прирівняти нулю вектор градієнта: $\mathbf{grad}J(\mathbf{w}) = -2\mathbf{p} + 2\mathbf{R}\mathbf{w} = 0$.

Звідси отримуємо шукане рішення для оптимальних коефіцієнтів фільтра:

$$\mathbf{w} = \mathbf{R}^{-1} \mathbf{p}. \quad (5)$$

Такий фільтр називається фільтром Вінера. Підстановка (5) в (4) дає мінімально досягну дисперсію сигналу помилки:

$$e^2(k)_{\min} = s_d^2 - \mathbf{p}^T \mathbf{R}^{-1} \mathbf{p}. \quad (6)$$

Нескладно також показати, що $\overline{e(k)y(k)} = 0$ і $\overline{e(k)x(k)} = 0$, тобто що сигнал помилки для фільтра Вінера некорельований з вхідним і вихідним сигналами фільтра.

Після розгляду фільтра Вінера, розглянемо аналітику алгоритмів заснованих на пошуку мінімуму цільової функції (3) методом найшвидшого спуску. При використанні даного способу оптимізації вектор коефіцієнтів фільтра $\mathbf{w}(k)$ повинен рекурсивно оновлюватися наступним чином:

$$\mathbf{w}(k+1) = \mathbf{w}(k) - \frac{\mu}{2} \mathbf{grad}J(\mathbf{w}(k)) = \mathbf{w}(k) + \mu \mathbf{p} - \mu \mathbf{R} \mathbf{w}(k), \quad (7)$$

де μ – позитивний коефіцієнт, так званий розмір кроку. Алгоритм збігається, якщо $0 < \mu < 2/\lambda_{\max}$, де λ максимальне власне число кореляційної матриці \mathbf{R} . Швидкість збіжності при цьому залежить від розкиду власних чисел кореляційної матриці \mathbf{R} – чим менше відношення $\lambda_{\max}/\lambda_{\min}$, тим швидше збігається ітераційний процес. Однак, для розрахунку градієнта необхідно знати значення матриці \mathbf{R} і вектора \mathbf{p} . На практиці можуть бути доступні лише оцінки цих значень, одержані за вхідними даними. Найпростішими такими оцінками є миттєві значення кореляційної матриці і вектора взаємних кореляцій, що виробляються без будь-

якого усереднення: $\hat{\mathbf{R}}(k) = \mathbf{u}(k)\mathbf{u}^T(k)$, $\hat{\mathbf{p}}(k) = d(k)\mathbf{u}(k)$.

При використанні даних оцінок формула (7) приймає наступний вигляд:

$$\begin{aligned} \mathbf{w}(k+1) &= \mathbf{w}(k) + \mu d(k)\mathbf{u}(k) - \mu \mathbf{u}(k)\mathbf{u}^T(k)\mathbf{w}(k) = \\ &= \mathbf{w}(k) + \mu \mathbf{u}(k)(d(k) - \mathbf{u}^T(k)\mathbf{w}(k)). \end{aligned} \quad (8)$$

Вираз, що стоїть у дужках, згідно з (8), являє собою різницю між зразковим сигналом і вихідним сигналом фільтра на k -му кроці, тобто помилку фільтрації $e(k)$. З урахуванням цього, вираз для рекурсивного оновлення коефіцієнтів фільтра виявляється дуже простим:

$$\mathbf{w}(k+1) = \mathbf{w}(k) + \mu e(k)\mathbf{u}(k). \quad (9)$$

Алгоритм адаптивної фільтрації, заснований на формулі (9), отримав назву LMS (Least Mean Square – метод найменших квадратів).

Можливий і інший підхід до формування алгоритму адаптивної обробки, а саме в процесі прийому сигналу можна на кожному черговому кроці перераховувати коефіцієнти фільтра безпосередньо за формулою (1), проте це пов'язано з невіправдано великими обчислювальними витратами.

$$\mathbf{w} = (\mathbf{U}\mathbf{U}^T)^{-1} \mathbf{U} \mathbf{d}. \quad (10)$$

Дійсно, розмір матриці \mathbf{U} постійно збільшується і, крім того, необхідно кожен раз заново обчислювати зворотну матрицю $(\mathbf{U}\mathbf{U}^T)^{-1}$. Скоротити обчислювальні витрати можна, якщо зауважити, що на кожному кроці до матриці \mathbf{U} додається лише один новий стовпець, а до вектора \mathbf{d} – один новий елемент.

Це дає можливість організувати обчислення рекурсивно. Відповідний алгоритм називається рекурсивним методом найменших квадратів (Recursive Least Square – RLS).

При використанні алгоритму RLS проводиться рекурсивне оновлення оцінки зворотної кореляційної матриці $\mathbf{P}(\mathbf{U}\mathbf{U}^T)^{-1}$, а висновок формул ґрунтується на наступній матричній тотожності:

$$(\mathbf{A} + \mathbf{B}\mathbf{C}\mathbf{D})^{-1} = \mathbf{A}^{-1} - \mathbf{A}^{-1}\mathbf{B}(\mathbf{C}^{-1} + \mathbf{D}\mathbf{A}^{-1}\mathbf{B})\mathbf{D}\mathbf{A}^{-1}, \quad (11)$$

де \mathbf{A} і \mathbf{C} – квадратні невиврожені матриці (необов'язково однакових розмірів), а \mathbf{B} і \mathbf{D} – матриці сумісних розмірів.

Застосування формули (11) для рекурсивного оновлення зворотної кореляційної матриці \mathbf{P} в поєднанні з вихідною формулою (10) для коефіцієнтів оптимального фільтра дає наступну послідовність кроків адаптивного алгоритму RLS: при надходженні нових вхідних даних $\mathbf{u}(k)$ здійснюється фільтрація сигналу з використанням поточних коефіцієнтів фільтра $\mathbf{w}(k-1)$ і обчислення величини помилки відтворення зразкового сигналу: $y(k) = \mathbf{u}^T(k)\mathbf{w}(k-1)$, $e(k) = d(k) - y(k)$; розраховується вектор-стовпець коефіцієнтів посилення (слід зазначити, що знаменник дробу в наступних двох формулах є скаляром, а не матрицею):

$$\mathbf{K}(k) = \frac{\mathbf{P}(k-1)\mathbf{u}(k)}{1 + \mathbf{u}^T(k)\mathbf{P}(k-1)\mathbf{u}(k)}; \quad (12)$$

проводиться оновлення оцінки зворотної кореляційної матриці сигналу:

$$\mathbf{P}(k) = \mathbf{P}(k-1) - \mathbf{K}(k)\mathbf{u}^T(k)\mathbf{P}(k-1), \quad (13)$$

нарешті, проводиться оновлення коефіцієнтів фільтра: $\mathbf{w}(k) = \mathbf{w}(k-1) + \mathbf{K}(k)e(k)$.

Початкове значення вектора \mathbf{w} звичайно приймається нульовим, а в якості вихідної оцінки матриці \mathbf{P} використовується діагональна матриця виду $\mathbf{C}\mathbf{I}/s_x^2$, де $\mathbf{C} \gg 1$.

У формулах (14) і (15) значенням помилки на всіх часових тактах надається однакова вага. У результаті, якщо статистичні властивості вхідного сигналу з часом змінюються, це призводить до погіршення якості фільтрації.

$$J(\mathbf{w}) = \sum_{k=0}^{k-1} |e(k)|^2 \rightarrow \min, \quad (14)$$

$$J(\mathbf{w}) = \mathbf{e}^T \mathbf{e} \rightarrow \min. \quad (15)$$

Крім розглянутих алгоритмів широке застосування знайшов алгоритм фільтрації Калмана. Мета фільтра Калмана – мінімізувати дисперсію оцінки векторного випадкового процесу $\mathbf{x}(k)$, що змінюється в часі таким чином:

$$\mathbf{x}(k+1) = \mathbf{\Phi}(k)\mathbf{x}(k) + \mathbf{v}(k), \quad (16)$$

де $\mathbf{\Phi}(k)$ – матриця переходу, $\mathbf{v}(k)$ – випадковий вектор (шум процесу), що має нормальний розподіл з кореляційною матрицею $\mathbf{Q}_p(k)$. Для спостереження доступний лінійно перетворений процес $y(k)$, до якого додається шум спостереження: $y(k) = \mathbf{H}(k)\mathbf{x}(k) + \mathbf{w}(k)$, де $\mathbf{H}(k)$ – матриця спостереження, $\mathbf{w}(k)$ – шум спостереження, що представляє собою випадковий вектор, що має нормальний розподіл з кореляційною матрицею $\mathbf{Q}_M(k)$.

Пошук алгоритму для рекурсивного оновлення оцінки процесу $\mathbf{x}(k)$ дає наступну послідовність формул: 1) $\hat{\mathbf{y}}(k) = \mathbf{C}(k)\mathbf{\Phi}(k)\hat{\mathbf{x}}(k-1)$ – прогнозоване значення спостережуваного сигналу; 2) $e(k) = \mathbf{y}(k) - \hat{\mathbf{y}}(k)$ – нев'язка між прогнозованим і реально спостережуваним значеннями; 3) $\mathbf{K}(k) = \mathbf{P}(k-1)\mathbf{C}^T(k)(\mathbf{C}(k)\mathbf{P}(k-1)\mathbf{C}^T(k) + \mathbf{Q}_M(k))^{-1}$ – калмановський коефіцієнт підсилення; 4) $\hat{\mathbf{x}}(k) = \mathbf{\Phi}(k)\hat{\mathbf{x}}(k-1) + \mathbf{K}(k)e(k)$ – оновлення оцінки процесу $\mathbf{x}(k)$; 5) $\mathbf{P}(k) = \mathbf{\Phi}(k)[\mathbf{P}(k-1) - \mathbf{K}(k)\mathbf{C}(k)\mathbf{P}(k-1)]\mathbf{\Phi}^T(k) + \mathbf{Q}_M(k)$ – оновлення оцінки кореляційної матриці помилок фільтрації.

При використанні фільтра Калмана для розв'язання задачі адаптивної фільтрації відстежуваним процесом є вектор коефіцієнтів оптимального фільтра \mathbf{w} . Передбачається, що детермінованих змін коефіцієнтів не відбувається, тому матриця переходу $\mathbf{\Phi}$ є одиничною: $\mathbf{\Phi}(k) = \mathbf{I}$. В якості матриці спостереження виступає вектор вмісту лінії затримки фільтра $\mathbf{u}(k)$. Таким чином, вихідний сигнал фільтра представляє собою прогнозоване значення спостережуваного сигналу, а в якості самого спостережуваного сигналу виступає зразковий сигнал адаптивного фільтра $d(k)$. Шум спостереження в даному випадку є

помилкою відтворення зразкового сигналу, а матриця Q_M перетворюється на скалярний параметр – середній квадрат сигналу помилки. Величина цього параметра слабо впливає на поведінку алгоритму. Проведемо порівняння алгоритмів адаптивної фільтрації використавши середовище Matlab Simulink (рис. 2).

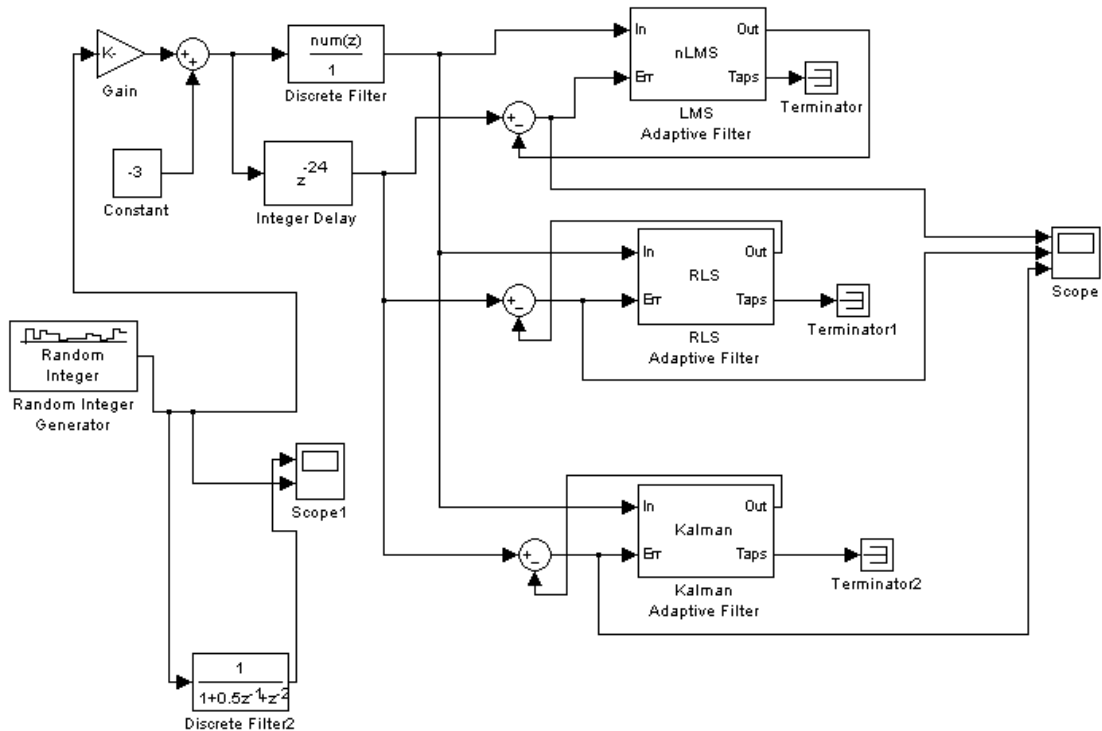


Рис. 2. Simulink модель для порівняння алгоритмів адаптивної фільтрації

Проведемо моделювання та визначимо сигнал помилки для трьох розглянутих вище алгоритмів адаптації. Подано на блоки сигнал з генератора випадкових цілих чисел Random Integer. На екрані трьох каналного осцилографа отримуємо наступну картинку (рис. 3). Аналіз сигналів помилки для алгоритмів адаптації вказує, що LMS – алгоритм збігається досить повільно і має досить суттєві залишкові шуми. Алгоритми RLS та Калмана дають кращі показники, та збігаються скоріше.

Розглянемо прикладне застосування адаптивних систем в системах зв'язку та передачі сигналів.

При передачі по каналу зв'язку інформаційного сигналу виникають спотворення. В системах цифрового зв'язку ці спотворення можуть призвести до виникнення помилок при прийомі цифрових даних. Для зниження ймовірності помилок необхідно компенсувати вплив каналу зв'язку, тобто вирішити завдання зворотної ідентифікації, фільтр прагне компенсувати вплив системи і відновити початковий сигнал, усунувши внесені системою спотворення. В частотній області компенсація спотворень, що вносяться каналом, означає вирівнювання (equalization) його частотної характеристики, тому фільтри, які виконують таке вирівнювання, отримали назву еквайзерів (equalizer).

При використанні адаптивного фільтра як еквайзера виникає проблема отримання зразкового сигналу. Ця проблема вирішується шляхом передачі спеціального сигналу налаштування перед початком передачі даних. Як сигнал налаштування звичайно використовується псевдовипадкова послідовність

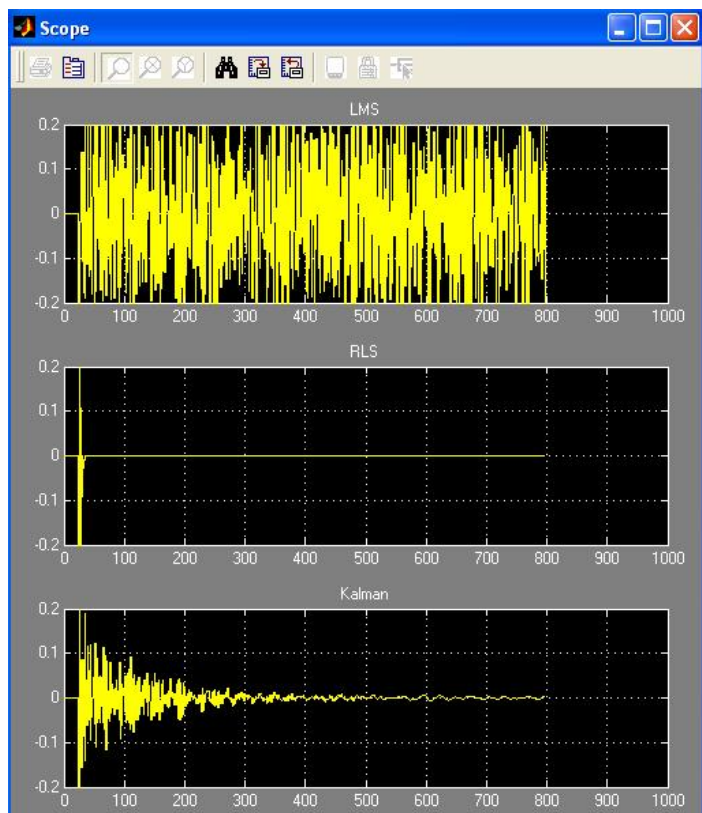


Рис. 3. Сигнали помилки для трьох алгоритмів адаптації

СИМВОЛІВ.

Алгоритм формування цього сигналу відомий приймальній стороні, тому зразковий сигнал може бути отриманий незалежно і використаний для навчання адаптивного фільтру. Цей режим роботи називають режимом навчання (training mode) рис. 4.

Адаптивне вирівнювання каналу зв'язку з QAM (Quadrature Amplitude Shift Keying) модуляцією

На рис. 4 представлена Simulink – модель системи зв'язку з QAM модуляцією.

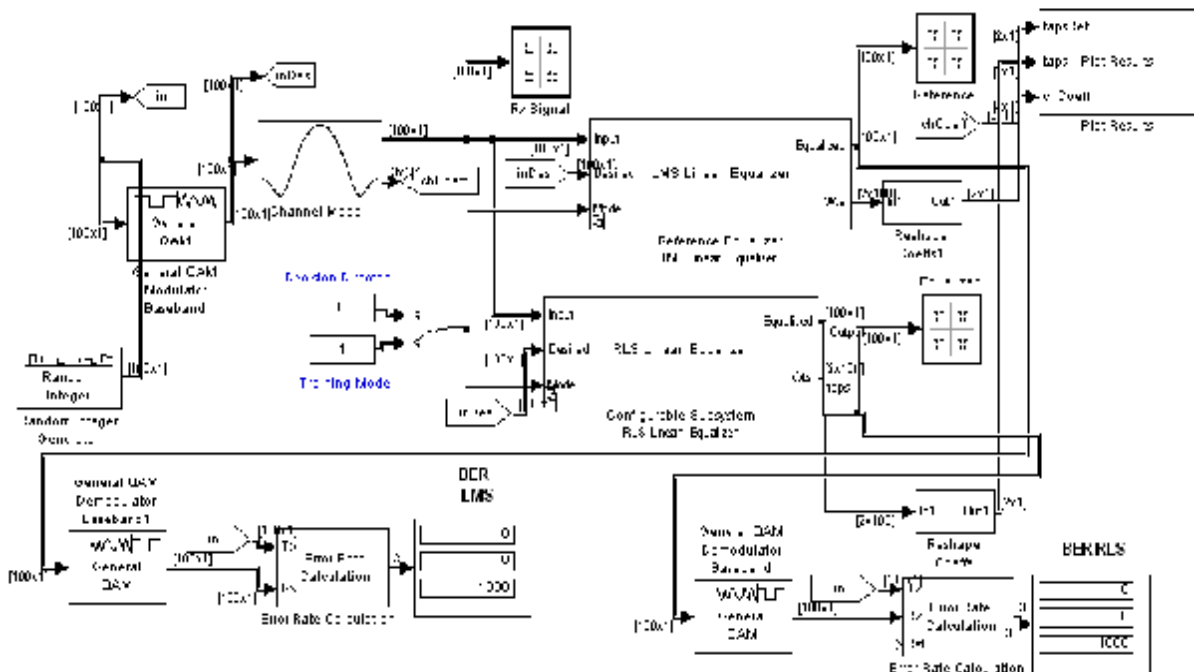


Рис. 4. Simulink – модель системи зв'язку із адаптивним вирівнювачем

В схемі використано два вирівнювача, зокрема, перший працює на основі LMS алгоритму і є рекомендованим, а другий вирівнювач конфігурується, зокрема, на схемі використано вирівнювач на основі RLS алгоритму. Схему розташування вузлів на фазовій площині модульованого QAM коливання прийнято називати сузір'ям (constellation). Для візуального представлення сузір'я, в схемі використано інструмент Scatter Plot Scope. Для формування та демодуляції сигналу з QAM-модуляцією в схемі використано модулятор та демодулятор. На рис. 5 з допомогою інструменту Scatter Plot відтворено сузір'я прийнятого сигналу.

Таким чином, після закінчення сигналу налаштування в схемі відбувається передача даних. Приймач при цьому перемикається в інший режим, який називають режимом оцінювання (decision directed) (рис. 4). У цьому режимі для отримання зразкового сигналу використовується той факт, що сукупність можливих значень сигналу в системі цифрового зв'язку є скінченною. Після прийому чергового часового такту шукається найближче до прийнятого сигналу допустиме значення. Воно використовується як зразковий сигнал, а різниця між цим значенням і прийнятим сигналом дає сигнал помилки, який і використано для адаптації. Якщо після налаштування вирівнювача, який здійснено в режимі навчання, рівень шумів на виході фільтру такий, що найближча допустима точка в множині випадків виявляється правильною (тобто якщо ймовірність помилки мала), адаптивний алгоритм зберігає стабільність.

В результаті моделювання (рис. 6), отримуємо частотний відгук каналу – крива позначена цифрою 1, вирівнювача – 2, та частотний відгук отриманий за певних умов і який є комбінацією частотного відгуку каналу та вирівнювача – 3. Можна спостерігати результат вирівнювання форми частотного відгуку.

Висновки

Основною властивістю адаптивної системи є змінне в часі функціонування з саморегулюванням.

Порівнюючи формули, що описують алгоритми RLS і Калмана, легко помітити їх схожість. Обчислювальна складність і якісні параметри двох алгоритмів також виявляються дуже близькими. Різниця полягає лише у вихідних посилках, що використовувалися при виведенні формул, і в трактуванні параметрів

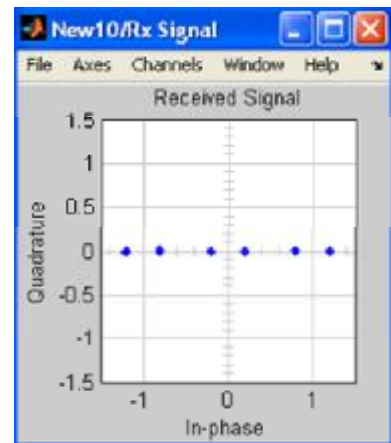


Рис. 5. Scatter – діаграма сигналу на виході каналу зв'язку

алгоритмів.

Основною перевагою алгоритму LMS є гранична обчислювальна простота – для підстроювання коефіцієнтів фільтра на кожному кроці потрібно виконати $N + 1$ пар операцій «множення-складання». Платою за простоту є повільна збіжність і підвищена дисперсія помилки в сталому режимі, що і збільшує рівень вихідного шуму (рис. 3).

Matlab Simulink – дуже потужний інструмент, який може використовуватися для моделювання в системах обробки сигналів. Шляхом побудови імітаційних моделей вдається зручно оцінювати, моделювати та досліджувати прикладні задачі використання адаптивних систем при вирішенні завдань ідентифікації, подавлення шумів та завад, вирівнювання каналу зв'язку тощо.

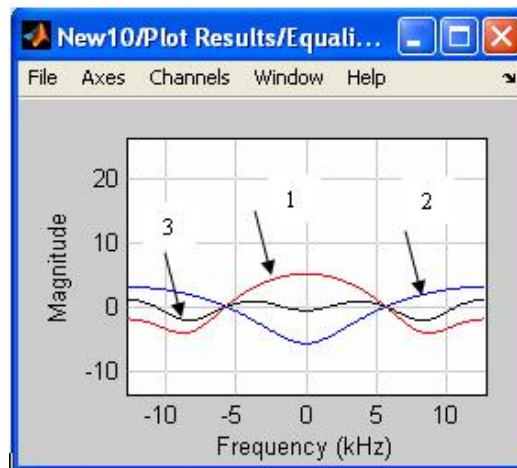


Рис. 6. Частотні відгуки в моделі системи зв'язку із адаптивним вирівнювачем

Література

1. Бойко Ю. М. Ідея адаптивної обробки сигналів /Ю. М. Бойко // Матеріали XIII Міжнародного молодіжного форуму [“Радиоэлектроника и молодежь в XXI веке”]. – Харків, 1.04. 2009. – С. 346.
2. Адаптивные фильтры / [под. ред. К.Ф.Н. Коуэна и П.М. Гранта]; [пер. с англ.]. – М: Мир, 1988. – 392 с.
3. Boyko J., Babiy J., Karpova L. Conceptual Features of Application of Facilities of Adaptive Filtration are in the Tasks of Authentication of Noise of Communication Channels / J. Boyko, J. Babiy, L. Karpova // Proceeding of the Xth International Conference TCSET 2010. – Lviv – 23.02.2010. P. 299.

Надійшла 25.3.2011 р.

УДК 004.9: 355

О.С. АНДРОЩУК

Національна академія Державної прикордонної служби України ім. Богдана Хмельницького, м. Хмельницький

НЕЙРОМЕРЕЖНІ МОДЕЛІ КЛАСИФІКАЦІЇ ТЕКСТОВИХ ДОКУМЕНТІВ

Надано нейромережні моделі на базі топологій багатопшарового перцептрону і мережі Кохонена для визначення класів за змістом текстових документів, які застосовуються у діяльності Державної прикордонної служби України. Подання тексту здійснено на підставі моделі терм-документ. Розроблені моделі дають більшу точність та повноту результатів порівняно зі статистичними класифікаторами.

Neurons networks models are represented on the base of topologies of MLP and networks of SOM for determination of classes on maintenance texts documents which are used in activity of Government boundary service. Presentation of text is carried out on the basis of model term is document. The developed models give greater exactness and plenitude of results as compared to statistical classifiers.

Ключові слова: нейронна мережа, текстовий документ, класифікація.

Вступ

Постановка проблеми. На сьогодні велика увага приділяється підвищенню рівня інтелектуальності різного роду автоматизованих систем, дослідженню і розробці методів і засобів подання знань, отриманню оптимальних рішень на їх основі. Це повною мірою стосується завдання автоматичної класифікації текстів, актуальність якої підвищується по мірі впровадження і розвитку інформаційних технологій.

Розвиток не тільки глобальних комп'ютерних мереж, але й повнотекстових баз даних призвів до постійного нарощування інформаційних текстових ресурсів. При постійному й інтенсивному зростанні обсягів текстової інформації труднощі пошуку необхідних відомостей серед множини доступних текстів значно зменшують її цінність. Тому особливу значущість автоматична класифікація текстових документів має для інформаційно-пошукових систем глобальних мереж, повнотекстових баз даних. Виходячи з цього, завдання автоматичної класифікації тексту, будучи окремим випадком завдання розпізнавання змісту, є на сьогодні актуальною проблемою, що стосується різних сфер людської діяльності, оскільки її вирішення надасть можливість повністю автоматизувати процес обробки, класифікації і пошуку інформації.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Існує безліч підходів до вирішення завдання автоматичної обробки, розпізнавання і класифікації текстової інформації, проте увага, що приділяється цій проблемі, однозначно свідчить, що жоден з них не є вичерпним. Найбільш часто для розпізнавання і класифікації (або генерації) мови використовуються статистичні методи. До них належать статистичні класифікатори на основі ймовірнісних методів, методи багатовимірного статистичного аналізу, зокрема, факторного аналізу, кластерного аналізу, таксономії, розпізнавання образів без вчителя, частотний аналіз

тексту тощо [1–3].

У деяких сферах (наприклад, лексико-граматичному аналізі речень, синтаксичному аналізі речень, автоматичному реферуванні) більшою мірою застосовуються лінгвістичні методи. Часто в системах автоматичного реферування застосовуються як лінгвістичні, так і статистичні методи.

Однак, недоліками зазначених вище підходів є: відсутність у моделі відомостей щодо структури й системи зв'язків реального об'єкта, що вносить суб'єктивізм у вибір як самої моделі, так й її структури; недостатня точність класифікації; значна чутливість отриманих результатів до недостатньої інформації та (або) її зашумленість; залежність результату класифікації від кваліфікації аналітика в конкретній предметній сфері.

Метою статті є розробка та дослідження нейромережних моделей визначення класів текстових документів, які застосовуються у діяльності Державної прикордонної служби України (ДПСУ).

Основний розділ

Для застосування математичних методів з подальшою автоматизацією це завдання можна подати як класифікацію описів службових ситуацій (СС), які виникають у службовій діяльності ДПСУ. Тобто необхідно визначити, до якого з відомих класів СС належать об'єкти (неформалізовані текстові описи на природній мові), що досліджуються. Тоді формалізація завдання класифікації СС здійснюється таким чином. Є множина об'єктів T – текстових документів та множина $C = \{c_i\} \ i = 1..N_c$ – СС, яка складається з N_c класів об'єктів. Кожний клас c_i подано деяким описом F_i , що має деяку внутрішню структуру. Процедура класифікації f об'єктів $t \in T$ полягає у виконанні перетворень над ними, після яких робиться або висновок про відповідність t одній зі структур F_i , що означає віднесення t до класу c_i , або висновок щодо неможливості класифікації t . Стосовно текстових описів елементами множини T є електронні версії текстових документів.

На підставі наведеного вище загальну модель класифікатора можна подати у такому вигляді [1]:

$$R = \langle T, C, F, R_c, f \rangle, \quad (1)$$

де T – множина текстів, які підлягають класифікації;
 C – множина класів ОС;
 F – множина описів;
 R_c – відношення на $C \times F$;
 f – операція класифікації виду $T \rightarrow C$.

Нейронні мережі можуть застосовуватися при вирішенні багатьох завдань обробки інформації, зокрема в завданнях класифікації. Як відомо, штучний нейрон виконує такі перетворення вхідного вектора $X = \{x_i\}$: $y = f_a(NE_T)$; $NE_T = S w_i x_i$, де w_i – ваговий вектор нейрона (ваги синаптичних зв'язків), NE_T – результат зваженого підсумовування, f_a – нелінійна функція активації нейрона. У термінах класифікатора (1) X відповідає внутрішнім описам $\{F_i\}$, а функції NE_T і f_a – компоненти процедури класифікації f . Функціональність нейрона є простою, тому для вирішення конкретних завдань нейрони об'єднуються в мережі. Навчання класифікатора за умови, що є вибраними топологія мережі і функція активації f_a , зводиться до підбору вагових коефіцієнтів кожного нейрона. У цій роботі розглядається застосування двох топологій: багатошарового перцептрон і мережі Кохонена.

Способи подання тексту. Нейронні мережі пристосовані обробляти лише інформацію, подану числовими векторами, тому для їх застосування в обробці текстів на природній мові (ТПМ) тексти необхідно подавати у векторному вигляді. У роботі подання тексту здійснено на підставі моделі терм-документ [4]. У цій моделі текст описується лексичним вектором $\{w_i\} \ i = 1..N_w$, де w_i – важливість (інформативна вага) терміну в документі, N_w – повна кількість термінів у документальній базі (словнику). Вага терміну, відсутнього в документі, приймається рівною 0. Для зручності ваги нормуються, так що $w_i \in [0,1]$. У роботі використовувалися дискретні значення: присутній термін у тексті має вагу 1, а відсутній – вагу 0. Перевагами цієї моделі є:

- можливість обліку морфології, коли всі форми одного слова відповідають одному терміну;
- можливість обліку синонімії: слова-синоніми оголошуються одним терміном словника;
- можливість обліку стійких словосполучень: як термін може виступати не окреме слово, а декілька зв'язаних слів, які утворюють єдине поняття.

Недоліки виокремимо таке:

- за відсутності простої додаткової обробки, такої як морфологічний аналіз, суттєво знижується якість класифікатора, оскільки різні форми одного слова вважаються різними термінами; разом із тим, морфологічний аналіз – дуже нетривіальне завдання, що вимагає для вирішення залучення лінгвістів;
- розмірність векторів $\{w_i\}$ залежить від загальної кількості термінів у навчальній вибірці текстів, що в реальних завданнях призводить до необхідності розробляти альтернативні структури даних, відмінні від векторів;
- словник термінів може не охоплювати всіх документів, які підлягають класифікації. Аналізовані документи можуть містити значущі терміни, які не увійшли до навчальної вибірки, що негативно позначається на адекватності моделі.

Багатошаровий перцептрон БШП (англомовний термін – MLP). Базова архітектура БШП включала три шари: N -вхідний шар нейронів, кількість входів дорівнює кількості ознак-термінів (дескрипторів); вихідний шар, що складається з M нейронів згідно з кількістю класів розбиття; проміжний шар – для визначення кількості нейронів у ньому використовувалося евристичне правило, виходячи з якого було визначено число, що дорівнює $(N+M)/2$ нейронів. База даних була розбита на навчальну контрольну і

тестову вибірку; співвідношення між навчальною і контрольною вибіркою складало 3: 1, приклади, що залишилися, були використані як тестові. Навчання мережі проводилося з використанням нейромережного пакету STATISTIKA Neural Networks за алгоритмом Back Propagation (зворотне розповсюдження помилки). Як функція помилки використовувалася середньоквадратична помилка. Як пороги прийняття/відкидання були прийняті значення 0,95/0,5. Навчання мережі потребувало близько 500 ітерацій. У результаті роботи такої мережі було одержано такі характеристики якості її роботи: помилка на навчальній, контрольній і тестовій множині складала 0,00988, 0,10550 і 0,06545 відповідно. Необхідно відзначити, що використання деяких прийомів, які надають можливість покращити ефективність ШНМ, таких як включення додаткових нейронів у проміжний шар, ослаблення порогів прийняття/відкидання, не принесло бажаних результатів. Отже, можна зробити висновок про те, що для отримання задовільних результатів автоматичної класифікації є необхідною більша кількість даних для навчання.

Мережа Кохонена (англомовний термін – SOM). Призначення мережі Кохонена [6] – розділення векторів вхідних сигналів на групи, тому можливість подання текстів у вигляді векторів дійсних чисел надасть можливість застосовувати цю мережу для їх класифікації. Мережа складається з одного шару, що має форму прямокутних ґрат для g -х зв'язаних нейронів і форму соти для h -и зв'язаних.

Вектори X , що аналізуються, подаються на входи всіх нейронів. За наслідками навчання геометрично близькі нейрони виявляються чутливими до схожих вхідних сигналів, що може бути використано в завданні класифікації таким чином. Для кожного класу визначається центральний нейрон і довірча область навколо нього. Критерієм межі довірчої області є відстань між векторами сусідніх нейронів і відстань до центрального нейрона області. При подачі на вхід навченої мережі вектора тексту активізуються деякі нейрони (можливо з різних областей), текст належить до того класу, у довірчій області якого активізувалась найбільша кількість нейронів і якомога ближче до її центру. Алгоритм навчання мережі полягає в наступному. Усі вектори повинні лежати на гіперсфері одиничного радіусу. Задається міра сусідства нейронів, що надає можливість визначати зони топологічного сусідства в різні моменти часу. На рис. 1 показано зміну цієї величини $NE_j(t)$ для деякого j -го нейрона.

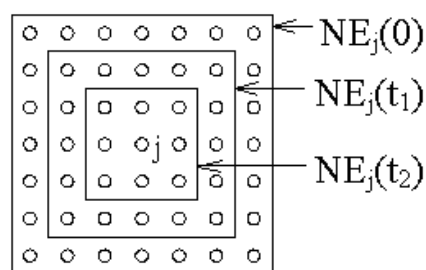


Рис. 1. Зони топологічного сусідства на мапі ознак

Крім того, задається розмір ґрати і розмірність вхідного вектора, а так само визначається міра подібності векторів S . Далі виконуються такі кроки для кожного вектора навчальної вибірки:

1. Початкова ініціалізація площини може бути проведена, наприклад, довільним розподілом вагових векторів на гіперсфері одиничного радіусу.
2. Мережі подається вхідний вектор тексту X_u , обчислюється міра подібності $S(X, W_j)$ для кожного j -го нейрона мережі. Нейрон, для якого S_j є максимальною, вважається поточним центром і для нього визначається зона сусідства $NE_j(t)$.
3. Для всіх нейронів, що потрапляють у зону $NE_j(t)$ (див. рис. 1), проводиться корекція ваг за правилом $w_{ij}(t+1) = w_{ij}(t) + \lambda(x_i(t) - w_{ij}(t))$, де λ – крок навчання, що зменшується з часом. Величина $NE_j(t)$ зменшується з часом так, що спочатку вона охоплює всю мережу, а в кінці навчання зона звужується до одного-двох нейронів, коли λ також достатньо мале.

Як свідчать експерименти, на навчання мережі Кохонена впливає наступне:

1. Кількість нейронів та їх розміщення. Кількість нейронів слід вибирати не менше, ніж кількість груп, які потрібно одержати. Розташування нейронів на двовимірній площині залежить від завдання, що вирішується. Як правило, вибирається або квадратна матриця нейронів, або прямокутна з відношенням сторін, близьким до одиниці.
2. Початковий стан. У цьому випадку застосовується ініціалізація випадковими значеннями. Це не завжди призводить до бажаних результатів. Один із можливих варіантів покращання цього – обчислення характеристичних векторів репрезентативної вибірки текстів, що визначають межу двовимірної площини проєкції. Після цього вагові вектори нейронів рівномірно розподіляються в одержаному діапазоні.
3. Характер зміни топологічної зони сусідства $NE_j(t)$. Визначає область нейронів, які підлягають навчанню. Чим швидше скорочуватиметься ця область, тим більше класів буде утворено, тим більшою є точність і меншою повнота.
4. Тип даних, що подаються на вхід. Для лексичних векторів фактично проводиться обробка по наявних в документі термах, що дає достатньо добрі результати. У цьому випадку можна виокремлювати документи за специфікою словарного набору. Проте без застосування морфологічного аналізу цей метод неможливо застосовувати, оскільки різко збільшується обчислювальна складність.
5. Послідовність подачі на вхід векторів документів із різних груп. Оскільки коефіцієнт швидкості навчання з часом змінюється, результати подачі на вхід різних векторів текстів виявляються різними. При великому початковому значенні λ відбувається інтенсивна модифікація всіх нейронів навколо переможця. При випадковій подачі документів із різних груп області близькості утворюються рівномірно.

Моделювання проводилося для баз текстових документів двох типів, які стосуються надзвичайних ситуацій природного та техногенного походження (171 документ, 270 термінів) у діяльності ДПСУ. У

найкращому випадку класифікація здійснює абсолютно правильне розбиття документів на дві групи: один клас відповідає природнім, інший – техногенним надзвичайним ситуаціям.

Результати застосування різних класифікаторів надано у табл. 1.

Таблиця 1

Експериментальне дослідження класифікаторів

Вид класифікатора Показник	Статистичні класифікатори	Класифікатори, які засновані на функціях подібності	Нейромережні класифікатори	
			Багатошаровий перцептрон	Мережа Кохонена
Точність (<i>V</i>)	0,25	0,43	0,68	0,89
Повнота (<i>U</i>)	0,34	0,45	0,75	0,81

Висновки

Отже, у роботі надано класифікатори текстових документів на підставі нейромережних моделей. Проведено їх дослідження для здійснення класифікації текстових документів, які свідчать, що розроблені моделі дають більшу точність та повноту результатів порівняно зі статистичними класифікаторами.

Наступним кроком дослідження є обґрунтування та вибір алгоритмів класифікації, їх можлива модифікація, що найкращим чином буде відповідати умовам автоматизації текстових документів.

Література

1. Классификация и кластер: [сб. ст. / под ред. Дж. В. Райзина]. – М.: Мир, 1980.
2. Кочетков П. А. Краткий курс теории вероятностей и математической статистики: [учебное пособие] / Кочетков П. А. – М.: МГИУ, 1999. – 51 с.
3. Елисеєва И. И. Общая теория статистики: [учебник] / И. И. Елисеєва, М. М. Юзбашев; под ред. И. И. Елисеєвой. – [5-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 656 с.
4. Солтон Дж. Динамические библиотечно-поисковые системы / Солтон Дж. – М.: Мир, 1979.
5. Осовский С. Нейронные сети для обработки информации / С. Осовский; [пер. с польского И. Д. Рудинского]. – М.: Финансы и статистика, 2002. – 344 с.
6. Круглов В. В. Искусственные нейронные сети / В. В. Круглов, В. В. Борисов. – М.: Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с.

Надійшла 19.3.2011 р.

УДК 004.413.5; 004.416.6

В.С. ЯКОВИНА, Я.М. ЧАБАНЮК, М.М. СЕНІВ, У.Т. ХІМКА

Національний університет "Львівська політехніка"

ОЦІНЮВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ НАДІЙНОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ МОДЕЛІ З ІНДЕКСОМ СКЛАДНОСТІ ПРОЕКТУ

В роботі описано процес оцінювання та прогнозування надійності програмного забезпечення на основі моделі з індексом складності програмного продукту. За статистичними характеристиками опису експериментальних даних різними моделями встановлено, що модель з індексом складності продукту більш адекватно описує реальні експериментальні дані ніж S-подібна модель та модель Goel-Okumoto. Встановлено, що залежності параметрів моделі для різних тестових профілів є близькими між собою і виявляють однакову поведінку, що підтверджує ефективність використання цих параметрів для критерію достатності процесу тестування та визначення точки переходу вибірки вхідних даних до пуассонового розподілу.

This paper describes the process of evaluation and prediction of software reliability based on a model with software project complexity index. According to the statistical characteristics of experimental data description by the different models it has been determined that the model with product complexity index more adequately describes the real experimental data than the S-shaped model and the Goel-Okumoto model. It has been determined that the dependencies of the model parameters for different test profiles are close to each other and show the same behavior. It confirms the effectiveness of using these parameters for the testing process adequacy criterion and for the determination of the transition point of sample input data to Poisson distribution.

Ключові слова: надійність програмного забезпечення, життєвий цикл програмного забезпечення, моделювання надійності, програмна інженерія.

Вступ

Підвищення рівня складності сучасної техніки та все ширше її використання в усіх галузях людської життєдіяльності висувають все вищі вимоги до її надійності та експлуатаційної безпеки. Широке розповсюдження різноманітних програмно-апаратних комплексів та обчислювальних систем, що замінюють

виключно апаратні рішення, потребує окремого ретельного розгляду надійності програмного забезпечення (ПЗ).

Існує багато точок зору на означення надійності ПЗ та його кількісну оцінку [1]. Дехто вважає, що ця оцінка повинна бути бінарною за своєю природою, так що недосконала програма повинна мати нульову надійність, а досконала – одиничну. Ця точка зору проводить паралель з верифікацією програми, в якій програма є або коректною, або некоректною. Інша точка зору полягає в тому, що надійність ПЗ повинна бути означена через відносну частоту успішних запусків програми, протягом яких вона працює так, як очікується. Ця точка зору подібна до тієї, що лежить в основі тестування, де відсоток успішних випробувань використовується в якості міри якості програми.

Більш строгі визначення надійності ПЗ наведено в [1]. Нехай F – доволіно визначений клас помилок, а T – відносна міра часу, одиниці вимірювання якої визначаються конкретною програмою, надійність якої оцінюється. Тоді надійністю програмного продукту по відношенню до класу помилок F і відносно метрики часу T є імовірність того, що жодної помилки цього класу не виникне протягом виконання програми за наперед заданий відносний період часу.

Для розв'язання таких задач оцінки та прогнозування надійності на даний час використовують моделі надійності ПЗ [2– 4]. Модель надійності програмного забезпечення передбачає побудову математичної моделі для оцінки залежності надійності програмного забезпечення від певних параметрів. Зокрема, параметрами, що пов'язані з деякою гілкою програми на підмножині наборів вхідних даних, за допомогою яких ця гілка контролюється [4]. Іншими такими параметрами є частота помилок, які дозволяють оцінити якість систем реального часу що функціонують в безперервному режимі, і в той же час отримувати непряму інформацію про надійність ПЗ [4].

В основу значної кількості моделей надійності, предметом дослідження яких є кількість помилок у визначеному часовому інтервалі (при цьому вважають, що кількість помилок відповідає відомому стохастичному процесу з дискретною або неперервною інтенсивністю виявлення помилок, що залежить від часу), покладено розподіл Пуассона. Використання цього розподілу випадкових величин добре зарекомендувало себе в багатьох областях, де основна зацікавленість полягає в обчисленні кількості подій протягом інтервалів часу [1].

До таких моделей відносяться моделі: Shooman [5], Jelinski–Moranda [6], Schick–Wolverton [7], Musa [8], Schneidewind [9], Goel–Okumoto [10], S-подібна модель зростання надійності [11] тощо. Крім того нещодавно була представлена "узагальнена модель негомогенного пуассонівського процесу" [12]. Для підвищення точності цієї моделі автори [12] пропонують використовувати таку форму кривої інтенсивності виявлення несправностей, у якій введено додатковий параметр n для оцінки величини проекту, де вибір параметру n залежить від процесу проведення тестування. Основним недоліком моделей [5– 12] є те, що внаслідок припущень і спрощень, вони не достатньо повно відображають процес тестування, а їх результати не завжди збігаються з практичними [12, 13].

Авторами було побудовано модель надійності ПЗ [14, 15], яка відноситься до класу моделей на основі кількості помилок і узагальнює пуассонів розподіл на випадок дійсного індексу складності програмного продукту на відміну від існуючих моделей [5– 12]. Крім того, було розроблено метод оцінювання та прогнозування надійності програмного забезпечення на основі запропонованої моделі з дійсно значним індексом складності продукту [16].

Метою цієї роботи є аналіз ефективності застосування моделі і методу оцінювання та прогнозування надійності ПЗ на основі експериментальних даних тестування програмного продукту.

Опис моделі надійності програмного забезпечення.

В запропонованій моделі [14] вважається, що кількість виявлених помилок розподілена за законом Пуассона. Крім того індекс складності продукту є параметром моделі та визначається на основі експериментальних даних і набуває значення з дійсного діапазону і завжди більший від нуля.

Пропонується наступний вигляд функції інтенсивності виявлення несправностей:

$$I(t) = ab^{s+1}t^s \exp(-bt),$$

де a – коефіцієнт, що визначає загальну кількість помилок в ПЗ, b – коефіцієнт, що характеризує загальну тривалість процесу виявлення помилок, s – індекс складності продукту.

Для заданої функції інтенсивності функція кумулятивної кількості несправностей [11] має вигляд:

$$m(t) = \int_0^t I(t) dt = a \left[-b^s t^s e^{-bt} + s \Gamma_{br}(s) \right],$$

де $\Gamma_z(p) = \int_0^z t^{p-1} e^{-t} dt$, ($\text{Re } p > 0$) – неповна гама-функція. Зауважимо, що при $s = 1$ функція

інтенсивності виявлення несправностей та кумулятивна функція співпадають з виглядом відповідних функцій S-подібної моделі [11].

Таким чином, загальна кількість помилок в ПЗ визначається через кумулятивну функцію при $t \rightarrow \infty$ наступним співвідношенням:

$$m(\infty) = a s \Gamma(s),$$

де $\Gamma(s)$ – гама-функція.

Отже, аналітичний вигляд побудованої моделі дозволяє узагальнити вираз для загальної кількості помилок в системі, яка залежить від величини та складності продукту і визначається параметрами моделі. Крім того, частковий випадок при $s = 1$ (S-подібна модель) з урахуванням того, що $\Gamma(1) = 1$, дає значення $m(\infty) = a$, що відповідає S-подібній моделі.

Проведені попередні дослідження дозволяють встановити наступні інтервали для індексу складності програмного продукту:

- при $s \in (0; 0,7)$ програму можна вважати нескладною,
- при $s \in [0,7; 1,5)$ програму можна вважати середньої складності,
- при $s \in [1,5; 2,2)$ програму можна вважати складною,
- при $s \in [2,2; e]$ – дуже складною.

Важливим прикладним аспектом моделей надійності ПЗ може стати встановлення кількісного критерію достатності процесу тестування програмного продукту, який би дозволив керівникам програмних проєктів більш обґрунтовано приймати рішення про виділення ресурсів на тестування та про завершення цього етапу розробки ПЗ. Такі дослідження на основі побудованої моделі проводились авторами в роботі [15].

В цій роботі показано, що на пізніх етапах тестування ПЗ, коли корельовані помилки виявлені та усунені, а кількість тих помилок, що виявляються на проміжку $[t_i; t_{i+1}]$ розподілена за пуассонівським законом, якісна характеристика розподілу (параметр s) вже практично не змінюється, а змінюються в основному кількісні характеристики (параметри a та b), що дозволило формалізувати критерій достатності процесу тестування ПЗ наступним чином [15]:

$$\frac{ds(t)}{dt} \rightarrow 0.$$

Зауважимо, що усі інші моделі надійності ПЗ на основі розподілу Пуассона не дозволяють отримати такий критерій внаслідок відсутності необхідних параметрів моделей, які б описували якісну зміну форми інтенсивності виявлення помилок.

Запропонований критерій достатності процесу тестування можна використати у поєднанні із визначенням залишкової кількості помилок в програмному продукті (як і в інших моделях) і прийняти обґрунтоване рішення про розподіл ресурсів проєкту зі створення програмного продукту.

Опис вхідних експериментальних даних

З метою коректного порівняння ефективності використання моделі надійності з індексом складності програмного продукту в цій роботі використано дані другого експерименту, описаного в роботі [13], стосовно яких було зроблено висновок щодо невідповідності їх розподілу пуассоновому, а відповідно моделі, в основі яких лежить такий розподіл, недостатньо коректно описують поведінку експериментальних даних [13].

В якості об'єкту дослідження використовувався програмний засіб під назвою SESD (Software Environment for Software Data collection) [13]. Функціональність цього засобу полягала в граматичному аналізі, що використовується в середовищах програмування для збирання програмних даних. Цей програмний засіб містив 3559 рядків коду мовою C++, серед яких 3179 – виконуваного коду. Вхідними даними для засобу SESD є будь-яка програма мовою C. Для такого входу засіб створює п'ять вихідних значень: кількість рядків коду; загальна кількість використання операторів; загальна кількість використання операндів; кількість унікальних використань операторів; кількість унікальних використань операндів. Засіб SESD був реалізований одним програмістом [13], а потім був предметом незалежного тестування. Під час процесу тестування було виявлено і задокументовано 28 дефектів.

Для отримання експериментальних даних виявлені 28 дефектів були повторно введені в програму SESD. Після цього програма пройшла процес автоматизованого випадкового тестування з використанням платформи SRATE (Software Reliability Analysis, Testing, and Evaluation), розробленої авторами роботи [13]. Програма SESD без уведених 28 дефектів використовувалась в якості еталонної для оцінювання коректності отриманих результатів. Будь-яке відхилення між результатами виконання тестового випадку (test case) досліджуваною програмою та результатами виконання тестового випадку еталонною програмою розцінювалось як помилка програми. Один і тільки один дефект, що спричиняв помилку, вилучався з програми після виявлення помилки. Множина тестів містила 5477 тестових випадків, в якій один тестовий випадок відповідав одній програмі мовою C [13]. Ці програми мовою C були завантажені з мережі Інтернет. Під час тестування було виявлено, що 2 з 28 дефектів не виявлялись на даній множині тестів. Оскільки в реальних умовах індустрії програмного забезпечення процес тестування може бути припинено до виявлення усіх дефектів, в цьому експерименті кожен раунд тестування припинявся після виявлення 25 дефектів, незалежно, скільки часу це займало. Було проведено 40 раундів тестування. Для кожного раунду

створювався відповідний профіль тестування. Цей профіль являв собою деяку випадкову послідовність (з однорідним розподілом) вхідних файлів з множини тестів, які подавались на вхід програми SESD [13].

В якості часової шкали використовувалась кількість ітерацій (тестових випадків), як універсальна міра, що не залежить від зовнішніх факторів та умов тестування [1, 13]. В цій роботі, для використання розробленої моделі, експериментальні дані з роботи [13], які представляли у вигляді номерів ітерацій, на яких було виявлено помилки, були розбиті на інтервали по 10 ітерацій, для яких рахувалась кількість помилок на відповідному інтервалі, після чого будувалась кумулятивна функція помилок. Для досліджень, пов'язаних з визначенням критерію достатності процесу тестування, вхідні дані додатково опрацьовувались наступним чином:

- раунд тестування розбивали на фази, в даному випадку по 50 ітерацій;
- після кожних 50 ітерацій тестування на інтервалі $(0, t_i]$ отримували точкові оцінки параметрів

моделі \hat{a} , \hat{b} та \hat{s} .

Такі дії мали на меті імітувати використання моделі надійності на етапі тестування проектів з розробки програмного забезпечення, де проводиться певна кількість тестувань, після чого кожного разу приймається рішення про продовження чи достатність етапу тестування.

Дослідження проводились як для усереднених за усіма 40 раундами значень кількості помилок, так і для значень кількості помилок, отриманих протягом 10-го, 20-го, 30-го і 40-го раундів з метою встановлення статистичної однорідності отриманих результатів та точкових оцінок параметрів моделі. Крім моделі з індексом складності програмного продукту, для опису експериментальних даних використовували модель Goel– Okumoto [10] та S-подібну модель [11].

Опис та аналіз отриманих результатів

Першим кроком досліджень був опис кумулятивної функції помилок відповідними функціями моделей надійності ПЗ та отримання точкових оцінок параметрів моделей. Точкові оцінки параметрів моделей отримували методом максимальної правдоподібності. Точкові оцінки параметрів розглянутих моделей надійності та прогнозована кількість помилок при $t = \infty$ для кожної моделі наведені в табл. 1. Як видно з цієї таблиці усі три моделі дають однаковий прогноз загальної кількості помилок в програмі і не дозволяють виявити помилки, які не проявляються при тестуванні. Таким чином ці результати не дають можливості порівняти якість опису експериментальних даних розглянутими моделями надійності ПЗ.

Таблиця 1

Точкові оцінки параметрів моделей.

Модель	α	β	s	Прогноз помилок
Модель Goel– Okumoto	25,08	0,016	–	25,08
S-подібна модель	25,08	0,028	–	25,08
Модель з індексом складності продукту	26,75	0,013	0,137	25,08

Усереднене за 40 раундами тестування значення кумулятивної функції помилок та результати опису цієї функції різними моделями надійності ПЗ зображено на рис. 1. На цьому рисунку крапками зображено експериментальні дані, крива 1 відповідає кумулятивній функції моделі з індексом складності продукту, крива 2 – моделі Goel– Okumoto, крива 3 – S-подібній моделі. Як видно з рис. 1 на пізніх етапах тестування усі моделі практично однаково описують експериментальні дані, що узгоджується з результатами роботи [13]. Однак на початкових етапах тестування модель Goel– Okumoto, так само як і S-подібна модель, дещо гірше описують дані тестування реального ПЗ, на відміну від моделі з індексом складності продукту (крива 1).

Для статистичного оцінювання якості опису експериментальних даних моделями надійності ПЗ було розраховано квадрат коефіцієнта кореляції Пірсона (R^2) та середньоквадратичне відхилення від експерименту для кожної моделі. Значення цих величин наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Якість опису експериментальних даних дослідженими моделями

Модель	R^2	Середньоквадратичне відхилення
Модель Goel– Okumoto	0,974	0,137
S-подібна модель	0,995	0,105
Модель з індексом складності продукту	0,989	0,080

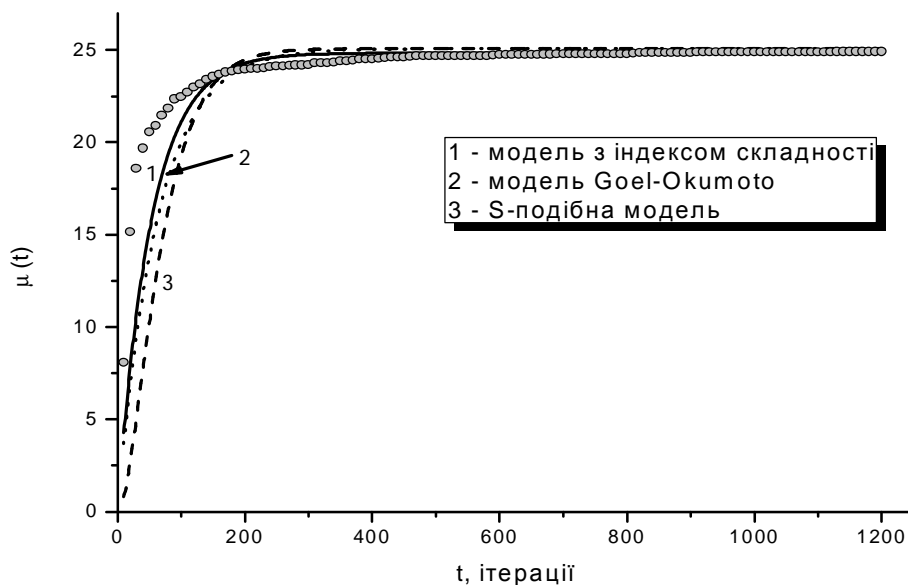
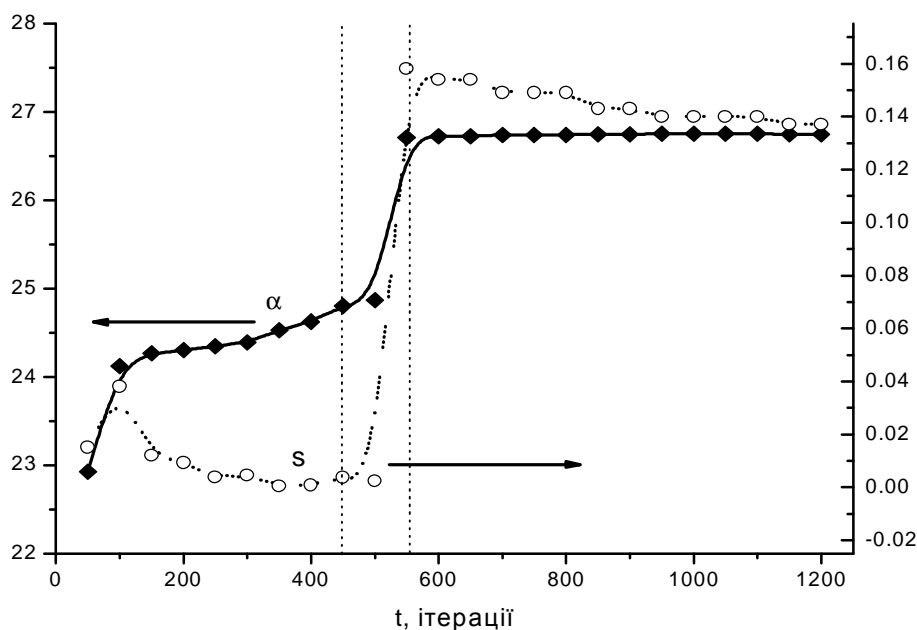


Рис. 1. Опис кумулятивної функції помилок різними моделями надійності

Як видно з табл. 2 найгіршими статистичними показниками якості опису експериментальних даних володіє модель Goel– Okumoto – квадрат коефіцієнту кореляції є найменшим (0,974), а середньоквадратичне відхилення найбільше (0,137). Модель з індексом складності продукту за середньоквадратичним відхиленням суттєво (більш ніж на 20 %) переважає S-подібну модель (0,080 проти 0,105), в той час як за значенням квадрату коефіцієнту кореляції дещо поступається S-подібній моделі (0,989 проти 0,995). Такі результати можна пояснити тим, що коефіцієнт кореляції, на відміну від середньоквадратичного відхилення описує узгодженість моделі з реальними даними з ймовірністю близькою до одиниці, в той час як середньоквадратичне відхилення характеризує апроксимацію моделі до статистичних даних в рівномірній метриці. Таким чином за статистичними характеристиками якості опису експериментальних даних різними моделями можна зробити висновок, що модель з індексом складності продукту більш адекватно описує реальні експериментальні дані порівняно з традиційними S-подібною та моделлю Goel– Okumoto.

Для ілюстрації та аналізу критерію достатності процесу тестування [15] були побудовані залежності параметрів трьох досліджуваних моделей надійності залежно від ітерацій, на яких було припинено тестування (рис. 2– 4). Побудова таких залежностей відповідає практиці проведення тестування, коли здійснюється певна ітерація (цикл тестування), після якої оцінюється якість програмного продукту. Пропонується після кожного такого циклу описувати отримані результати моделлю надійності, та визначати досягнення критерію достатності процесу тестування, який використовувати як важливий параметр при прийнятті рішень стосовно проекту.

Рис. 2. Залежність параметрів α і S моделі з індексом складності від тривалості процесу тестування

На рис. 2 зображено залежність параметрів a і s моделі з індексом складності від тривалості процесу тестування. Особливість залежності параметру a моделі з індексом складності (на відміну від інших моделей – рис. 4) в діапазоні 450–550 ітерацій добре корелює з висновками, які можна зробити з аналізу результатів роботи [13] – після 500 ітерацій кількість виявлених помилок реального ПЗ розподілена за Пуассоном, тоді як в області менших значень кількість помилок перевірка такої гіпотези дає негативний результат. Отже, залежність параметру a моделі з індексом складності, крім іншого, дозволяє встановити точку переходу до пуассонового розподілу кількості виявлених помилок. Так само як і в роботі [15], залежність індексу складності проекту від тривалості процесу тестування виявляє чітку особливість, яку було покладено в основу критерію достатності процесу тестування. Ця особливість полягає в тому, що при $t \geq 550$ (що знову таки відповідає переходу до пуассонового розподілу часу виявлення помилок) значення s наближається до постійної величини, на відміну від такої залежності при $t < 500$. Залежність критерію достатності процесу тестування (ds/dt) [15], отриману шляхом чисельного диференціювання даних з рис. 2, наведено на рис. 3 (б). Як бачимо така залежність наочно ілюструє критерій достатності процесу тестування ПЗ і показує наближення цього критерію до нуля при переході експериментальних даних до пуассонового розподілу.

На рис. 3 зображено залежність параметру b (а) та критерію достатності процесу тестування (б) моделі з індексом складності від тривалості процесу тестування (номеру ітерації, на якій було припинено тестування для отримання точкових оцінок параметрів моделі). Так само, як і в роботі [15] для інших експериментальних даних, параметр b моделі з індексом складності не може бути основою для визначення критерію достатності процесу тестування, оскільки його залежність від ітерацій тестування є практично гладкою функцією без особливостей. В цьому випадку також практично відсутня навіть будь-яка особливість залежності параметру b для запропонованої моделі в околі 500 ітерацій на відміну від параметру a (рис. 2). З рис. 2 та 3 видно, що на пізніх етапах тестування ПЗ, коли корельовано помилки виявлені та усунені, а кількість виявлених помилок, що залишилися відповідає пуассоному розподілу, якісна характеристика розподілу (параметр s) практично не змінюється, а змінюються в основному кількісні характеристики (параметри a та b).

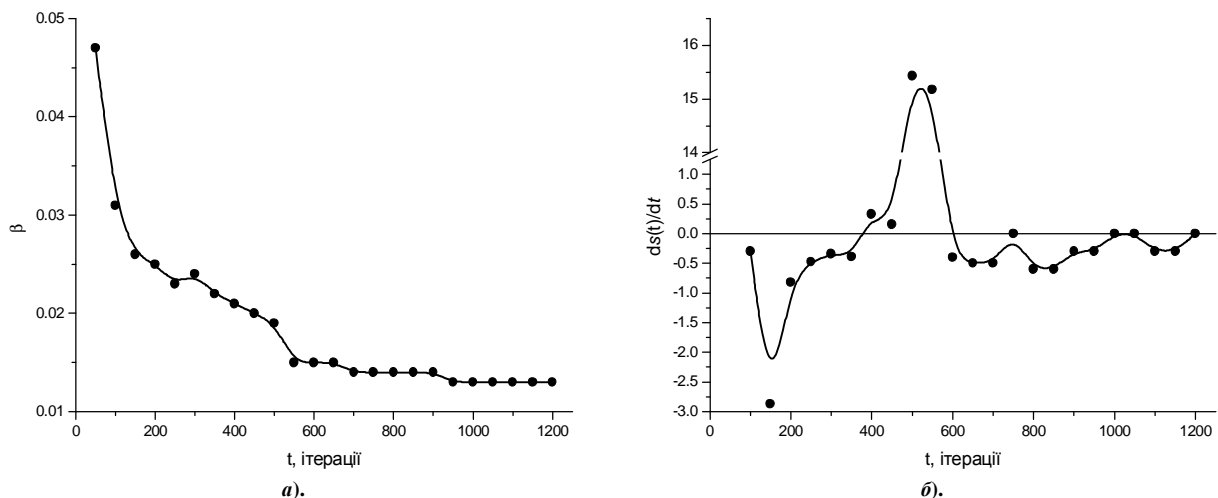


Рис. 3. Залежність параметру b (а) і критерію достатності процесу тестування (б) моделі з індексом складності від тривалості процесу тестування

На протипагу моделі з індексом складності, S-подібна моделі та модель Goel–Okumoto, залежності параметрів яких від тривалості процесу тестування наведені на рис. 4 (а) і (б) відповідно, не виявляють характерних особливостей, які можна було в використати в якості критерію достатності процесу тестування чи для визначення точки переходу до пуассонового розподілу вхідних величин. Як видно з рис. 4 залежності усіх параметрів обох моделей від тривалості процесу тестування є гладкими кривими, при цьому залежності параметрів моделі Goel–Okumoto проявляють деякий стрибок при $t = 100$ (рис. 4 б) на відміну від параметрів S-подібної моделі (рис. 4 а), залежність яких є плавною в усьому дослідженому діапазоні.

Для встановлення однорідності і адекватності використання моделі з індексом складності при використанні на різних наборах тестових профілів було проведено дослідження параметрів моделі для різних раундів тестування та їх статистичний опис. На рис. 5 зображено залежності параметрів a (а) та s (б) моделі з індексом складності від тривалості процесу тестування для різних тестових профілів. Як видно з цього рисунку, усі залежності для різних раундів тестування є близькими між собою і проявляють однакові якісні залежності з різким стрибком в околі $t = 500$, що підтверджує припущення про ефективність використання цих параметрів для критерію достатності процесу тестування та визначення точки переходу

вибірки вхідних даних до пуассонового розподілу.

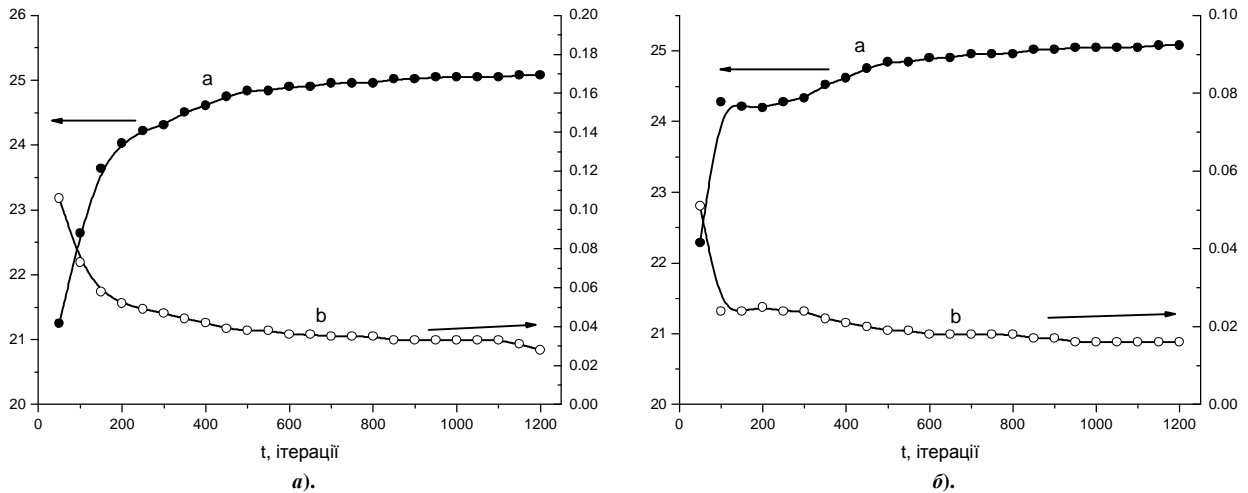


Рис. 4. Залежність параметрів S-подібної моделі (а) та моделі Goel-Okumoto (б) від тривалості процесу тестування

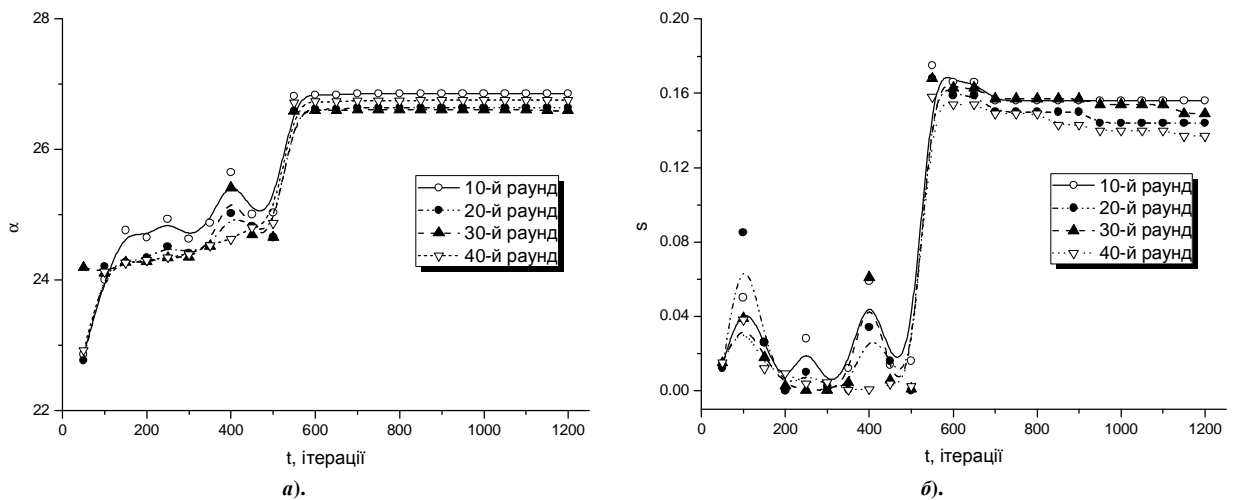


Рис. 5. Залежність параметрів α (а) та s (б) моделі з індексом складності від тривалості процесу тестування для різних тестових профілів

Для кількісної характеристики однорідності розподілу точкових оцінок параметрів моделі з індексом складності розраховано статистичні характеристики такого розподілу. Основною характеристикою в цьому випадку є структурна характеристика вибірки – медіана. Вона практично визначає структуру вибіркових даних і визначається через ці дані. Цей показник має статус основного або головного при асиметричному розподілі даних, причому, у випадку асиметрії розподілу медіана бере на себе роль середнього значення, крім того, медіана вважається найбільш стійкою характеристикою вибірки, а тому може бути основою для критерію оптимального розподілу даних в інтервалах. Крім того розмах між мінімальним та максимальним значенням точкової оцінки кожного параметру не перевищує 15% (а у випадку параметру α – 1%) з дуже низькими значеннями дисперсії та стандартного відхилення, що також свідчить про хорошу однорідність вибірки.

Таблиця 3

Статистичні характеристики розподілу точкових оцінок параметрів моделі для різних вхідних наборів тестових даних

Параметр	α	β	s	$as\Gamma(s)$
Найбільше значення	26,849	0,015	0,156	25,08
Найменше значення	26,592	0,013	0,137	24,82
Розмах	0,257	0,002	0,019	0,26
Медіана	26,691	0,014	0,147	24,95
Середнє арифметичне значення	26,706	0,014	0,147	24,95
Дисперсія	0,014	$6,7 \cdot 10^{-7}$	$6,4 \cdot 10^{-5}$	0,013
Стандартне відхилення	0,12	$8,2 \cdot 10^{-4}$	$8,0 \cdot 10^{-3}$	0,11

Оскільки, середнє вибірки є незміщеною ефективною і правдивою оцінкою для математичного

сподівання випадкової величини та з близькості значень медіани і середнього арифметичного, можна зробити висновок, що дані є статистично однорідними. Це дозволяє використовувати нашу модель для прогнозування помилок одного типу окремо.

Висновки

В роботі проведено є аналіз ефективності застосування моделі і методу оцінювання та прогнозування надійності ПЗ на основі експериментальних даних тестування програмного продукту.

Проведено порівняльний аналіз існуючих та розробленої моделей надійності ПЗ на реальних тестових прикладах та показано переваги моделі з індексом складності продукту над S-подібною моделлю та моделлю Goel– Okumoto. Показано, що на пізніх етапах тестування усі моделі практично однаково описують експериментальні дані, однак на початкових етапах тестування модель Goel– Okumoto, так само як і S-подібна модель, дещо гірше описують дані тестування реального ПЗ, на відміну від моделі з індексом складності. За статистичними характеристиками якості опису експериментальних даних різними моделями встановлено, що модель з індексом складності продукту більш адекватно описує реальні експериментальні дані.

Показано, що залежність параметру a моделі з індексом складності від тривалості процесу тестування дозволяє встановити точку переходу до пуассонового розподілу кількості виявлених помилок, в той час як залежність індексу складності проекту є основою критерію достатності процесу тестування. Показано, що на пізніх етапах тестування ПЗ, коли корельовано помилки виявлені та усунені, а кількість виявлення тих помилок, що залишились відповідає пуассоновому розподілу, якісна характеристика розподілу (параметр s) практично не змінюється, а змінюються в основному кількісні характеристики (параметри a та b).

Встановлено, що залежності параметрів моделі для різних тестових профілів є близькими між собою і проявляють однакові якісні залежності, що підтверджує припущення про ефективність використання цих параметрів для критерію достатності процесу тестування та визначення точки переходу вибірки вхідних даних до пуассонового розподілу.

Статистичні характеристики вибірки точкових оцінок параметрів моделі для різних тестових профілів показують високу однорідність даних, що підтверджує адекватність та ефективність використання моделі з індексом складності для різних наборів вхідних даних.

Література

1. Goel, A.L. Software reliability models: assumptions, limitations, and applicability // IEEE Transactions on software engineering. 1985, Vol. SE-11, No 12, pp. 1411-1423.
2. Половко А. М. Основы теории надежности / А. М. Половко. С. В. Гуров. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.
3. Липаев В. В. Надежность программных средств / Липаев В. В. – М.: СИНТЕГ, 1998. – 232 с.
4. Тейер Т., Липов М., Нельсон Э. Надежность программного обеспечения / Тейер Т., Липов М., Нельсон Э.; [пер. с англ.]. – М.: Мир, 1981. – 323 с.
5. Shooman M. L. Probabilistic models for software reliability prediction // in Statistical Computer Performance Evaluation. – W. Freiberger, Ed. – New York: Academic. – 1972. – P. 485– 502.
6. Jelinski Z. and P. Moranda Software reliability research // in Statistical Computer Performance Evaluation. – W. Freiberger, Ed. – New York: Academic. – 1972. – P. 465– 484.
7. Schick G. J. and R.W. Wolverton Assessment of software reliability // Proc. Oper. Res. – Physica-Verlag. – Wurzberg-Wien. – 1973. – P. 395– 422.
8. Musa J. D. A theory of software reliability and its application // IEEE Transactions on Software Engineering. – SE-1 (3). – 1975. – P. 312– 327.
9. Schneidewind N. F. Analysis of Error Process in Computer Software // Sigplan Note. – Vol. 10. – No.6. – 1975. – P.337– 346.
10. Goel A. L., Okumoto K. Time-Dependent Error-Detection Rate Model for Software and other Performance Measures // IEEE Transactions on Reliability. – Vol. R-28. – No. 3. – 1979. – P. 206– 211.
11. Yamada S., Ohba M., Osaki S. S-shaped reliability growth modeling for software error detection // IEEE Transactions on Reliability. – Vol. R-32. – No.5. – 1983. – P. 475– 478.
12. Тимошенко Ю. О., Дідковська М.В. Узагальнена модель негомогенного пуассонівського процесу для оцінювання надійності програмного забезпечення / Ю. О. Тимошенко, М. В. Дідковська // Проблеми програмування. – 2004. № 2– 3. – С. 480– 489.
13. K. – Y. Cai, D. – B. Hu, Ch. – G. Bai, H. Hu, T. Jing Does software reliability growth behavior follow a non-homogeneous Poisson process // Information and Software Technology. – Vol. 50. – 2008. – P. 1232– 1247.
14. Чабанюк Я. М. Побудова і дослідження моделі надійності програмного забезпечення з індексом величини проекту / Я. М. Чабанюк, В. С. Яковина, Д. В. Федасюк, М.М. Сенів, У.Т. Хімка // Інженерія програмного забезпечення. – 2010. – № 1 – С. 24– 29.
15. Яковина В. С. Критерій достатності процесу тестування програмного забезпечення / Яковина В. С., Сенів М. М., Чабанюк Я.М., Федасюк Д.В., Хімка У.Т // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" Комп'ютерні науки та інформаційні технології. – 2010. – № 672 – С. 346– 358.
16. Сенів М. М. Метод оцінювання та прогнозування надійності програмного забезпечення на

Надійшла 15.3.2011 р.

УДК 004.932.2: 616-006.04

О.М. БЕРЕЗЬКИЙ, І.Г.ЦМОЦЬ

Тернопільський національний економічний університет, НУ"Львівська політехніка"

ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ТА АРХІТЕКТУРА КОМП'ЮТЕРНИХ ЗАСОБІВ АНАЛІЗУ І СИНТЕЗУ ЗОБРАЖЕНЬ

В статті розглянуті принципи та структури побудови проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень. Проаналізовані рівні та види розробок проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів, а також шляхи підвищення ефективності їх використання.

The principles and structures constructions of the problem oriented computer tools analysis and synthesis of images are considered. Levels and types developments of the problem oriented of computer tools, and also paths of increase of efficiency of their use, are analyzed.

Ключові слова: структура, принцип, проблемно-орієнтовані комп'ютерні засоби, аналіз, синтез, зображення.

Постановка проблеми

Вимоги, що висуваються до комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень за оперативністю, продуктивністю та ефективністю опрацювання даних не забезпечуються в рамках традиційних методів обчислення та принципів побудови універсальних комп'ютерних засобів. Одним із основних шляхів підвищення ефективності використання обладнання та забезпечення виконання перерахованих вимог є спеціалізація та проблемна орієнтація комп'ютерних засобів на клас задач аналізу та синтезу зображень. При спеціалізації та проблемній орієнтації здійснюється орієнтація структури, системи команд і принципів організації обчислень в комп'ютерних засобах на розв'язання задач аналізу та синтезу зображень.

В спеціалізованих і проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобах аналізу та синтезу зображень алгоритми розв'язання задач залежно від вимог за швидкодією можуть бути реалізовані програмним, мікропрограмним або апаратним шляхом. Кожний із перерахованих видів реалізації алгоритмів має свої особливості, переваги і недоліки. В сучасних комп'ютерних засобах для розв'язання задач аналізу та синтезу зображень використовуються комбіновані підходи з перевагою одного з перерахованих видів реалізації алгоритмів. Даний вид реалізації визначається виходячи із забезпечення вимог конкретного застосування.

Для вибору комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень для конкретного застосування використовується критерій ефективності використання обладнання E , який зв'язує продуктивність з витратами обладнання та дає оцінку комп'ютерним елементам за продуктивністю [2]. Кількісна величина ефективності використання обладнання для комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень визначається наступним чином:

$$E = \frac{R}{t_{p3}W},$$

де R – складність алгоритмів розв'язання задачі аналізу та синтезу зображень, яка визначається кількістю елементарних арифметичних операцій; t_{p3} – час розв'язання задачі аналізу та синтезу зображень; W – витрати обладнання на реалізацію комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень.

Розробка комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень з високою ефективністю використання обладнання вимагає широкого використання сучасної елементної бази (напівзмовних і замовних НВІС, однокристальних процесорів обробки сигналів), розробки нових методів, алгоритмів і спеціалізованих структур, орієнтованих на реалізацію базових алгоритмів аналізу та синтезу зображень.

Тому актуальною проблемою є розробка комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень з високою ефективністю використання обладнання.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз останніх досліджень і публікацій у галузі розробки комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень [1-9] показує, що такі засоби створюються на базі комп'ютерних систем з структурною організацією універсального типу, яка передбачає присутність:

- ієрархічної пам'яті, яка просто адаптується до різних задач з широким діапазоном кількості інформації, що використовується при їх розв'язанні та різними обсягами пам'яті необхідними для зберігання програм, вхідних даних, проміжних і кінцевих результатів обробки;
- користувацького інтерфейсу, що забезпечує зручність введення та виведення інформації, а також оперативний вплив на управління обчислювальним процесом;
- розвинутої системи програмного забезпечення, яка зменшує трудоемність підготовчих робіт, спрощує зв'язок та полегшує їх експлуатацію.

Комп'ютерним засобам аналізу та синтезу зображень з структурною організацією універсального характерні такі недоліки:

- їх архітектура є надлишковою в функціональному та структурному відношенні;
- вони не враховують вимоги конкретних застосувань щодо продуктивності, габаритів і споживаної потужності.
- ієрархічної пам'яті, яка просто адаптується до різних задач з широким діапазоном кількості інформації, що використовується при їх розв'язанні та різними обсягами пам'яті необхідними для зберігання програм, вхідних даних, проміжних і кінцевих результатів обробки;
- користувацького інтерфейсу, що забезпечує зручність введення та виведення інформації, а також оперативний вплив на управління обчислювальним процесом;
- розвинутої системи програмного забезпечення, яка зменшує трудомісткість підготовчих робіт, спрощує зв'язок та полегшує їх експлуатацію.

Комп'ютерним засобам аналізу та синтезу зображень з структурною організацією універсального характерні такі недоліки:

- їх архітектура є надлишковою в функціональному та структурному відношенні;
- вони не враховують вимоги конкретних застосувань щодо продуктивності, габаритів і споживаної потужності.

З аналізу видно, що для забезпечення високої ефективності використання обладнання в комп'ютерних засобах аналізу та синтезу зображень необхідно використовувати проблемну орієнтацію, яка повинна ґрунтуватися на можливостях сучасної комп'ютерної техніки, охоплювати методи, алгоритми паралельних обчислень, архітектури апаратних засобів і враховувати вимоги конкретних застосувань.

Завдання і мета дослідження

Розробка комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень з високою ефективністю використання обладнання вимагає проблемно-орієнтованого підходу з поєднанням універсальних і спеціалізованих засобів. При цьому розробка проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень з заданими технічними параметрами повинна зводитися до доповнення обчислювального ядра додатковими спеціалізованими апаратно-програмними компонентами.

Розробка високопродуктивних спеціалізованих апаратно-програмних компонентів вимагає широкого використання сучасної елементної бази, розпаралелювання і конвеєризації алгоритмів функціонування та методів синтезу спеціалізованих компонентів.

Виклад основного матеріалу

Аналіз і вибір варіантів побудови комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень.

Побудову комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень можна здійснювати так:

- на основі універсальних комп'ютерів (процесорів) і функціонально-орієнтованих процесорів шляхом розробки спеціалізованого програмного забезпечення;
- у вигляді спеціалізованої алгоритмічної системи, архітектура та організація обчислювального процесу в якій відображає структуру алгоритмів аналізу та синтезу зображень;
- з використанням обчислювального ядра, орієнтованого на задачі аналізу та синтезу зображень, доповненого апаратно-програмними компонентами, які реалізують часомісткі алгоритми;

Перший варіант є доступним для широкого кола користувачів. Істотною його перевагою є можливість використання раніше розроблених програм. Його недоліками є невисока швидкість, функціональна і структурна надлишковість комп'ютерних засобів.

Другий варіант орієнтований на аналіз та синтез зображень у реальному часі. При цьому висока ефективність використання обладнання досягається узгодженням обчислювальної здатності апаратних засобів з інтенсивністю надходження потоків даних. Використання для побудови апаратних засобів обчислювальних полів на основі програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС) з динамічним репрограмуванням відкриває нові можливості, які пов'язані з оперативним перенаштуванням ПЛІС на реалізацію нових алгоритмів.

Третій варіант є перспективним, оскільки він передбачає поєднання універсальних і спеціальних підходів, програмних і апаратних засобів, тобто є проблемно-орієнтованим. Таке поєднання забезпечує високу ефективність використання обладнання при створенні проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень. При цьому розробка проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень з заданими технічними параметрами зводиться до доповнення обчислювального ядра додатковими апаратно-програмними компонентами.

Принципи побудови проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень. Розробку та оптимізацію проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень пропонується здійснювати на основі інтегрованого підходу, який охоплює [4]:

- сучасну комп'ютерну техніку, апаратні, мікропрограмні та програмні засоби;
- сучасні методи та алгоритми аналізу та синтезу зображень;
- методи та засоби автоматизованого проектування апаратного і програмного забезпечення.

В основу побудови проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень необхідно покласти принципи, які дозволять зменшити вартість, терміни і розширити галузі їх застосування. Аналіз показує, що забезпечити дані вимоги можна при використанні таких принципів побудови [3, 4]:

- змінного складу обладнання, що передбачає наявність ядра та змінних програмних і апаратних модулів, за допомогою яких ядро адаптується до вимог конкретного застосування;
- модульності, який передбачає розробку компонентів комп'ютерних засобів аналізу синтезу зображень у вигляді модулів, що мають вихід на стандартний інтерфейс;
- конвеєризації та просторового паралелізму обробки даних;
- відкритості програмного забезпечення, що передбачає можливості нарощування та його вдосконалення, максимального використання стандартних драйверів та програмних засобів;
- спеціалізації та адаптації апаратно-програмних засобів до структури алгоритмів аналізу і синтезу зображень;
- програмованості архітектури шляхом використання репрограмованих логічних інтегральних мікросхем.

Структури проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень. Структуру проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень можна приставити у вигляді постійної частини F – універсального процесорного ядра та змінної частини V , яка складається з модулів спеціалізованих обчислювальних пристроїв, пристроїв введення-виведення та пам'яті (рис. 1).

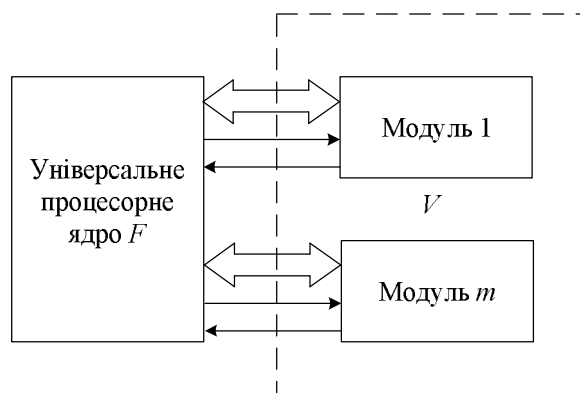


Рис. 1. Структура проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень

Структура проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень залежить від конкретних вимог і множини алгоритмів (N), які використовуються для розв'язання задач. При розв'язанні конкретної задачі здійснюється розподіл алгоритмів розв'язання задачі між обладнанням F і V

$$N = N_F + N_V,$$

де N_F – множина алгоритмів, які виконуються на обладнанні F ; N_V – множина алгоритмів, які виконуються на обладнанні V .

Залежно від співвідношення N_F і N_V проблемно-орієнтовані комп'ютерні засоби аналізу та синтезу зображень можна розділити на три класи:

- з переважним використанням універсального процесорного ядра (постійного обладнання F), коли $N_F \rightarrow N$, $N_V \rightarrow 0$, $N_F \gg N_V$;
- з переважним використанням спеціалізованих засобів (змінної частини V), коли $N_F \rightarrow 0$, $N_V \rightarrow N$, $N_F \ll N_V$;
- з рівномірним використанням універсальних (постійного обладнання F) і спеціалізованих засобів (змінної частини V), коли $N_F \approx N_V$.

Перший клас проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень характеризуються тим, що основний обсяг обчислювальних потужностей зосереджений в універсальному процесорному ядрі. В другому класі проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень основні обчислювальні алгоритми реалізуються з допомогою спеціалізованих апаратних засобів, а універсальні засоби використовуються для виконання допоміжних сервісних функцій. Третій клас проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень з приблизно рівним використанням універсальних і спеціалізованих характеризується тим, що універсальні засоби забезпечують реалізацію алгоритмів управління, операцій введення-виведення та сервісних функцій, а спеціалізовані засоби – реалізують обчислювальні алгоритми, які вимагають великого обсягу обчислень.

При проектуванні проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень використовуються системний підхід, який враховує особливості, вид і характер інформації, вимоги, що висуваються до технічних засобів за вартістю, швидкодією, апаратними затратами, надійністю, габаритами, та потужністю споживання. Основними шляхами покращення характеристик комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень є використання проблемної орієнтації. Для здійснення проблемної орієнтації комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень використовуються такі способи орієнтації:

- структурна, яка передбачає апаратну реалізацію алгоритмів;
- зовнішньосистемна, яка зводиться до використання спеціалізованих зовнішніх пристроїв;
- програмна, при якій задачі реалізуються програмним шляхом;
- мікропрограмна, яка передбачає доступ користувача до апаратних ресурсів на мікропрограмному рівні.

Розглянемо кожний з вище перерахованих способів проблемної орієнтації детальніше.

Структурна орієнтація один із основних методів підвищення продуктивності комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень, при якому структура алгоритму розв'язання задачі адекватно відображається апаратними засобами. Синтезовані таким чином апаратні засоби є алгоритмічними

(спеціалізованими). У алгоритмічних системах кожному функціональному оператору алгоритму розв'язання задачі ставиться у відповідність операційний блок, а дугам між функціональними операторами – каналами передачі даних. У таких структурах алгоритм розв'язання задачі реалізується при проходженні та обробці даних від входів до виходів через всі операційні блоки. За режимами роботи алгоритмічні структури діляться на синхронні та асинхронні.

В асинхронних (однотактних) алгоритмічних системах обробка даних здійснюється без проміжних запам'ятовувань. Продуктивність таких структур визначається часом виконання найскладніших функціональних операторів Φ_{jk} алгоритму, які лежать на шляху проходження даних:

$$t_{AO} = \sum_{j=1}^h \max_k t_{OB_{jk}},$$

де h – кількість послідовно з'єднаних операційних блоків, $t_{OB_{jk}}$ – час реалізації найскладніших операційних блоків функціональними операторами Φ_{jk} . Кожна однотактна структура є послідовною з точки зору реалізації функціональних операторів Φ_{jk} . Це є причиною обмеженої швидкодії та неефективного використання обладнання при обробці інтенсивних потоків даних у реальному часі. Тому для обробки потоків даних доцільно використовувати синхронні структури з конвеєрною реалізацією графів алгоритмів, в яких здійснюється суміщення у часі виконання функціональних операторів алгоритму над різними даними. Конвеєризація алгоритмічних структур передбачає розділення їх на сходинки шляхом введення буферної пам'яті. При цьому, кожна сходинка конвеєра складається з двох компонентів: буферної пам'яті та операційної пристрої, які реалізують функціональні оператори ярусу. Для забезпечення високої швидкодії та ефективності використання обладнання функціональні оператори, які реалізуються у сходинках конвеєра, мають бути простими та мати приблизно однаковий час реалізації. Однотактні алгоритмічні пристрої можна розглядати як одноступінчатий конвеєр.

Основними вимогами, що висувається до алгоритмічних систем є забезпечення модульної та регулярної структури та орієнтації архітектури на НВІС-реалізації.

Структурну орієнтацію доцільно використовувати в таких випадках:

- коли для розв'язання заданого кола задач не вистачає продуктивності універсальних засобів;
- коли використання універсальних засобів не забезпечує вимоги конкретних застосувань за ціною, затратами обладнання, габаритами, надійністю та потужністю споживання.

Зовнішньосистемна орієнтація здійснюється за рахунок використання спеціалізованих пристроїв введення та перетворення, які враховують особливості, вид і характер вхідної інформації, враховують конкретний склад пристроїв відображення та виведення. В загальному випадку для комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень зовнішніми служать пристрої будь-якого типу, що підключаються через канал.

Канали – спеціальні пристрої, що управляють обміном даних з зовнішніми пристроями. Канали отримують команди від процесорів і далі працюють автономно. Вони мають доступ до основної пам'яті та забезпечують: управління роботою зовнішніх пристроїв; приймання і передачу даних; контроль за правильністю обміну. За своєю суттю канал є спеціалізованим процесором введення-виведення інформації. Для підключення зовнішніх пристроїв до каналів і управління їх роботою використовуються контролери.

Програмна орієнтація здійснюється програмною реалізацією задач, що забезпечує досягнення мети функціонування обчислювальних комплексів і систем. При програмній реалізації алгоритмів розв'язання задач обчислювальні процеси переважно розгортаються в часі з великим об'ємом пересилок інформації між оперативною пам'яттю і операційними пристроями. Програмні засоби є доступними для програміста, перед яким виникає задача мінімізації обсягу програм і часу реалізації при заданій точності обчислень. Вказані засоби характеризуються низькою швидкістю і гнучкістю з точки зору можливості модифікації та заміни алгоритмів. При програмній реалізації програми, які забезпечують розв'язання задач можуть зберігатися як в оперативній, так і постійній пам'яті. Програмна реалізація в порівнянні з апаратною має такі переваги: легкість внесення змін в алгоритми розв'язання задач і можливість розвитку шляхом доповнення прикладними програмами.

Мікропрограмна орієнтація ґрунтується на можливості доступу користувача до апаратних засобів на мікропрограмному рівні. Мікропрограмна реалізація алгоритмів розв'язання задач передбачає їхнє розгортання як в часі, так і в просторі. При мікропрограмуванні є доступ до системи мікропрограм процесора, що забезпечується застосуванням постійної пам'яті, прогамованих логічних матриць, а також оперативних запам'ятовувачих пристроїв, які використовуються в якості пам'яті мікропрограм. Прикладом мікропрограмної реалізації є реалізація алгоритмів обробки сигналів і зображень на базі однорідних обчислювальних середовищ. Процесор на базі однорідних обчислювальних середовищ – це двовимірний регулярний матриця процесорних елементів, кожен з яких фізично зв'язаний за входом-виходом з чотирма сусідами – зверху, знизу, зліва та справа. Кожний процесорний елемент може виконувати набір бітових операцій перетворення інформації з вхідних каналів у вихідні. Процесор на базі однорідних обчислювальних середовищ є універсальною системою, тобто в ньому можливо реалізувати довільну обчислювальну функцію. Бітовий рівень процесорного елемента та повна система комутації дозволяють реалізувати розпаралелення обчислень на найнижчому бітовому рівні. Це є суттєвою перевагою мікропрограмної

реалізації алгоритмів обробки сигналів і зображень. Реалізація в повній мірі потенціальних можливостей мікропрограмних засобів може бути досягнута лише при глибокому вивченні як задачі, яка розв'язується, так і внутрішньої мови процесора. Мікропрограмні засобами реалізації алгоритмів розв'язання задач в порівнянні з програмними є більш швидкодіючими.

Потрібно відзначити, що всі способи проблемної орієнтації в безпосередньому вигляді зустрічаються досить рідко. На практиці в більшості випадків для розв'язання задач використовуються комбіновані способи проблемної орієнтації з переважанням одного з перерахованих. Перевага того чи іншого виду проблемної орієнтації визначається вимогами, які висуваються до обчислювальних комплексів і систем за вартістю, швидкодією, габаритами та споживаною потужністю.

Компонентно-ієрархічний підхід до проектування проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень. Розробку проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень доцільно здійснювати на основі компонентно-ієрархічного підходу, який передбачає поділ процесу розробки на ієрархічні рівні та види забезпечення (алгоритмічне, апаратне та програмне) [3]. Для реалізації такого підходу використовується метод декомпозиції, який передбачає розбиття процесу проектування проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень на окремі компоненти. На кожному рівні ієрархії проектування проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень розв'язується задачі відповідної складності, які характеризуються як одиницями інформації, так і алгоритмами обробки. За складністю розв'язувані задачі діляться на чотири ієрархічні рівні. Збільшенню номера рівня ієрархії відповідає збільшення деталізації алгоритмічних, апаратних і програмних засобів. При цьому на вищих рівнях ієрархії одиниці інформації, алгоритми, програмні та апаратні засоби представляють собою впорядковані сукупності одиниць інформації та композиції алгоритмів, програмних і апаратних засобів нижчих рівнів ієрархії (табл. 1). Методологія послідовної декомпозиції, яка використовується при розробці проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень, відображає процес розробки "зверху-вниз".

Таблиця 1

Рівні та види розробок проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень

Ієрархічний рівень	Види забезпечення та виконувані розробки		
	Алгоритмічне	Апаратне	Програмне
1-й	Алгоритми функціонування комп'ютерних засобів	Структура апаратних засобів комп'ютерних засобів	Структура програмних засобів комп'ютерних засобів
2-й	Алгоритми функціонування спеціалізованих компонентів	Структури спеціалізованих компонентів	Модулі програм, які реалізують базові алгоритми
3-й	Алгоритми реалізації базових операцій (макрооперацій)	Структури операційних пристроїв (процесорних елементів) для реалізації базових операцій (макрооперацій)	Підпрограми реалізації базових операцій (макрооперацій)
4-й	Алгоритми реалізації арифметичних операцій	Структури арифметичних пристроїв	Підпрограми реалізації арифметичних операцій

На першому ієрархічному рівні проектування проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень розробляються алгоритми функціонування, структури апаратних і програмних засобів.

На другому ієрархічному рівні проектування проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень розв'язуються задачі проектування спеціалізованих апаратно-програмних компонентів, які реалізують базові алгоритми аналізу та синтезу зображень. Такі алгоритми подаються у вигляді функціонального графу з використанням функціональних операторів на рівні базових операцій. На основі аналізу функціонального графу визначаються перелік процедур для програмної і апаратної реалізації. Для виділених процедур розробляються паралельні алгоритми, структури та програми [2].

Третій ієрархічний рівень проектування зв'язаний з проектуванням операційних пристроїв (процесорних елементів), які реалізують базові операції алгоритмів аналізу та синтезу зображень. Для реалізації елементів третього рівня розробляються алгоритми, підпрограми та структури процесорних елементів.

На четвертому ієрархічному рівні проектування розробляються арифметичні пристроїв, які реалізують операції множення, ділення, обчислення квадратного кореня, обчислення максимальних і мінімальних значень. Дані пристрої використовуються для синтезу процесорних елементів. В функціональному і структурному відношеннях елементи четвертого рівня ґрунтуються на операціях: передачі, інвертування, зсуву, порівняння, додавання та віднімання. На основі цього операційного базису розробляються алгоритми та підпрограми реалізації елементів третього рівня.

Компонентно-ієрархічну структуру комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень можна

описати за допомогою такого виразу:

$$C_{K3}^1 = \bigcup_{i=1}^n C_{K3}^{2i} \bigcup_{j=1}^m C_{K3}^{3j} \bigcup_{p=1}^h C_{K3}^{4p},$$

де $C_{K3}^1, C_{K3}^{2j}, C_{K3}^{3j}, C_{K3}^{4p}$ – засоби відповідно першого, другого, третього і четвертого ієрархічних рівнів; n – кількість типів компонентів; m – кількість типів процесорних елементів; h – кількість типів арифметичних пристроїв.

Перехід від алгоритмів аналізу та синтезу зображень до структури апаратно-програмних засобів. Одна з найбільш відповідальних задач при проектуванні проблемно-орієнтованих комп'ютерних засобів для аналізу та синтезу зображень є перехід від алгоритмів до їх структури. Алгоритми аналізу та синтезу зображень можна описувати через залежність між входом і виходом або детально пояснюючи їх внутрішню структуру. Подання алгоритмів у формі стандартного математичного запису не дозволяє достатньо повно оцінити можливості розпаралелення та знайти способи їх ефективної реалізації на існуючих комп'ютерних засобах або розробити нові ефективні структури. Тому для вибору ефективного варіанту реалізації алгоритмів є потреба подати їх у формі, яка одночасно відображає просторові та часові характеристики [7, 8].

Однією з форм подання алгоритму, яка дозволяє оцінити його обчислювальні та структурні характеристики, є зображення алгоритму у вигляді функціонального графу (ФГ). Таке подання описує залежність обчислень, які виконуються в алгоритмі. Символьний запис графу алгоритму представляється як композиція функціональних операторів і має вигляд: $F = (\Phi, \Gamma)$, де $\Phi = \{\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n\}$ – множина функціональних операторів, Γ – закон відображення зв'язків між операторами. Графічно ФГ відображається у вигляді вершин, що відповідають операторам алгоритму Φ_i та дуг, які відображають зв'язки між операторами, тобто залежності даних в алгоритмі. Відображення алгоритму в формі ФГ забезпечує визначення операторів, які доцільно реалізувати програмним шляхом на базі універсального процесорного ядра, а які – спеціалізованими апаратними засобами [2]. В комп'ютерних засобах аналізу та синтезу зображень програмним шляхом реалізуються алгоритми, в яких переважають операції – логічні, переходів і пересилання, а апаратним – складні обчислювальні алгоритми, які є рекурсивними та локально залежними.

Залежно від засобів реалізації, відображення ФГ алгоритмів може здійснюватись з різною ступенем деталізації. Для апаратної реалізації в основному використовується відображення алгоритмів на рівні елементарних арифметичних операцій. При реалізації алгоритмів програмним шляхом відображення ФГ доцільно здійснювати на рівні базових операцій алгоритмів, які відповідають множині арифметичних операцій.

При розробці спеціалізованих компонентів є потреба у просторово-часовому відображенні алгоритмів аналізу та синтезу зображень на рівні арифметичних операцій. Таке відображення алгоритму повинно забезпечувати виявлення всіх форм паралелізму та знаходження необхідних просторово-часових рішень для створення апаратних засобів з високою ефективністю використання обладнання.

Забезпечити просторово-часове відображення алгоритмів з виявленням всіх форм паралелізму дозволяє ярусно-паралельна форма (ЯПФ) [5, 7, 8]. При такій формі подання алгоритму здійснюється розподіл всіх його функціональних операторів Φ_i за ярусами таким чином, що в j -му ярусі розміщені функціональні оператори, які залежать хоча б від одного функціонального оператора $(j-1)$ -го ярусу і не залежать від операторів наступних ярусів. В середині ярусу функціональні оператори між собою не мають з'єднань.

Кожний j -й ярус алгоритму описується наступними параметрами:

- наборами незалежних функціональних операторів Φ_{jk} , де j – номер ярусу, k – номер функціонального оператора в ярусі;
- набором каналів надходження даних і видачі проміжних результатів;
- розрядністю кожного каналу зв'язку.

Кількість ярусів визначає висоту h , а максимальна ширина ярусів визначає її ширину L ЯПФ відображення алгоритму. При відображенні орієнтованого графу алгоритму у ЯПФ номери ярусів j є часовими індексами, а номери k функціональних операторів у ярусі є просторовими індексами. За допомогою просторово-часових індексів у системі координат час-простір задається розміщення функціональних операторів. Параметри потокового графу: складність функціональних операторів Φ_i , ширина L і висота h є взаємно залежними, зміна одного з них веде до зміни інших.

Відображення орієнтованого графу у ЯПФ будемо називати потоковим графом (ПГ). Перехід від алгоритму розв'язання задачі до ПГ необхідно здійснюється в три етапи:

- декомпозиція алгоритму розв'язання задачі;
- проектування комунікацій (обмін даними) між функціональними операторами;
- перехід від ФГ алгоритму до ПГ.

На етапі декомпозиції алгоритм розв'язання задачі Φ розбивається на функціональні оператори Φ_i , між якими устанавлюються зв'язки, що відповідають даному алгоритму. Чим більшу ступінь деталізації

алгоритму отримуємо у результаті декомпозиції, тим гнучкішим буде алгоритм і тим легше можна забезпечити високу ефективність використання обладнання. Декомпозицію можна здійснювати за методом декомпозиції даних або функціональної декомпозиції.

Для синтезу високоефективних структур аналізу та синтезу зображень використовується метод функціональної декомпозиції, при якому алгоритм Φ розбивається на операції Φ_i , кожна із яких може бути реалізована операційними блоками певного рівня ієрархії. Час і спосіб виконання операції Φ_i операційним блоком є одними із основних параметрів при визначенні конвеєрного такту роботи T_k і розрядності каналів надходження даних n_k . Результатом першого етапу розробки є граф-схема алгоритму, де функціональні оператори Φ_i мають приблизно однаковий час виконання, а їх складність визначається засобами реалізації.

На етапі проектування комунікацій для конвеєрної алгоритмічної реалізації алгоритму необхідно визначити структуру каналів обміну даними між функціональними операторами Φ_i . Для чого виконується перехід від граф-схеми алгоритму до потокового графу, в якому здійснюється просторово-часове розміщення і закріплення функціональних операторів Φ_i за ярусами. Структура зв'язків у потоковому графі між функціональними операторами Φ_{jk} сусідніх ярусів визначає кількість каналів надходження даних m_j і структуру з'єднань між операційними блоками при апаратній реалізації алгоритму.

Для переходу до відображення алгоритму у вигляді ПГ необхідно його записати у вигляді матриці $n \times n$, елемент якої "1" відповідає наявності каналу зв'язку, "0" – відсутності зв'язку [5]. Матриця формується таким чином, що для кожного функціонального оператора Φ_i джерела інформації формується стрічка, яка відображає його зв'язки з іншими функціональними операторами. Якщо позначити через вектори $\overset{\cdot}{V}_{\Phi_1}, \dots, \overset{\cdot}{V}_{\Phi_n}$ відповідні стовпці матриці, то можна визначити результуючий вектор стовпець:

$$\overset{\cdot}{V}_0 = \overset{\cdot}{V}_{\Phi_1} + \overset{\cdot}{V}_{\Phi_2} + \dots + \overset{\cdot}{V}_{\Phi_n}.$$

В векторі $\overset{\cdot}{V}_0$ визначаємо номери елементів, які дорівнюють нулю, наприклад, десятій. За визначеним номером знаходимо функціональний оператор, що не має нащадків і відповідно утворює нульовий ярус, в даному випадку Φ_{10} . Далі за формулою обчислюємо:

$$\overset{\cdot}{V}_1 = \overset{\cdot}{V}_0 - \overset{\cdot}{V}_{\Phi_{10}}.$$

У векторі $\overset{\cdot}{V}_1$ знаходимо номери нульових елементів, за якими визначаємо функціональні оператори, що утворюють перший ярус. Аналогічно обчислюємо наступні вектори та визначаємо функціональні оператори, що утворюють наступні яруси.

Етапи синтезу спеціалізованих апаратних компонентів засобів аналізу та синтезу зображень.

Синтез спеціалізованих апаратних компонентів складається із наступних етапів:

- розробки алгоритмів реалізації спеціалізованих апаратних компонентів;
- визначення основних характеристик спеціалізованих апаратних компонентів;
- перехід від алгоритму до структури спеціалізованих апаратних компонентів.

При виборі та розробці алгоритмів реалізації спеціалізованих апаратних компонентів засобів аналізу та синтезу зображень враховуються вимоги R і характеристики H , але визначальним є забезпечення обмежень B . Для оцінки розроблених алгоритмів використовуються характеристики: інформаційні, операційні та точності. До інформаційних характеристик відносяться: кількість констант, вхідних, вихідних і проміжних даних, кількість каналів і їх розрядність, кількість і види операцій. Операційні характеристики дозволяють оцінити час реалізації та обчислювальну здатність. До характеристик точності алгоритму відносяться: розрядність операційних пристроїв, способи округлення.

Шляхи підвищення ефективності використання обладнання в комп'ютерних засобах аналізу та синтезу зображень. В спеціалізованих компонентах висока ефективність використання обладнання досягається за рахунок мінімізації витрат обладнання та часу обчислення [3]. Перехід від алгоритму розв'язання задачі до структури спеціалізованого компоненту формально зводиться до мінімізації витрат обладнання:

$$W_{CK} = W_{\text{ПУ}} + W_{\text{ІІ}} + W_{\text{ІІ}} + \sum_{i=1}^k W_{\text{ІІЕ}_i} m_i,$$

де W_{CK} , $W_{\text{ПУ}}$, $W_{\text{ІІ}}$, $W_{\text{ІІ}}$, $W_{\text{ІІЕ}_i}$ – витрати обладнання відповідно на реалізацію спеціалізованого компоненту, пристрою управління, інтерфейсних пристроїв, пам'яті, процесорних елементів;

k – кількість типів процесорних елементів, i -й процесорний елемент, m_i – кількість процесорних елементів i -го типу, при забезпеченні високої продуктивності.

Підвищення ефективності використання обладнання комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень можна досягнути як архітектурному, так і схемотехнічному рівнях.

На архітектурному рівні основними шляхами підвищення ефективності використання обладнання

комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень є:

- адаптації програмно-апаратних засобів до алгоритмів аналізу та синтезу зображень;
- забезпечення регулярності, модульності архітектури спеціалізованих компонентів і широкого використання стандартних елементів;
- збільшення пропускну здатності каналів вводу-виводу і розширення їх функцій;
- скорочення кількості внутрішньосистемних пересилань команд, даних і забезпечення балансу між введенням-виведенням та обчисленнями;
- суміщення в часі процесів функціонування максимальної кількості компонентів;
- використання системи макрокоманд і спеціалізованих апаратних компонентів;
- заміна програмних модулів апаратними;
- розширення використання паралельної і конвеєрної обробки та децентралізації обчислень;
- використання паралельної пам'яті для зовнішнього та внутрішнього обміну;
- просторове та функціональне розділення внутрішньої пам'яті з широким використанням різних за швидкодією і шириною доступу модулів пам'яті;
- багатоканальний доступ до пам'яті з метою забезпечення декількох звертань протягом одного командного циклу;
- гармонійне поєднання можливостей інтегральної технології з розширенням функцій пам'яті, збільшення кількості внутрішніх і зовнішніх каналів доступу та покращення параметрів модулів пам'яті (ємності, швидкодії і т.д.);
- адаптація пам'яті до структури даних і специфіки задач аналізу та синтезу зображень.

Схемотехнічний рівень підвищення ефективності використання обладнання в основному використовується при розробці спеціалізованих апаратних компонентів. На схемотехнічному рівні можна виділити такі шляхи підвищення ефективності використання обладнання:

- перехід на НВІС-технологію, застосування спеціалізованих замовних і напівзамовних НВІС, нових високопродуктивних однокристальних мікро-ЕОМ, мікропроцесорів, трансп'ютерів, мікроконтролерів;
- інтеграція на кристалі НВІС як можна більше функцій для опрацювання та зберігання даних, а також інтерфейсу для зв'язку з іншими елементами системи;
- вибір ефективних методів і алгоритмів реалізації спеціалізованих компонентів;
- зменшення розрядності операційних пристроїв, ємності пам'яті, кількості і розрядності каналів передачі даних.

Висновки

1. Розробку комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень доцільно здійснювати на основі інтегрованого підходу, який охоплює сучасну елементну базу, методи та алгоритми реалізації аналізу та синтезу зображень, архітектури сучасних комп'ютерних засобів і компонентів, враховує вимоги конкретних застосувань і ґрунтується на таких принципах побудови: змінного складу обладнання; модульності; конвеєризації та просторового паралелізму обробки даних; однорідності та регулярності архітектури; спеціалізації та адаптації апаратно-програмних засобів до структури алгоритмів та вимог конкретного застосування.

2. Проблемно-орієнтована реалізація комп'ютерних засобів аналізу і синтезу зображень передбачає поєднання універсальних і спеціальних підходів, програмних і апаратних засобів і забезпечує високу ефективність використання обладнання.

3. Для вибору комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень запропоновано використовувати критерій ефективності використання обладнання, який зв'язує продуктивність з витратами обладнання та дає оцінку комп'ютерним елементам за продуктивністю.

4. Основними шляхами підвищення ефективності використання обладнання при реалізації комп'ютерних засобів аналізу та синтезу зображень є: адаптація програмно-апаратних засобів до алгоритмів аналізу та синтезу зображень; збільшення пропускну здатності каналів вводу-виводу і розширення їх функцій; скорочення кількості внутрішньосистемних пересилань команд, даних і забезпечення балансу між введенням-виведенням та обчисленнями; суміщення в часі процесів функціонування максимальної кількості компонентів; використання системи макрокоманд і спеціалізованих апаратних компонентів; розширення використання паралельної і конвеєрної обробки та децентралізації обчислень; використання паралельної пам'яті для зовнішнього та внутрішнього обміну; адаптація пам'яті до структури даних і специфіки задач аналізу та синтезу зображень; вибір ефективних методів і алгоритмів реалізації спеціалізованих компонентів; зменшення розрядності операційних пристроїв, ємності пам'яті, кількості і розрядності каналів передачі даних.

Література

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс. – М.: Техноснова, 2006. – 1072 с.
2. Палагин А. В. Реконфигурируемые вычислительные системы / А. В. Палагин, В. Н. Опанасенко. – К.: Просвіта, 2006. – 280 с.

3. Цмоць І. Г. Інформаційні технології та спеціалізовані засоби обробки сигналів і зображень у реальному часі / Цмоць І. Г. – Львів: УАД, 2005. – 227 с.
4. Параллельная обработка информации: в 5т. / АН УССР. Физ.-мех. ин-т. Проблемно-ориентированные и специализированные средства обработки информации / А. И. Аксенов, В. В. Аристов, Е. Ю. Барзилович и др.; под ред. Б. Н. Малиновского и Грицика В. В. К.: Наукова думка, 1990. – 504 с.
5. Грушицкий Р. И. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики / Грушицкий Р. И., Мурсаев А. Х., Угрюмов Е. П. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.
6. Воеводин В. В. Параллельные вычисления / В. В. Воеводин, Вл. В. Воеводин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.
7. Немнюгин С. А. Параллельное программирование для многопроцессорных систем / С. А. Немнюгин, О. Л. Стесик. – СПб.: БХВ – Петербург, 2002. – 400 с.
8. Касьянов В. Н. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение / В. Н. Касьянов, В. А. Евстигнеев. – СПб.: БХВ – Петербург, 2003. – 1104 с.

Надійшла 21.3.2011 р.

УДК 004.891.3: 004.3

О.В. ПОМОРОВА, Т.О. ГОВОРУЩЕНКО, О.С. ОНИЦУК
Хмельницький національний університет

ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

В статті показано місце нейромережного методу оцінювання результатів проектування та прогнозування характеристик якості програмного забезпечення (НМОП) в процесі розроблення програмного забезпечення за методологією *Safety Case*, обрано архітектуру штучної нейронної мережі для реалізації НМОП, описано методику навчання та результати функціонування нейромережної складової НМОП.

In the article the location of the artificial neural net's method of design results evaluation and software quality characteristics prediction (NMEP) is demonstrated in software development process for Safety Case methodology, ANN architecture for the NMEP realization is selected, ANN training methodology and results of neural net's component functioning is described

Ключові слова: програмне забезпечення (ПЗ), методологія *Safety Case*, метрики якості та складності програмного забезпечення, штучна нейронна мережа (ШНМ), нейромережний метод оцінювання результатів проектування та прогнозування характеристик якості програмного забезпечення (НМОП).

Вступ

Методологія *Safety Case* (Safety computer-aided software engineering – безпечна автоматизована програмна інженерія) розвивається вже більше 20 років [1– 4]. Первинним об'єктом методології *Safety Case* є мінімізація ризиків безпеки та комерційних ризиків програмного забезпечення шляхом побудови звіту, який повинен забезпечити докази, причини, аргументи та свідчення того, що програмне забезпечення (ПЗ) є безпечним, і всі вимоги до ПЗ належним чином виконані. Наразі ця методологія стала загальноприйнятною, однак рівень її автоматизації залишається низьким.

Процес створення безпечного ПЗ пов'язаний і залежить від значної кількості документів (вимоги, стандарти, специфікації), вихідного коду, методів оцінювання ПЗ та аналізу їх результатів, результатів тестування та ступеня їх документування. Рис. 1 [5] представляє узагальнену модель методології *Safety Case*.

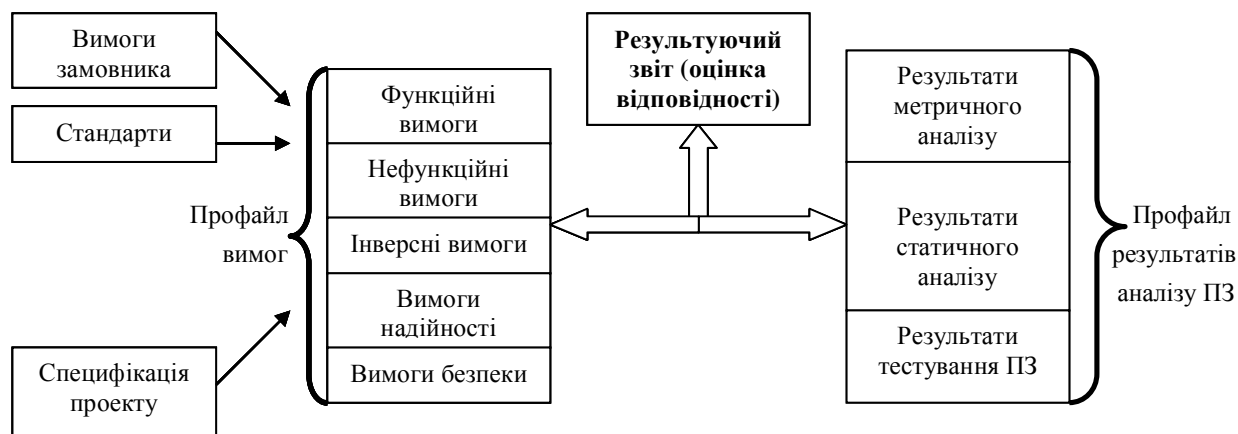


Рис. 1. Узагальнена модель методології *Safety Case*

Основні частини моделі *Safety Case*:

- профайл вимог до програмного забезпечення з врахуванням стандартів щодо розроблення ПЗ,

стандартів предметної галузі та вимог замовника – для формування такого профайлу аналізуються функційні, нефункційні та інверсні вимоги до ПЗ систем критичного застосування; досліджуються вимоги щодо надійності та безпеки ПЗ і оцінюється повнота всіх видів вимог;

- профайл результатів аналізу ПЗ – для формування такого профайлу досліджуються та аналізуються результати метричного аналізу, програмний код та результати тестування ПЗ;
- оцінка відповідності одержаного ПЗ (профайл результатів) висунутим до нього вимогам (профайл вимог).

Одним з основних засобів аналізу та оцінювання якості ПЗ є метричний аналіз. Метрика визначається як міра ступеня володіння властивістю, яка має числове значення [6]. Взагалі, метрика ПЗ – це міра, яка дозволяє одержати числове значення деякої властивості ПЗ або його специфікацій. Сучасна програмна індустрія накопичила велику кількість метрик, які оцінюють окремі виробничі та експлуатаційні властивості ПЗ. Однак прагнення їх універсальності, неврахування типу та області застосування розроблюваного ПЗ, ігнорування етапів життєвого циклу ПЗ та необґрунтоване їх використання в процедурах прийняття виробничих рішень істотно підірвало довіру розробників та користувачів ПЗ до метрик. Ці обставини вимагають ретельного відбору метрик для певного типу та області застосування розроблюваного ПЗ, врахування їх обмежень на різних етапах життєвого циклу ПЗ, встановлення порядку їх сумісного використання, накопичення та інтеграції різномірної метричної інформації для прийняття своєчасних виробничих рішень.

Незважаючи на численні дослідження програмних метрик, в цій галузі залишається багато невирішених питань [7, 8]. Одним з таких питань є відсутність єдиних стандартів на метрики (створено більше тисячі метрик), тому кожен постачальник "вимірювальної" системи пропонує власні способи оцінки якості ПЗ і відповідні метрики. Складною також є задача інтерпретації значень метрик – для більшості користувачів як метрики, так і їх значення не є інформативними. На етапі проектування ПЗ основна увага при виборі проекту приділяється вартості, тривалості розроблення, репутації фірми-проектувальника та технологіям розроблення ПЗ. За статистичними даними [9], лише 1,5 % софтверних організацій намагаються оцінити якість процесів і готового продукту кількісно за допомогою метрик, і лише 0,5 % софтверних організацій намагаються покращити роботу, керуючись кількісними критеріями якості ПЗ з метою випуску бездефектних продуктів. Технологія вимірювання якості ще не досягла зрілості, оскільки лише 0,5 % софтверних організацій знаходяться на оптимізованому, зрілому рівні Capability Maturity Model (CMM) [7, 8]; основними параметрами при виборі варіанту реалізації ПЗ є вартість та тривалість розроблення і репутація фірми-проектувальника, але рішення, прийняті на основі цих параметрів, не завжди гарантують належну якість ПЗ.

Отже, методи оцінки якості ПЗ, особливо на етапі проектування, на сьогодні є суб'єктивно залежними, для знаходження значень метрик використовуються експертні вагові коефіцієнти; порівняння значень метрик поточних проектів з попередніми (постає проблема, що робити, якщо проект принципово новий); немає загальноприйнятої номенклатури метрик; відсутні точні значення метрик, з якими можна було б порівняти поточні одержані значення; при виборі проекту враховується не стільки інформація про якість проекту та майбутнього ПЗ, скільки інформація про тривалість, вартість, технології програмування та репутацію фірми-розробника.

Приймаючи до уваги результати аналізу методів оцінки ПЗ, можна зробити висновок, що перспективним напрямком досліджень є розроблення інтелектуальних систем, які аналізуватимуть і опрацьовуватимуть результати метричного аналізу етапу проектування та надаватимуть оцінку проекту та прогноз про характеристики ПЗ, що розробляється.

1. Оцінювання результатів проектування та прогнозування характеристик якості програмного забезпечення на основі метричного аналізу

На сьогодні, ПЗ є визначальною складовою багатьох систем, серед яких системи критичного застосування та спеціалізовані системи різноманітного призначення. Для зазначених систем наявність помилок та низька якість ПЗ загрожує катастрофами, які призводять до людських жертв, екологічних катаклізмів, економічних втрат. Проблема виявлення та усунення помилок загострюється по мірі збільшення складності ПЗ. Розвиток сучасних технологій розроблення ПЗ вимагає динамічного розвитку засобів оцінки якості ПЗ, причому вже на етапі проектування (з точки зору економічної та часової доцільності).

Сучасна індустрія ПЗ характеризується високою конкуренцією. Для успішної роботи на цьому ринку софтверна компанія повинна розробляти, впроваджувати та супроводжувати ПЗ швидко, вкладаючись в термін та із задовільною якістю. Тому багато софтверних компаній вкладають кошти в модернізацію процесів розроблення ПЗ, пам'ятаючи про те, що таке вкладення коштів обов'язково окупається.

У роботах [6– 8] були визначені метрики етапу проектування ПЗ з точними та прогнозованими значеннями та описані алгоритми їх обчислення.

В якості базових для побудови інтелектуального методу оцінювання результатів проектування та прогнозування характеристик якості програмного забезпечення оберемо 9 метрик етапу проектування ПЗ з точними значеннями та 15 метрик етапу проектування ПЗ з прогнозованими значеннями (таблиця 1). Інші метрики, описані в [6], є похідними від обраних базових метрик.

Метрики етапу проектування ПЗ з точними та прогнозованими значеннями

№ п/п	Метрики етапу проектування з точними значеннями		Метрики етапу проектування з прогнозованими значеннями	
	Метрики складності	Метрики якості	Метрики складності	Метрики якості
1	Метрика Чепіна	Метрика зв'язності	Очікувана LOC-оцінка	Прогнозований загальний час розроблення ПЗ (в робочих днях)
2	Метрика Джилба (абсолютна модульна складність програми)	Метрика зчеплення	Метрика Холстеда (складність програми)	Час виконання робіт процесу проектування ПЗ (в робочих днях)
3	Метрика Мак-Клура (загальна складність програмної системи)	Метрика звертання до глобальних змінних (наближена імовірність посилання довільного модуля на довільну глобальну змінну)	Метрика Маккейба (цикломатична складність ПЗ в цілому)	Очікувана вартість розроблення ПЗ (в гривнях)
4	Метрика Кафура (інформаційна складність модуля)	Час модифікації моделей (в робочих днях)	Метрика Джилба (відносна логічна складність програми)	Прогнозована вартість перевірки якості ПЗ
5		Загальна кількість знайдених помилок при інспектуванні моделей та прототипів модулів	Прогнозована кількість операторів програми	Прогнозована продуктивність розроблення ПЗ (в хвилинах на один рядок коду)
6			Прогнозована оцінка складності інтерфейсів ПЗ	Прогнозовані витрати на реалізацію програмного коду (в гривнях)
7				Прогнозований функційний розмір
8				Прогнозована оцінка трудовитрат за моделлю Боєма (в людиномісяцях)
9				Прогнозована оцінка тривалості проекту за моделлю Боєма (в місяцях)

В результаті опрацювання метрик, наведених в таблиці 1, за допомогою штучної нейронної мережі для матимемо оцінку результатів проектування та прогноз характеристик складності та якості ПЗ, що розробляється на основі того чи іншого проекту.

2. Нейромережний метод оцінювання результатів проектування та прогнозування характеристик якості програмного забезпечення (НМОП)

Для оцінювання результатів проектування та прогнозування характеристик якості ПЗ на основі опрацювання метрик етапу проектування з точними та прогнозованими значеннями використаємо штучну нейронну мережу (ШНМ), яка здійснює апроксимацію метрик ПЗ етапу проектування та надає оцінку складності та якості проекту та прогноз характеристик складності та якості розроблюваного ПЗ.

Вхідними даними для ШНМ є множина метрик етапу проектування з точним значенням $TMP = \{tmp_a | a = 1..9\}$ та множина метрик етапу проектування з прогнозованим значенням $RMP = \{rmp_b | b = 1..15\}$.

Результатом роботи ШНМ є оцінки складності та якості проекту на основі точних метрик етапу проектування та прогноз про складність та якість майбутнього програмного забезпечення на основі точних та прогнозованих метрик етапу проектування (рис. 2).

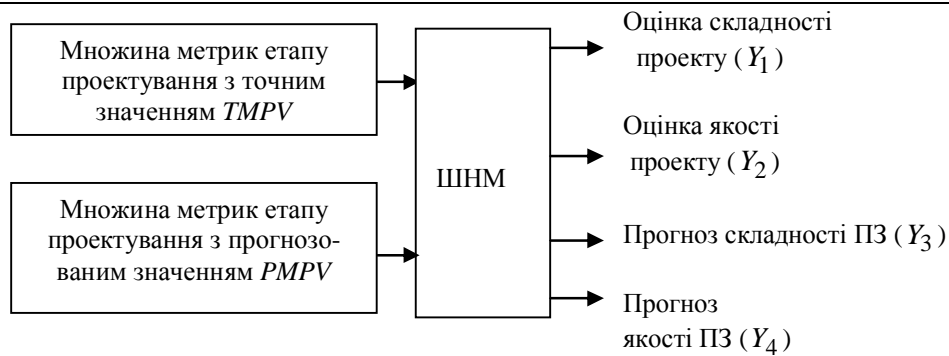


Рис. 2. Нейромережна складова НМОП

Вхідні дані для ШНМ подаються у вигляді множин $TMPV = \{tmpv_i | i = 1..9\}$, де $tmpv_i$ – кількісне значення i -ї метрики етапу проектування з точним значенням, якщо ця метрика задана для даного проекту, інакше нуль (0), та $PMPV = \{pmpv_j | j = 1..15\}$, де $pmpv_j$ – кількісне значення j -ї метрики етапу проектування з прогнозованим значенням, якщо ця метрика задана для даного проекту, інакше нуль (0).

Отже, ШНМ має 9 входів x' та 15 входів x , на входи x' подаються кількісні значення метрик етапу проектування з точним значенням, а на входи x подаються кількісні значення метрик етапу проектування з прогнозованим значенням. На вхід x'_i ($i = 1..9$) подається значення i -го елементу множини $TMPV$, на вхід x_j ($j = 1..15$) подається j -й елемент множини $PMPV$.

ШНМ опрацює набори вхідних векторів та видає 4 вихідних значення з діапазону $[0, 1]$: OQP – оцінка якості проекту, де 0 – проект неякісний, 1 – проект задовольняє вимоги замовника щодо якості; OSP – оцінка складності проекту, де 0 – проект складний для реалізації та передбачає високу вартість реалізації, 1 – проект простий для реалізації; $PQPZ$ – прогноз якості ПЗ, де 0 – майбутнє ПЗ буде неякісним, 1 – майбутнє ПЗ очікується високої якості; $PPSZ$ – прогноз складності ПЗ, де 0 – майбутнє ПЗ буде мати суттєву складність, 1 – майбутнє ПЗ очікується простим, причому дана характеристика передбачає не тільки простоту чи складність розроблюваного ПЗ з точки зору його обсягу, вартості та часу розробки, але й складність чи простоту супроводу, зручності використання (usability) та ефективність методів, обраних для вирішення задачі.

На основі аналізу 4-х одержаних результатів робиться висновок про якість і складність проекту та очікувану якість і складність розроблюваного за проектом програмного забезпечення.

3. Вибір архітектури нейромережі для реалізації нейромережної складової НМОП

У результаті аналізу відомих архітектур штучних нейронних мереж було обрано архітектуру для аналізу метрик етапу проектування ПЗ та прогнозу характеристик якості ПЗ.

Найбільш поширені архітектури ШНМ та їх особливості [10]:

1) багатосаровий перцептрон – найпростіша і найбільш досліджена структура, якої достатньо для задачі аналізу метрик та прогнозування характеристик якості ПЗ;

2) радіальні базисні мережі (РБМ) вимагають великої кількості навчальних векторів (порядку 50000 навчальних векторів для мережі з 24 входами і 4 виходами). Для задачі аналізу метрик та прогнозування характеристик якості ПЗ важко зібрати таку кількість інформації по значеннях точних та прогнозованих метрик етапу проектування;

3) мережі GRNN (регресійні) – один з видів РБМ, використовуються для аналізу числових рядів. В задачі аналізу метрик та прогнозування характеристик якості ПЗ зв'язків, аналогічних числовому ряду, немає;

4) мережі PNN (імовірнісні) – один з видів РБМ, призначені для розв'язання імовірнісних задач, зокрема, задач класифікації – приналежність об'єкта до певного класу. Імовірнісна нейромережа має єдиний керуючий параметр навчання, значення якого обирає користувач, – відхилення гаусової функції (параметр згладжування) PNN-мережі особливо корисні при пробних експериментах, наприклад, коли потрібно визначити, які вхідні параметри слід використовувати. В задачі аналізу метрик та прогнозування характеристик якості ПЗ немає потреби в класифікації;

5) карта Кохонена – призначена для кластеризації даних. Ця задача під час аналізу метрик та прогнозування характеристик якості ПЗ не вирішується;

6) мережі для класифікації вхідних векторів (LVQ) – використовуються для кластеризації і класифікації. Ці задачі під час аналізу метрик та прогнозування характеристик якості ПЗ не розглядаються;

7) мережі Елмана та Хопфілда – це мережі з динамічними оберненими зв'язками, орієнтовані на опрацювання динамічних моделей, що враховують передісторію процесів, які спостерігаються. Задача аналізу метрик та прогнозування характеристик якості ПЗ не містить обернених зв'язків і не вимагає врахування передісторії.

Для вирішення задачі аналізу метрик та прогнозування характеристик якості ПЗ оберемо

багаточаровий персептрон. При використанні нейромережі іншого типу для розв'язання цієї задачі її природа буде штучно спотворюватись, в результаті чого результати роботи ШНМ будуть невідповідними.

4. Визначення діапазонів значень вхідних векторів нейромережної складової НМОП

Перш ніж приступити до реалізації ШНМ, визначимо *діапазони значень її вхідних векторів*. Для цього накладемо певні обмеження на проекти та ПЗ, які будуть аналізуватись за допомогою НМОП. Для метрики Чепіна в якості максимальних для кожного модуля програми використовуватимемо наступні значення: 100 змінних для розрахунків і виведення, 100 модифікованих або створених в модулі змінних, 100 керуючих змінних та 100 невикористовуваних в модулі ("паразитних") змінних. При розробленні будь-якого модуля ПЗ не рекомендується вживати більше 100 змінних жодного вищезазначеного типу [11, 12]. Тоді *метрика Чепіна* для одного модуля матиме максимальне значення $Q_m = 100 + 2 \cdot 100 + 3 \cdot 100 + 0,5 \cdot 100 = 650$ згідно формули, наведеної у [6]. Накладемо обмеження, що за допомогою НМОП аналізуватимуться проекти ПЗ, які мають не більше 50 модулів. Тоді максимальне значення метрики Чепіна для всього ПЗ становить $Q = 50 \cdot 650 = 32500$.

Для визначення максимального значення *метрики Джилба* вважатимемо, що за допомогою НМОП аналізуватимуться проекти ПЗ, які мають не більше 50 модулів. Якщо припустити, що кожен модуль ПЗ пов'язаний з іншими 49 модулями одним зв'язком, то максимальна кількість міжмодульних зв'язків (абсолютна модульна складність програми) становитиме 2450.

Враховуючи вищевикладені припущення щодо кількості модулів та кількості міжмодульних зв'язків, функція складності кожного з модулів для *метрики Мак-Клура* матиме значення:

$$M(P_1) = 0 \cdot 49 + 49 \cdot 49 = 2401$$

$$M(P_2) = 1 \cdot 49 + 48 \cdot 49 = 2401$$

$$M(P_3) = 2 \cdot 49 + 47 \cdot 49 = 2401$$

.....

$$M(P_{50}) = 49 \cdot 49 + 0 \cdot 49 = 2401$$

Тоді максимальне значення загальної складності програмної системи (метрика Мак-Клура) становить $M(P) = 50 \cdot 2401 = 120050$.

Для одержання інформаційної складності модуля за *метрикою Кафура* вважатимемо, що в кожному модулі є не більше 50 процедур, які оновлюють структуру даних, не більше 50 процедур, які читають інформацію зі структури даних, та не більше 50 процедур, які читають і оновлюють структуру даних. Тоді за формулою, наведеною у [6], одержимо максимальне значення інформаційної складності одного модуля $I_m = 50 \cdot 50 + 50 \cdot 50 + 50 \cdot 50 + 50 \cdot (50 - 1) = 9950$. Оскільки введено обмеження, що аналізуються проекти ПЗ, які мають не більше 50 модулів, то максимальне значення інформаційної складності проекту становить $I = 50 \cdot 9950 = 497500$.

Максимальне значення *метрики зв'язності* $C_3 = 10$ [6].

Максимальне значення *метрики зчеплення* $C_4 = 9$ [6].

Для визначення максимального значення *метрики звертання до глобальних змінних* накладемо обмеження, що кожен модуль реально одержує доступ до глобальної змінної стільки разів, скільки може одержати такий доступ, тоді згідно формули, наведеної у [6], максимальне значення імовірності посилання довільного модуля на довільну глобальну змінну $R_{ip} = 1$.

Для обчислення максимального часу модифікації моделей потрібно спочатку прорахувати максимальну прогнозовану тривалість проекту за моделлю Боема [6]. Накладемо припущення, що за допомогою НМОП можна аналізувати ПЗ, яке містить не більше 50000 рядків вихідного коду. Для визначення коефіцієнтів СОСОМО [6] слід визначити, з яким типом проекту маємо справу (самостійним; жорстко вбудованим; не самостійним, але й не жорстко вбудованим). Щоб не накладати обмеження на тип проекту, для розрахунку максимальних значень оцінки трудовитрат та тривалості проекту оберемо максимальні значення коефіцієнтів СОСОМО. Тоді *максимальна прогнозована оцінка трудовитрат за моделлю Боема* [6]: $Трудовитрати = 3,6 \cdot 50^{1,20} = 394$ (людиномісяців), а *максимальна прогнозована оцінка тривалості проекту за моделлю Боема* [6]: $Тривалість = 2,5 \cdot 394^{0,38} = 24$ (місяці) = 520 (робочих днів).

Якщо прийняти, що в цілому на розроблення програмного забезпечення на 50000 рядків коду – від постановки задачі до налагодження – потрібен максимальний час (520) днів, тоді на постановку задачі потрібно 52 дні (10 % часу), на проектування – 182 дні (35 % часу), на програмування – 182 дні (35 % часу) та на тестування, налагодження та перевірку якості – 104 дні (20 % часу) [13]. Якщо взяти до уваги, що під час проектування приблизно 25 % часу забирають побудова та модифікація моделей, то максимальне значення *часу модифікації моделей* – 46 днів.

Накладемо наступне обмеження, що максимальна кількість помилок моделей та прототипів одного модуля не повинна перевищувати 100, тоді максимальна *загальна кількість знайдених помилок при інспектуванні моделей та прототипів 50 модулів* складає 5000.

Максимальне значення *очікуваної LOC-оцінки* становить 50000 рядків коду, враховуючи

вищевикладені припущення.

Для розрахунку метрики Холстеда накладемо наступні обмеження: кількість унікальних операторів програми включно з іменами підпрограм (словник операторів) не перевищує 25000 (кожен другий рядок коду – це унікальний оператор), загальна кількість операндів програми не перевищує 50000 (в кожному рядку коду є один операнд), кількість унікальних операндів програми (словник операндів) не перевищує 400 (за вищенаведеними припущеннями). Тоді *максимальна складність програми за метрикою Холстеда* згідно

з формулою, наведеною в [6], становить $HDiff = \frac{25000}{2} \cdot \frac{50000}{400} = 1562500$.

Максимальна *цикломатична складність Маккейба* за формулою, наведеною в [6]: $V(G) = 2450 - 50 + 2 = 2402$.

Вважатимемо, що кожен рядок програми – це логічний оператор або оператор циклу, тоді максимальна абсолютна логічна складність програми становить 50000, а максимальна *відносна логічна складність програми* в такому разі становить $CL = \frac{50000}{50000} = 1$.

Якщо припустити, що кожен рядок коду – це один оператор, тоді максимальна *прогнозована кількість операторів програми* становить 50000.

Для обчислення максимальної прогнозованої оцінки складності інтерфейсів ПЗ припустимо, що кожна змінна модуля передається по його інтерфейсу. Враховуючи припущення щодо кількості змінних в модулі, обчислимо *максимальну прогнозовану оцінку складності інтерфейсів ПЗ* за формулою, наведеною у

[6]: $C = \frac{20000}{50 \cdot 400 \cdot K_{скл}} = \frac{1}{K_{скл}}$. Оскільки $K_{скл} = 1 + \sum_{i=1}^n K_i$, де K_i - приріст складності розроблюваної

програми за i -ю характеристикою, n – кількість врахованих характеристик, то максимальна прогнозована оцінка складності інтерфейсів ПЗ становить 1.

Максимальним значенням *прогнозованого загального часу розроблення ПЗ* вважатимемо 520 робочих днів, а максимальним значенням *часу виконання робіт в процесі проектування ПЗ* вважатимемо 182 робочих дні.

За статистикою [13] *максимальною очікуваною вартістю розроблення ПЗ* в доларах США вважають кількість рядків вихідного коду, поділену навіл. З врахуванням вищенакладених обмежень маємо 25000 доларів США, що приблизно становить 200000 грн. На тестування, налагодження та перевірку якості відводиться 20 % проектного часу і проектної вартості, тобто 40000 грн. Якщо взяти до уваги, що приблизно 50 % відведеного на даний етап часу та вартості забирає перевірка якості ПЗ [13], то максимальне значення *прогнозованої вартості перевірки якості ПЗ* – 20000 грн. На реалізацію програмного коду відводиться 35 % проектного часу і проектної вартості, тоді максимальне значення *прогнозованих витрат на реалізацію програмного коду* становить 70000 грн.

Продуктивність праці може вимірюватись кількістю часу, витраченого на одиницю продукції. Так, для розроблення ПЗ продуктивністю вважатимемо кількість часу, витрачену на 1 рядок коду. Тоді, враховуючи вищенаведені розрахунки тривалості проекту та обмеження щодо кількості рядків коду, максимальне значення *прогнозованої продуктивності розроблення ПЗ* при 8-годинному робочому дні

становить $P = \frac{520 \cdot 8 \cdot 60}{50000} \approx 5$ хвилин.

Для розрахунку наближеного функційного розміру [6] вважатимемо, що кількість зовнішніх входів кожного модуля – 49, кількість зовнішніх виходів кожного модуля – 49, кількість зовнішніх запитів до кожного модуля – 49. Припустимо, що кожен модуль має максимум 50 внутрішніх логічних файлів та використовує 50 зовнішніх логічних файлів. Оскільки розраховуємо максимальне значення функційного розміру, то значення коефіцієнтів складності кожного фактору в програмному проекті обираємо максимальні [6]. Тоді максимальне значення наближеного функційного розміру згідно формули з [6] складає: $FP_{набл} = 49 \cdot 6 + 49 \cdot 7 + 49 \cdot 6 + 50 \cdot 15 + 50 \cdot 10 = 2181$. Для одержання максимального значення уточненого *функційного розміру* за формулою, наведеною у [6], оберемо ваги для 14 загальних характеристик проекту рівними 5 (максимальне значення), тоді: $FP = 2181 \cdot (0,65 + 0,01 \cdot (14 \cdot 5)) = 2945$.

5. Нейромережна складова НМОП

Архітектура нейромережної складової НМОП представлена на рис. 3.

ШНМ реалізовано у пакеті Matlab. Для створення шаблону ШНМ використовувалась функція *network*. Було визначено кількість вхідних векторів ($net.numInputs=4$), шарів ($net.numLayers=4$), елементів кожного вхідного вектора ШНМ: $net.inputs\{1\}.size=4$; $net.inputs\{2\}.size=5$; $net.inputs\{3\}.size=6$; $net.inputs\{4\}.size=9$.

Матриця зв'язності для зміщень: $net.biasConnect = [1; 1; 1; 1]$.

Матриці зв'язності для входів, шарів, виходів та цілей задано наступним чином: $net.inputConnect = [1\ 1\ 1\ 1; 0\ 0\ 0\ 0; 0\ 0\ 0\ 0; 0\ 0\ 0\ 0]$; $net.layerConnect = [0\ 0\ 0\ 0; 1\ 0\ 0\ 0; 0\ 1\ 0\ 0; 0\ 0\ 1\ 0]$; $net.outputConnect = [0\ 0\ 0\ 1]$; $net.targetConnect = [0\ 0\ 0\ 1]$.

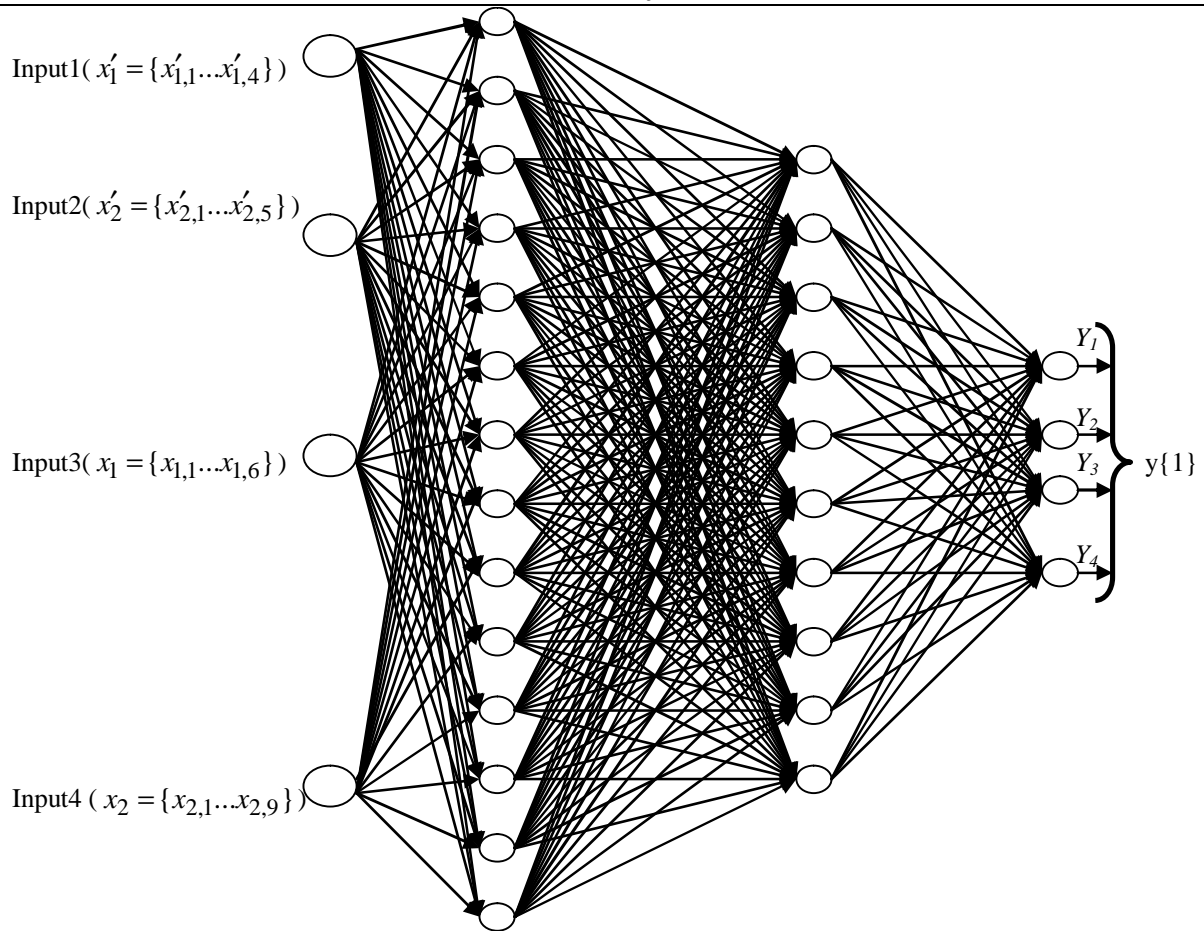


Рис. 3. Архітектура неймережної складової НМОП

Діапазони значень вхідних векторів: $net.inputs\{1\}.range = [0\ 32500; 0\ 2450; 0\ 120050; 0\ 497500]$; $net.inputs\{2\}.range = [0\ 10; 0\ 9; 0\ 1; 0\ 46; 0\ 5000]$; $net.inputs\{3\}.range = [0\ 50000; 0\ 1562500; 0\ 2402; 0\ 1; 0\ 50000; 0\ 1]$; $net.inputs\{4\}.range = [0\ 520; 0\ 182; 0\ 200000; 0\ 20000; 0\ 5; 0\ 70000; 0\ 2945; 0\ 394; 0\ 24]$.

Кількість нейронів у шарах ШНМ: $net.layers\{1\}.size=24$; $net.layers\{2\}.size=14$; $net.layers\{3\}.size=8$; $net.layers\{4\}.size=4$.

В якості функції ініціалізації для кожного шару ШНМ використано функцію Нгуена-Відроу (initnw) [10]. Для 1–3-го шарів у якості активаційної функції обрано гіперболічний тангенс [10], для 4-го (вихідного) шару активаційною є порогова лінійна функція.

Оператор $gensim(net)$ дає змогу одержати модель в пакеті Simulink (рис. 4-9).

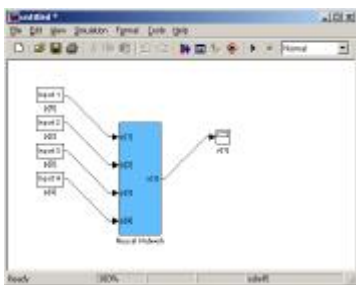


Рис. 4. Архітектура ШНМ в пакеті Simulink

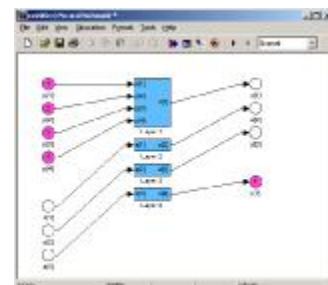


Рис. 5. Структурна схема шарів ШНМ в пакеті Simulink

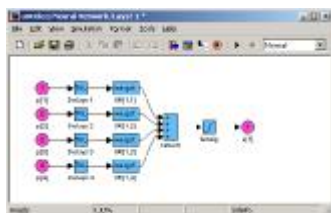


Рис. 6. Структурна схема першого шару ШНМ



Рис. 7. Структурна схема другого шару ШНМ



Рис. 8. Структурна схема третього шару ШНМ

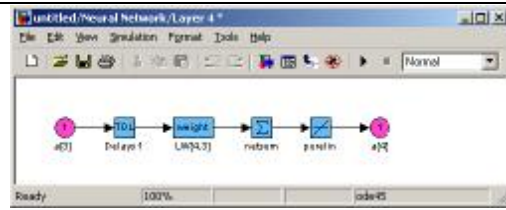


Рис. 9. Структурна схема четвертого шару ШНМ

6. Методика навчання ШНМ

Для навчання одержаної ШНМ послідовність навчальних векторів (навчальна вибірка) задано у вигляді:

$c = \{ [32500; 0; 0; 0] [30875; 0; 0; 0] [\dots];$ – навчальні вектори для входу Input1 (x'_1);

$[0; 0; 0.15; 0; 0] [0; 0; 0.2; 0; 0] [\dots];$ – навчальні вектори для входу Input2 (x'_2);

$[3450; 0; 0; 0; 0] [5900; 0; 0; 0; 0] [\dots];$ – навчальні вектори для входу Input3 (x_1);

$[0; 0; 0; 0; 1.7; 0; 0; 0; 0] [0; 0; 0; 0; 1.8; 0; 0; 0; 0] [\dots];$ – навчальні вектори для входу Input4 (x_2).

Цільовий вектор визначено як $m = \{ [0.05; 0.02; 0.01; 0.01] [0.1; 0.04; 0.02; 0.02] [\dots] \}$.

Для вибору алгоритму навчання було проведено навчання ШНМ з навчальною вибіркою з 554 векторів за різними алгоритмами (рис. 10-13).

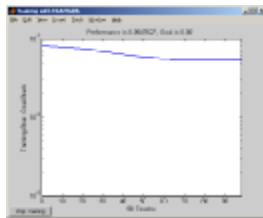


Рис. 10. Алгоритм градієнтного спуску з вибором параметра швидкості налагодження (GDA)

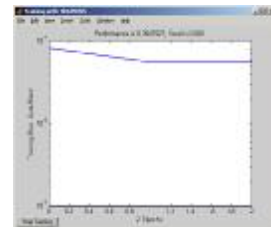


Рис. 11. Однокроковий алгоритм методу січної (OSS)

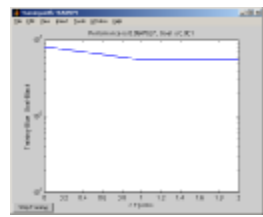


Рис. 12. Алгоритм Левенберга-Марквардта (LM)

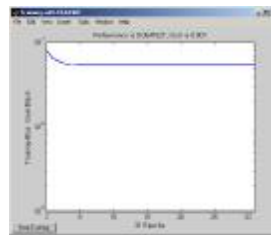


Рис. 13. Пороговий алгоритм оберненого поширення Rprop

Результати дослідження показали, що ШНМ навчається різними алгоритмами за різну кількість епох, але похибка навчання є приблизно однаковою для всіх алгоритмів навчання і у середньому складає 0.0547527.

7. Аналіз отриманих результатів

Для тестування ШНМ використовувалась тестова вибірка з 48 векторів. Процес навчання і тестування за різними алгоритмами навчання відображено на рис. 18– 21. На рисунках нижня крива відображає графік навчання, а верхня крива відображає графік тестування ШНМ.

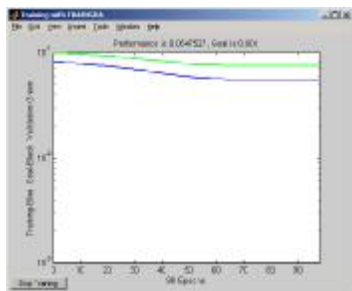


Рис. 18. Алгоритм градієнтного спуску з вибором параметра швидкості налагодження (GDA)

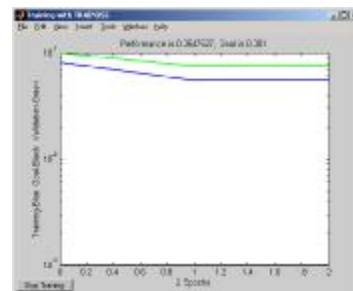


Рис. 19. Однокроковий алгоритм методу січної (OSS)

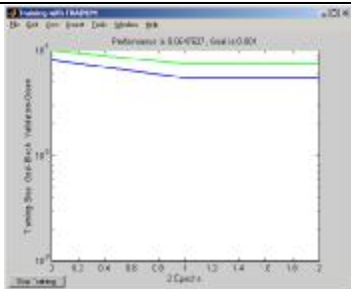


Рис. 20. Алгоритм Левенберга-Марквардта (LM)

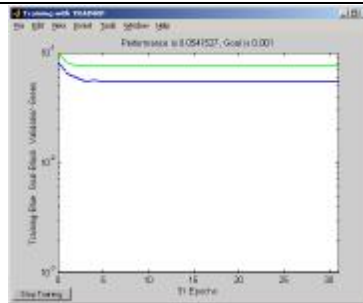


Рис. 21. Пороговий алгоритм оберненого поширення Rprop

Графіки навчання і тестування ШНМ показали, що мережа навчена з похибкою, яка обумовлюється недостатньою кількістю векторів навчальної вибірки.

Для розрахунку максимального об'єму навчальної вибірки використаємо формулу комбінаторики, яка дозволяє обчислити кількість сполучень без повторень: $C(m, n) = \frac{m!}{n!(m-n)!} = \frac{24!}{4!(24-4)!} = 10626$, де

m – кількість вхідних нейронів (входів) ШНМ ($m=24$); n – кількість вихідних нейронів (виходів) ШНМ ($n=4$). Отже, при наявності більше 10 тисяч навчальних векторів можна застосувати статистичні методи.

ШНМ використовується в умовах неповноти вхідної інформації. Для розрахунку необхідного об'єму навчальної вибірки для ШНМ, яку потрібно навчити з похибкою порядку 10^{-1} використаємо формулу

[14]: $N > \frac{h \cdot g}{e_0} = \frac{24 \cdot 24}{10^{-1}} = 5760$, де g – кількість вхідних нейронів (входів) ШНМ ($g=24$); h – кількість

нейронів прихованого шару ШНМ ($h=14+10=24$), e_0 – допустима похибка навчання ($e_0=10^{-1}$). Отже, 5760 векторів навчальної вибірки достатньо для того, щоб навчити ШНМ розпізнавати ці можливі ситуації з заданою точністю.

У якості прикладу використання запропонованого методу розглянемо результати дослідження метрик 4-х проектів, розроблених софтверною компанією "СТУ-Електронікс" м.Хмельницького (таблиця 2).

Таблиця 2

Опрацювання неймережною складовою НМОП результатів метричного аналізу етапу проектування

№ п/п	Метрики складності з точними значеннями	Метрики якості з точними значеннями	Метрики складності з прогнозованими значеннями	Метрики якості з прогнозованими значеннями	Результат функціонування ШНМ
1	Метрика Чепіна – 1700 Метрика Джилба – 160	Метрика зв'язності – 10 Метрика зчеплення – 1	Очікувана LOC-оцінка – 3300 Метрика Холстеда – 73400 Метрика Джилба – 0,053	Прогнозований загальний час розроблення ПЗ – 27 Очікувана вартість розроблення ПЗ – 7800 Прогнозований функційний розмір – 120	$Y_1=0,95$ $Y_2=1$ $Y_3=0,95$ $Y_4=0,96$
2	Метрика Мак-Клура – 90000 Метрика Кафура – 376900 Метрика Чепіна – 24530	Метрика зв'язності – 3 Метрика зчеплення – 7 Метрика звертання до глобальних змінних – 0,71	Очікувана LOC-оцінка – 40135 Метрика Холстеда – 124928 Метрика Маккейба – 1903	Прогнозований загальний час розроблення ПЗ – 396 Очікувана вартість розроблення ПЗ – 152000 Прогнозований функційний розмір – 2220	$Y_1=0,25$ $Y_2=0,3$ $Y_3=0,2$ $Y_4=0,26$
3	Метрика Чепіна – 14538 Метрика Джилба – 1121	Метрика зв'язності – 7 Метрика зчеплення – 4	Очікувана LOC-оцінка – 25530 Метрика Холстеда – 781232 Метрика Джилба – 0,5	Прогнозований загальний час розроблення ПЗ – 218 Очікувана вартість розроблення ПЗ – 86100 Прогнозований функційний розмір – 1210 Прогнозована вартість перевірки якості ПЗ – 8800	$Y_1=0,55$ $Y_2=0,6$ $Y_3=0,51$ $Y_4=0,57$
4	Метрика Мак-Клура – 12000 Метрика Кафура – 64238 Метрика Чепіна – 3241	Метрика зв'язності – 9 Метрика зчеплення – 3 Метрика звертання до глобальних змінних – 0,089	Очікувана LOC-оцінка – 6240 Метрика Холстеда – 162251 Метрика Джилба – 0,12 Метрика Маккейба – 298	Прогнозований загальний час розроблення ПЗ – 69 Очікувана вартість розроблення ПЗ – 29300 Прогнозована оцінка трудовитрат за моделлю Боєма – 60	$Y_1=0,9$ $Y_2=0,92$ $Y_3=0,89$ $Y_4=0,86$

Згідно з отриманими результатами: 1-й проект достатньо простий та має високу якість, майбутнє ПЗ очікується також простим та високої якості; 2-й проект достатньо складний та має низьку якість, майбутнє ПЗ очікується також достатньо складним та низької якості; 3-й проект має середню складність та якість, майбутнє ПЗ також очікується середньої складності та якості; 4-й проект є простим і має високу якість, майбутнє ПЗ також очікується достатньо простим і високоякісним.

Розглянемо вибір варіанту реалізації проекту на основі результатів ШНМ, вартості та часу розроблення (таблиця 3).

Таблиця 3

Характеристики варіантів реалізації проекту

№ варіанту	Характеристики Y_1, Y_2	Характеристики Y_3, Y_4	Вартість	Час розроблення
1	$Y_1=0,51$ $Y_2=0,56$	$Y_3=0,60$ $Y_4=0,57$	87000 грн	200 робочих днів
2	$Y_1=0,32$ $Y_2=0,35$	$Y_3=0,38$ $Y_4=0,37$	89000 грн	210 робочих днів

Характеристики варіантів реалізації з таблиці 3 свідчать, що обидва варіанти мають приблизно однакові вартість та час розроблення, але суттєво різні оцінки складності та якості проекту і прогнози щодо складності та якості розроблюваного ПЗ, тому на основі лише вартості та часу розроблення софтверна організація може прийняти хибний висновок щодо вибору варіанту реалізації проекту. Саме оцінки, надані ШНМ, допоможуть зробити вірний вибір і реалізувати 1-й варіант, який має кращі показники складності та якості.

Висновки

З результатів аналізу методів метричної оцінки ПЗ впливає потреба і актуальність наукових досліджень в галузі оцінки та прогнозування якості ПЗ.

Основними параметрами при виборі варіанту реалізації ПЗ є вартість та тривалість розроблення і репутація фірми-проектувальника, але рішення, прийняті на основі цих параметрів, не завжди гарантують належну якість ПЗ. Прогнозовані оцінки характеристик якості розроблюваного ПЗ дають прогноз щодо якості реалізації конкретної версії проекту та дозволяють порівняти між собою різні версії проектів у ситуації, коли вартість і тривалість приблизно однакові. Запропонований підхід дає змогу прийняти мотивоване та обгрунтоване рішення щодо вибору проекту та його реалізації на основі не лише вартісних та часових характеристик, але й з врахуванням характеристик якості.

В ході дослідження автори виявили ряд невирішених задач: 1) проблема недостатності метричної інформації для нарощування обсягу навчальної та тестової вибірок; 2) необхідність розроблення метрик оцінки складності розроблюваного ПЗ з точки зору складності чи простоти його супроводу, зручності використання (usability) та ефективності методів, обраних для розв'язання задачі; 3) оптимізація архітектури ШНМ та вибір функції оцінки якості навчання ШНМ.

Література

1. Bishop P. A Methodology for Safety Case Development / P. Bishop. – 1998.
2. Kelly T. Arguing Safety – A systematic Approach to Managing Safety Cases / T. Kelly. – 1998.
3. Kelly T., Managing Complex Safety Cases. 11th Safety Critical System Symposium, 2003.
4. Górski J. Trust Case – a case for trustworthiness of IT infrastructures / J. Górski // *Cyberspace Security and Defense: Research Issues*, 2005.
5. Netkachova K. I. Safety Case Methodology: Architecting principles // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи – Харків: НАУ “ХАІ”, 2010 – № 7, с.109-112*
6. Поморова О.В., Говорущенко Т.О. Інтелектуальний метод оцінювання результатів проектування та прогнозування характеристик якості програмного забезпечення // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи – Харків: НАУ “ХАІ”, 2010 – № 6, с.211-218*
7. Поморова О.В., Говорущенко Т.О. Аналіз методів та засобів оцінки якості програмних систем // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи – Харків: НАУ “ХАІ”, 2009 – № 6, с.148-158*
8. Поморова О. В. Аналіз та опрацювання метрик якості програмного забезпечення на етапі проектування / О. В. Поморова, Т. О. Говорущенко, С. Я.Тарасек // *Вісник Хмельницького національного університету – Хмельницький: ХНУ, 2010. – № 1, С. 54– 63*
9. Липаев В. В. Выбор и оценивание характеристик качества программных средств: Методы и стандарты / Липаев В. В. – М.: Синтег, 2001 – 224 с.
10. Медведев В. С., Потемкин В.Г. Нейронные сети Matlab 6 / В. С. Медведев, В. Г. Потемкин; под общей ред. В. Г.Потемкина. – М.: Диалог-Мифи, 2002. – 496 с.
11. Кент Рейсдорф. Borland C++ Builder 3. Освой самостоятельно; [пер. с англ.]. – М.: ЗАО "Издательство БИНОМ", 1999. – 736 с.
12. Бобровский С. Delphi 5: учебный курс / Бобровский С. – СПб.: Изд-во "Питер", 2000. – 640 с.
13. Брауде Э. Технология разработки программного обеспечения / Брауде Э. – СПб.: Питер, 2004 –

УДК 621.391.24

М.В. ЗАХАРЧЕНКО, В.Й. КІЛЬДІШЕВ, С.В. ХОМИЧ, О.Г ПРИШЛЯК

Одеська Національна Академія зв'язку ім. О.С. Попова, м. Одеса

КОМПЕНСАЦІЯ НАДЛИШКОВОСТІ В БЛОКОВИХ КОРЕКТУЮЧИХ КОДАХ ЗА РАХУНОК ТАЙМЕРНИХ СИГНАЛІВ

Проведена оцінка ефективності компенсації затрат на перевірочні елементи в блокових коректуючих кодах за рахунок використання таймерних сигналів в бінарних каналах моделі Гільберта.

In the work was presented the assessment of the effectiveness the compensation costs of testing elements in correcting block codes by using timer signals in a binary channel model Hilbert.

Ключові слова: Пропускна спроможність, спотворення, швидкість модуляції, таймерні сигнальні конструкції.

Постановка задачі

На даний момент часу актуальною є проблема старіння інформації, причиною якої є затримка повідомлень в процесі передачі інформації [1]. Однією із причин збільшення затримки повідомлень є збільшення числа додаткових коректуючих елементів в сигнальних конструкціях блокових кодів при підвищенні вимог до якості передачі [2].

Зрозуміло, що проблема компенсації надлишковості в каналах з базою $B = \Delta F \cdot t_0 = 1$, в яких збільшення швидкості модуляції приводить до суттєвого збільшення між символних завад, є актуальною. Методи зменшення часових витрат на передачу заданого об'єму інформації в бінарному каналі можливо розділити на два види:

- збільшення швидкості модуляції за рахунок зменшення відстані між суміжними значущими моментами модуляції (ЗММ), тобто використання наднайквістової швидкості передачі, аналізу цього методу якому присвячені роботи [3– 5];
- збільшення швидкості передачі інформації в одиницю часу за рахунок використання статистичних характеристик стану реальних каналів.

Аналіз публікацій стосовно даної проблеми. В роботі [4] для каналів з базою $B=1$ одержано аналітичну залежність між величиною дисперсії міжсимвольної завади s_z^2 характеристикою передавальної функції $H(w)$

$$s_z^2 = \frac{(1-p/\Omega)^2}{pI_0} \int_0^\Omega \sum_{p=-\infty}^{\infty} \frac{1}{1 + \left[\frac{w-p2p}{2I_0} \right]^2} dw + \frac{1}{pI_0} \int_\Omega^p \sum_{p=-\infty}^{\infty} \frac{1}{1 + \left[\frac{w-p2p}{2I_0} \right]^2} dw, \quad (1)$$

де I_0 – середнє число перетинів нульового рівня за одиницю часу; Ω – смуга пропускання каналу;

w – циклічна частота коливання.

На рис. 1 [6] показані залежності характеристики завадостійкості h^2 при найквістовій швидкості і при різних коефіцієнтах перевищення її $m \in 1,1; 1,2; 1,4; 1,6$.

З іншого боку, збільшення швидкості передавання утворює можливість сформуванати на тому самому часовому інтервалі кодового слова, більшу кількість реалізацій, тобто створити умови для збільшення пропускнуої здатності каналу:

$$C = m \left[1 + p_n \log_2 p_n + (1 - p_n) \log_2 (1 - p_n) \right]. \quad (2)$$

На рис. 2 наведено залежності $C = f(m)$ для значень $h = 2; 3; 4; 5$. Таким чином, показано, що зменшення тривалості елементарних сигналів за розрядно-цифрового кодування по відношенню до

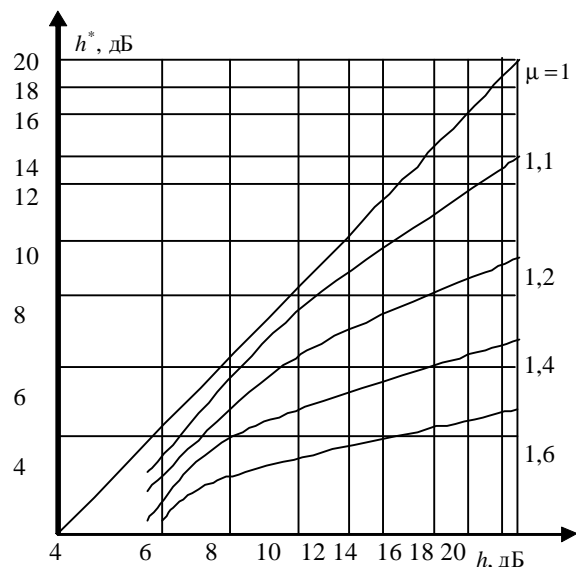


Рис. 1. Вплив флукуаційного шуму на момент спрацьовування безінерційного реле

найквістового елемента в μ разів приводить до збільшення пропускної здатності каналу зв'язку, з одного боку, і до зменшення завадостійкості – з іншого боку.

У табл. 1 надано значення параметрів n (μ), r , $d_{\text{мін}}$ та $t_{\text{в}}$ надлишкових кодів для різних значень μ [2].

Таблиця 1

Значення параметрів надлишкових кодів для різних значень μ

Параметри	M			
	1,1	1,2	1,4	1,6
n (μ)	11	12	14	16
r	1	2	4	6
$d_{\text{мін}}$	2	2	3	4
$t_{\text{в}}$	1	1	2	3

На рис. 3 показана залежність швидкості передавання R^k від μ з урахуванням числа надлишкових елементів згідно з табл. 1.

Як бачимо, застосування кодів, що виправляють помилки за рахунок найквістової швидкості модуляції, зменшує ймовірність помилкового приймання елемента, але не компенсує втрату завадостійкості повністю.

Мета роботи. Компенсація надлишковості в блокових коректуючих кодах за рахунок таймерних сигналів в бінарних каналах моделі Гільберта [2].

Розглянемо можливість ефективного використання структури реальних каналів моделі Гільберта. Модель потоку помилок в каналі з двома станами запропонована Гільбертом, описує потік помилок у каналі простим однорідним ланцюгом Маркова з двома станами. В одному стані – хорошому – перевищення сигналу h_c^2 більше порогового значення $h_{cп}^2$ і ймовірність спотворення символів p_{e1} значно менше середнього значення p_e . В іншому стані каналу – поганому – в межах інтервалів (t_1, t_2) і (t_3, t_4) величина $h_c^2 < h_{cп}^2$, і ймовірність спотворення символів $p_{e2} \gg p_e$. Моменти часу t_1 та t_3 відповідають появі пакетів помилок довжиною $l_{п}$ символів, при цьому помилки всередині пакетів і самі пакети передбачаються некорельованими.

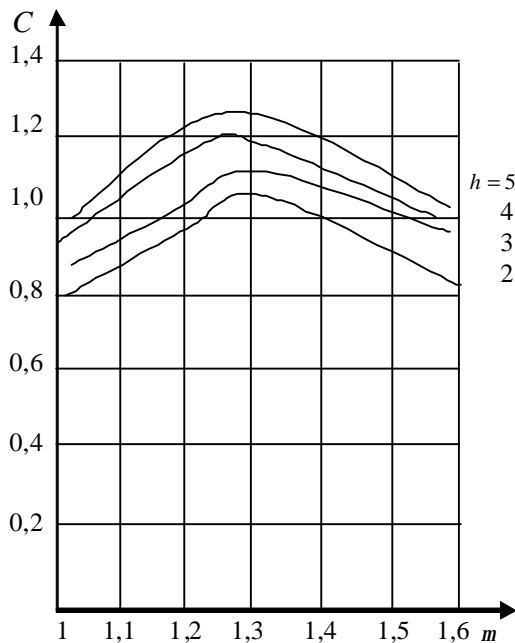


Рис. 2. Залежності $C = f(\mu)$

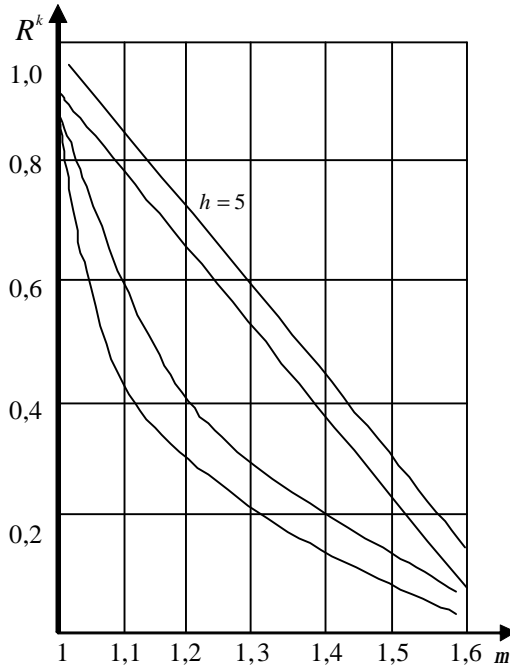


Рис. 3. Графіки залежностей $R^k = f(\mu)$

Ймовірність помилки залежить від величини перевищення сигналу над шумами h_c^2 (передбачається, що в каналі зв'язку діють адитивні гауссівські шуми). Завмирання викликають зміну h_c^2 , тому при визначенні залежності $p_e(h_c^2)$ необхідно перейти від функції $w(U_c)$ до функції $w(h_c^2)$. Згідно з теоремою про перетворення розподілу ймовірностей маємо

$$w(h_c^2) = w[f(h_c^2)] \frac{df(h_c^2)}{dh_c^2}, \quad (3)$$

де функція

$$f(h_c^2) = U_c^2 = 2h_c^2 S_{ш}^2. \quad (4)$$

Ця модель характеризується параметрами: $p_{п}$ – ймовірність появи пакета помилок (ймовірністю переходу каналу від хорошого стану в поганий); $p(l_{п})$ – ймовірність утворення пакета помилок довжиною $l_{п}$ в поганому стані каналу; p_{e1} – ймовірність спотворення символів в хорошому стані каналу (за відсутності пакета помилок); p_{e2} – ймовірність спотворення символів в поганому стані каналу (всередині пакета помилок).

Нехай в пакетах зосереджено $a_0\%$ усіх помилок. Тоді [8]

$$\int_0^{h_{cп}^2} f(h_c^2) w(h_c^2) dh_c^2 = a_0 \int_0^{\infty} f(h_c^2) w(h_c^2) dh_c^2 = a_0 p_e. \quad (5)$$

Тому що ймовірність

$$p_{e1} = \frac{\int_{h_{cп}^2}^{\infty} f(h_c^2) w(h_c^2) dh_c^2}{\int_{h_{cп}^2}^{\infty} w(h_c^2) dh_c^2}; \quad p_{e2} = \frac{\int_0^{h_{cп}^2} f(h_c^2) w(h_c^2) dh_c^2}{\int_0^{h_{cп}^2} w(h_c^2) dh_c^2} \quad (6)$$

то при заданому значенні $h_{cп}^2$ одержимо

$$p_{e1} = \frac{1-a_0}{1-j_1} p_e; \quad p_{e2} = \frac{a_0 p_e}{j_1}, \quad (7)$$

де функція

$$j_1 = \int_0^{h_{cп}^2} w(h_c^2) dh_c^2. \quad (8)$$

Середнє число викидів за 1 с обвідної випадкового процесу $h_c^2(t)$ вище рівня $h_{cп}^2$ визначається виразом

$$n_0 = \frac{0,85}{\sqrt{h_{co}^2 T_{30}}}. \quad (9)$$

Тоді ймовірність

$$p_{п} = n_0 T_c e^{-n_0 T_c}. \quad (10)$$

Якщо $t_{п}$ – тривалість викиду обвідної функції $h_c^2(t)$, то ймовірність

$$p(l_{п}) = \int_{(l_{п}-0,5)T_c}^{(l_{п}+0,5)T_c} w(t_{п}) dt_{п}. \quad (11)$$

При завмиранні за законом Релея густина ймовірності

$$w(h_c^2) = \frac{2\sqrt{h_c^2}}{h_{co}^2} e^{-\frac{h_c^2}{h_{co}^2}}, \quad (13)$$

де h_{co}^2 – середнє значення h_c^2 . В цьому випадку при некогерентному прийманні на інтервалі "хорошого" стану каналу ймовірність помилки визначається

$$p_{e1} = \frac{1}{2} e^{-\frac{h_c^2}{2}}, \quad (14)$$

а для "похого" стану

$$p_{e2} = \frac{1}{2 + h_{co}^2}. \quad (15).$$

Тоді при $a_0 = 0,99$ одержимо

$$h_{c_0}^2 \approx 3; \quad j_1 = 1 - e^{-\frac{9}{h_{c_0}^2}} \approx \frac{9}{h_{c_0}^2}. \quad (16)$$

При $h_{c_0}^2 \geq 100$, що часто виконується на практиці, ймовірності

$$p_{e1} \approx 10^{-2} p_e; \quad p_{e2} \approx 0,11 p_e h_{c_0}^2, \quad (17)$$

$$p(l_n) = \exp\left[-\frac{p(l_n - 0,5)^2}{4l_{no}^2}\right] - \exp\left[-\frac{p(l_n + 0,5)^2}{4l_{no}^2}\right], \quad (18)$$

де l_{no} – середня довжина пакету помилок у символах; T_{30} – середній період завмирань.

Вище показано, що в каналах моделі Гільберта завадостійкість в "хорошому" стані в сотні раз більше завадостійкості в "плохому" стані. В той же час намагання збільшити швидкість передачі за рахунок зменшення довжини елементарної послідовності (наднайквістова швидкість) приводить до значних міжсимвольних завад. Таким чином ми не маємо симетричних можливостей перетворення швидкості передачі інформації в якість передачі і якості в швидкість.

Причиною обмежень симетричних трансформацій швидкості в якість і якості в швидкість є фіксована довжина одиничного елемента сигналу, яка визначається полосою пропускання каналу

$$t_0 = \frac{1}{\Delta F} \left(\text{або } t'_0 = \frac{1}{2\Delta F} \right) \quad (19)$$

Енергетична відмінність між сигнальними конструкціями при по елементному методі передачі для простого коду визначається енергією цього одиничного елемента і для коректуючих кодів збільшується в κ раз (κ – число додаткових елементів).

Для вирішення задачі збільшення кількості переданої інформації на заданому інтервалі часу необхідно застосовувати такі сигнальні конструкції, в яких відстані між моментами модуляції в одній кодовій конструкції не менше найквістової, а енергетична відстань між кодовими конструкціями визначається елементом меншим від найквістового. Такими властивостями володіють тільки таймерні сигнали [6, 7].

На відміну від розрядно-цифрового способу кодування, коли інформація про передаваний розряд визначається видом сигналу на одиничному (найквістовому) інтервалі, в таймерних сигнальних конструкціях (ТСК) інформацію закладено у тривалостях декількох окремих часових відрізків сигналу t_c на інтервалі конструкції T_c і їхньому взаємному положенні. З метою зменшення міжсимвольних спотворень тривалість відрізків не менше найквістового інтервалу $t_c = t_0 + k\Delta$ ($k \in 0, 1, \dots, I$). Часовий відрізок Δ показує частину одиничного елемента $t_0 > \Delta = \frac{t_0}{s}$ і визначається завадами у каналі та припустимою ймовірністю помилкового приймання сигнальної конструкції ($s \in 2, 4 \dots 5$).

Оцінимо ефективність використання таймерних сигнальних конструкцій при передаванні двійковим симетричним каналом.

На рис. 4 наведено декілька реалізацій таймерних сигнальних конструкцій.

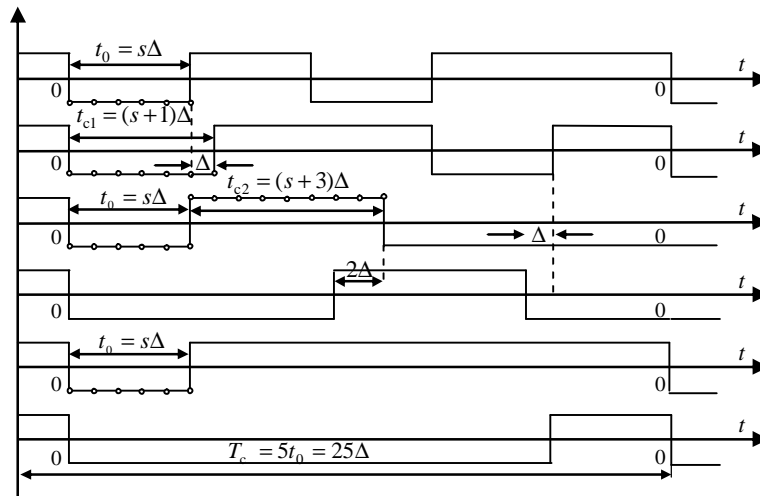


Рис. 4. Реалізація ТСК

Для такого способу формування сигнальних конструкцій число N_{pt} на інтервалі $T_c = mt_0$ при

$\Delta = \frac{1}{S}$ дорівнює

$$N_{\text{пр}} = C_{ms-i(s-1)}^i t_c \geq \Delta(s+i), \quad i = 1; 2; \mathbf{K} \quad (20)$$

При використанні конструкцій з різним числом ЗММ (i)

$$N_{\text{пр}} = \sum_{i=1}^m C_{ms-i(s-1)}^i \cdot \quad (21)$$

Проведемо розрахунки кількості реалізацій на інтервалі $m = 5; 8$ при значеннях числа інформаційних моментів модуляції $i = 3; 4$ та різних значень $\Delta = \frac{t_0}{s} (s = 5; 7)$.

Розрахунки проводяться згідно з формулою 4 для різних значень параметрів $m; s; i$. Результати розрахунку наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Число реалізацій ТСК при зміні i та D_c

i	S	
	M	
3	5	286
	8	969
4	5	126
	8	495

З дозволених для передавання ТСК (в яких окремі відрізки $t_{ci} \geq s\Delta$, які формуються на проміжку часу $T_c = mt_0$ за вибраної величини Δ будуть СК: $N_p(1)$ – з одним інформаційним ЗММ; $N_p(2)$ – з двома ЗММ, $N_p(m-1)$ – з $(m-1)$ ЗММ і одна СК з m значущими моментами модуляції.

Отже,

$$N_{\Sigma} = N_p = N_p(1) + N_p(2) + \dots + N_p(m-1) + N_p(m). \quad (22)$$

Через те що в сумарному числі N_p різне число кодових комбінацій з заданим числом i -моментів модуляції, то середнє число моментів модуляції \bar{i} дорівнює

$$\left. \begin{aligned} \bar{i} &= \sum_{i=1}^m P[N_p(i)] i \\ P[N_p(i)] &= \frac{N_p(i)}{N_{p\Sigma}} \end{aligned} \right\} \quad (23)$$

Кожна з таймерних сигнальних конструкцій за рівноймовірних символів на вході може передати H_i біт інформації.

$$H_i = \log_2 N_p. \quad (24)$$

Але, тому що на вході каналу формуються кодові сигнали, які належать різним групам за ознакою числа переходів, то кількість інформації, яка полягає у виборі групи з i -переходами, дорівнює

$$H_r = -\sum_{i=1}^m P[N_p(i)] \log_2 P[N_p(i)] = \sum \frac{N_p(i)}{N_p} \log_2 \left[\frac{N_p(i)}{N_p} \right]. \quad (25)$$

Якщо приймач отримав сигнал з i -переходами, то невизначеність у достовірності передавання кожного з них на k -му місці знаходиться умовною ентропією

$$H\left(\frac{Z_i}{K_i}\right) = -\sum_{i=1}^{Z_0} P\left(\frac{Z_i}{K_i}\right) \log_2 P\left(\frac{Z_i}{K_i}\right), \quad (26)$$

де $P\left(\frac{Z_i}{K_i}\right)$ – ймовірність отримання переходу на Z_i місці за умови, що він передавався на K_i місці.

Виходячи з (26) можна показати, що кількість інформації, яка передається одним словом ТСК в каналі без завад

$$I = H_i - H_{\Sigma i} = \log_2 N_p - \sum_{i=1}^m P(i) H\left(\frac{Z_i}{K_i}\right). \quad (27)$$

За нерівномірних довжин кодових слів середнє значення кількості інформації на один найквістовий

елемент складає:

$$I_0 = \frac{I}{m_{\Sigma}} = \frac{\log_2 N_p - \sum_{i=1}^m i P(i) H\left(\frac{Z_i}{K_i}\right)}{\sum_{i=1}^m \left[it_0 + \frac{mt_0 - it_0}{2} \right] \frac{N_p(i)}{N_p}} \quad (28)$$

де \bar{m}_{Σ} – середня довжина кодового слова.

Слід зауважити, що нерівномірні за довжиною сигнали ТСК можливі тільки за наявності ознак кінця кодового слова. Тому, при формуванні простих ТСК краще користуватись кодовими сигналами однакової довжини $T_0 = mt_0$. Для таких ТСК маємо

$$I_0 = \frac{\log_2 N_p - \sum_{i=1}^m i P(i) H\left(\frac{Z_i}{K_i}\right)}{m} \quad (29)$$

З останнього виразу виходить, що пропускна здатність є функція від N_p і достовірності вірного приймання одного переходу.

На рис. 5 [6] наведено залежності пропускної здатності каналів з різним рівнем флуктуаційних шумів (задано $h = u_c / u_s$) як функцій s (криві 1...3 для $h = 7,5$ і $m = 8$, 6, 5 відповідно, криві 4...6 для $h = 5,5$ і $m = 8$, 6, 5 відповідно).

З рисунка виходить, що для кожного значення h є величина зони, за якої C_m буде максимальним.

Проведемо оцінку ефективність використання ТСК для компенсації надлишковості в блокових кодах. Оцінимо структуру таймерної сигнальної конструкції при використанні коду Слепяна (9,5) в каналі Гільберта.

Нагадаємо, що код Слепяна (9,5) синтезовано на інтервалі $n = 9$ для $m = 5$ при $d = 3$ [2]. Код дозволяє виправляти одноразові помилки. На жаль на один інформаційний елемент припадає 0,8 елементів перевірочних, що суттєво знижує кодову швидкість передавання.

Для оцінки ефективності компенсації надлишковості коду при передаванні ТСК, будемо вважати що $\Delta = 0,2t_0$ ($s = 5$). Вважатимемо, що величина середньоквадратичного відхилення ЗМВ розрахована раніше $s_0 = 0,017 < 0,02$. [8] Тому що для виправлення двократних помилок кодова відстань повинна дорівнювати $d = 5$, а число перевірочних елементів 8, то для синтезу 2^{13} реалізацій ТСК можна взяти всі сигнальні конструкції на інтервалі $T_c = 6,7 t_0$ при $i \in \overline{1...6}$ ($N_{p\Sigma} = 9494$).

Знаючи значення s_0 і Δ розрахуємо ймовірність помилкового приймання одного ЗМВ $P_{\text{пн}}$ для «хорошого» стану каналу

$$P_{\text{пн}}^{(1)} = 2 \cdot \left[0,5 - \Phi\left(\frac{20}{2 \cdot 0,02}\right) \right] = 5,8 \cdot 10^{-7}.$$

Отже ймовірність вірного приймання одного $P_{\text{вп}}^{(1)}$ ЗМВ у сигнальній конструкції ТСК при «хорошому» стані $P_{\text{вп}}^{(1)} = 1 - P_{\text{пн}} = 0,99999942$.

Оскільки використовуються сигнальні конструкції з різним числом ЗММ $i \in (1...6)$, то середне

значення $\bar{i} = \frac{\sum_{i=1}^m i \cdot C_{mS-i(S-1)}^i}{\sum_{i=1}^m C_{mS-i(S-1)}^i}$ і становить 4 ($\bar{i} = 4$), тоді ймовірність вірного приймання конструкції:

$$P_{\text{вп}} = (0,99999942)^4 = 0,9999976.$$

Зважаючи на те, що сигнальна конструкція ТСК несе інформацію про 13-елементні комбінації РЦК,

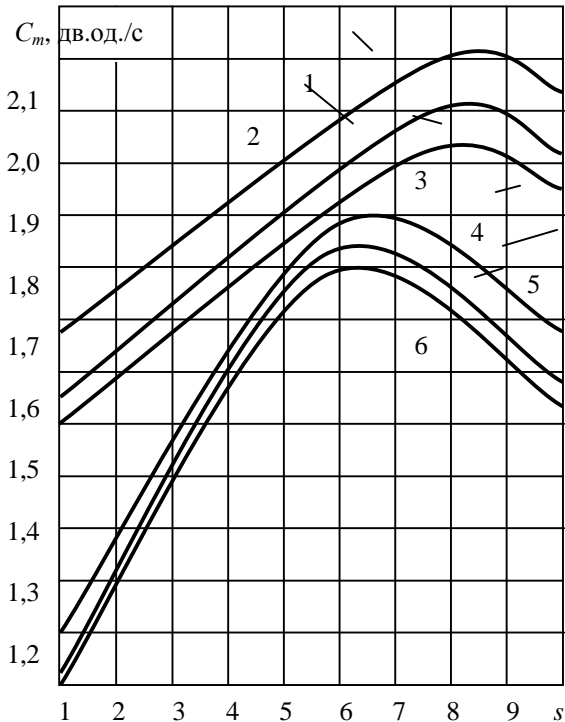


Рис. 5. Залежності пропускної здатності каналу $C_i = f(s)$ при $h = \text{const}$, $m = \text{const}$

то ймовірність вірного приймання одного елемента після перекодування ТСК в РЦК (у «хорошому» стані каналу) буде

$$P_{\text{е вп}} = \sqrt[13]{P_{\text{вп}}} = 0,999999875.$$

Ймовірність помилкового приймання елемента в «хорошому» стані після перекодування ТСК в РЦК буде $P_{\text{е}}^* = 2 \cdot 10^{-7}$.

Враховуючи те, що ця ймовірність більш ніж на чотири порядки менше ймовірності помилкового приймання елемента за розрядно-цифрового кодування ($P_{\text{е р}} \approx (1,8 \dots 2,3) \cdot 10^{-3}$), слід припустити, що сумарна ймовірність після перетворення ТСК в РЦК буде менша. Викликано це тим, що конструкції ТСК формуються на інтервалі $T_{\text{с}} = 6,7 t_0$ замість 13-елементних при РЦК $\left(k = \frac{6,7}{13} = 0,515\right)$. Отже, ймовірність «поганого» стану каналу на інтервалі одного ТСК в 2 рази менше порівняно з РЦК. За наявності кодового перемежувача помилки на виході будуть практично незалежними.

Враховуючи те, що 13-елементний код виправляє помилки кратності 2 – загальна ймовірність правильного приймання комбінації дорівнює сумі ймовірностей того, що всі тринадцять елементів прийнято вірно або що з тринадцяти елементів невірно прийнято не більше двох елементів:

$$P_{\text{пр}} = (0,999999875)^{13} + 13 \cdot (0,999999875)^{12} \cdot 0,001 + \\ + 78 \cdot (0,999999875)^{11} \cdot 10^{-6} = 0,9999996.$$

Для порівняння з ймовірністю вірного приймання первинного коду розрахуємо значення еквівалентної ймовірності $P_{\text{е р}}$ вірного приймання, при РЦК враховуючи, що інформаційних елементів в початковому кодовому слові $m = 5$:

$$P_{\text{е р}} = \sqrt[5]{0,9999996} = 0,9999999, \\ P_{\text{е в}} = 1 - P_{\text{е п}} = 10^{-7}.$$

Таким чином, результати розрахунку підтверджують, що використання ТСК дозволяє компенсувати надлишковість 13-елементного коду з $d = 5$, побудованого на базі коду Слепяна (9,5), знизити ймовірність помилкового приймання на чотири порядки і підвищити кодову швидкість майже вдвічі (з 5/13 до 5/6,7).

Висновок

Аналіз одержаних результатів підтверджує, що запропонований алгоритм не тільки дозволяє зменшити часові витрати на передачу інформації майже вдвічі, а й забезпечує зниження ймовірності помилкового приймання кодового слова, таким чином, дозволивши підвищити якість прийому інформації.

Література

1. Александров А. М. О периоде занятости некоторых систем с зависимыми временными параметрами обслуживания / А. М. Александров // Техническая кибернетика. М.: Изв. АН СССР. – 1970. – № 3. – С. 73– 77.
2. Повышение эффективности блочного кодирования при работе по нестационарным каналам связи / [Н. В. Захарченко, С.М. Горохов, В.Н. Захарченко, М.М. Гаджиев, А.С. Крысько, М.А. Мамедов и др.]; под ред. Н.В. Захарченко. – Баку: ЭЛМ. – 2009. – 362 с.
3. Захарченко Н. В. Выбор узлов аппаратуры передачи данных: ч.І: [учебное пособие] / Н. В. Захарченко, П. Я. Нудельман // Одесский электротехнический институт связи им. А. С. Попова. – Одесса, 1980. – 92 с.
4. Захарченко Н. В. Основы передачи дискретных сообщений / Захарченко Н. В., Нудельман П. Я., Кононович В.. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.
5. Эффективные системы передачи информации / [Н. В. Захарченко, Е. М. Рудый, А. А. Вараксин, М. А. Мамедов, М. М. Гаджиев]; под ред. Н. В. Захарченко. – Баку: ЭЛМ. – 2007. – 568 с.
6. Захарченко В. М. Синтез багатопозиційних часових кодів / Захарченко В. М. – К.: Техніка, 1999. – 281 с.
7. Захарченко Н. В. Эффективность компенсации избыточности кода при использовании таймерных сигналов / Н.В. Захарченко, В.Е. Басов // Моделювання та інформаційні технології: зб. наук. праць. – Вип. 31. – К., 2005. – С. 6– 13.

Надійшла 2.3.2011 р.

ВПЛИВ КІЛЬКОСТІ НЕЧІТКИХ ПРАВИЛ НА ТОЧНІСТЬ БАЗИ ЗНАТЬ МАМДАНІ

Досліджується задача ідентифікації багатофакторних залежностей за допомогою нечітких баз знань типу Мамдані. Проведені комп'ютерні експерименти засвідчили квадратичну залежність точності нечіткої бази знань Мамдані від кількості правил.

The work is devoted to the multifactor dependence identification problem with Mamdani-type fuzzy knowledge bases. Carried computational experiments show that the dependence between Mamdani-type knowledge base accuracy and number of the rules is quadratic.

Ключові слова: ідентифікація, нечітка бази знань, повнота бази знань, точність.

Вступ

Сьогодні все частіше моделювання багатофакторних залежностей в техніці, економіці, медицині, соціології, будівництві, сільському господарстві, спорті та в інших областях здійснюють за допомогою нечітких баз знань. Нечіткою базою знань називається сокупність нечітких правил "Якщо – тоді", яка задає взаємозв'язок між входами та виходами досліджуваного об'єкту. В монографіях з проектування нечітких систем, наприклад в [1– 4], представлені різноманітні підходи до розв'язання прикладних задач за допомогою різних моделей баз знань, але в них немає відповіді на важливе практичне питання про необхідну кількість правил в базі знань. В нечіткому моделюванні найчастіше використовують базу знань Мамдані, в якій антецеденти та консеквенти описано нечіткими множинами. Тому, метою дослідження є виявлення впливу кількості правил на якість нечіткої бази знань Мамдані. Виявлення такої залежності дозволить визначити мінімальну кількість нечітких правил для адекватного опису досліджуваної залежності. В подальшому отриману у такий спосіб компактну нечітку базу знань можна краще і швидше навчити за експериментальними даними.

Постановка задачі

Вважатимемо відомою вибірку з M пар експериментальних даних, що пов'язують фактори впливу $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ з виходом y досліджуваної залежності:

$$(X_r, y_r), \quad r = \overline{1, M}, \quad (1)$$

де X_r – вхідний вектор в r -му рядку вибірки; y_r – відповідне вихідне значення.

Позначимо через $y = F(N, X)$ модель на основі нечіткої бази знань Мамдані з N правилами, що пов'язують входи X з виходом y досліджуваної залежності. Точність нечіткої моделі визначимо через середню квадратичну нев'язку на вибірці (1):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{r=1, M} (y_r - F(N, X_r))^2}. \quad (2)$$

За фіксованого нечіткого розбиття вхідних та вихідної змінних можна згенерувати кілька нечітких баз знань Мамдані з одним і тим самим числом правил (N). Тому задачу дослідження поставимо, як знаходження залежності точності $RMSE$ від обсягу N бази знань для найкращого, найгіршого та середнього випадків. Побудову таких кривих навчання здійснимо експериментально на двох еталонних залежностях з подальшою апроксимацією аналітичними моделями.

Нечітке виведення за базою знань Мамдані

Нечітку базу знань Мамдані запишемо таким чином [1]:

$$(x_1 = \tilde{a}_{1j} \text{ та } x_2 = \tilde{a}_{2j} \text{ та } \dots \text{ та } x_n = \tilde{a}_{nj}) \Rightarrow y = \tilde{d}_j, \quad j = \overline{1, N}, \quad (3)$$

де \tilde{a}_{ij} та \tilde{d}_j – нечіткі множини термів вхідних та вихідної змінної з функціями належності $m_j(x_i)$ та $m_{d_j}(y)$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, N}$.

Ступінь виконання антецедента j -го правила для поточного вхідного вектора $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$ розраховують так: $m_j(X^*) = \min(m_j(x_1^*), m_j(x_2^*), \dots, m_j(x_n^*))$, $j = \overline{1, N}$. Результатом виведення за j -им правилом бази знань буде нечітка множина

$$\tilde{d}_j^* = \text{imp}(\tilde{d}_j, m_j(X^*)), \quad j = \overline{1, N}, \quad (4)$$

де imp позначає імплікацію, яку реалізують операцією мінімуму.

Результат виведення за усіма правилами знаходять агрегуванням нечітких множин (4) $\tilde{y}^* = \text{agg}(\tilde{d}_1^*, \tilde{d}_2^*, \dots, \tilde{d}_N^*)$, знаходячи максимум функцій належності. Чітке значення вихода y^* , яке відповідає вхідному вектору X^* , визначається дефазифікацією нечіткої множини \tilde{y}^* за методом центра тяжіння.

Комп'ютерні експерименти

Експерименти проведемо для 2 еталонних залежностей (рис. 1) – неспадної та унімодальної

$$y = x_1 \sqrt{x_2}, \quad a \in [2;22], b \in [2;14], \quad (5)$$

$$y = -x_1^2 - x_2^2, \quad a \in [-7;3], b \in [-5;5]. \quad (6)$$

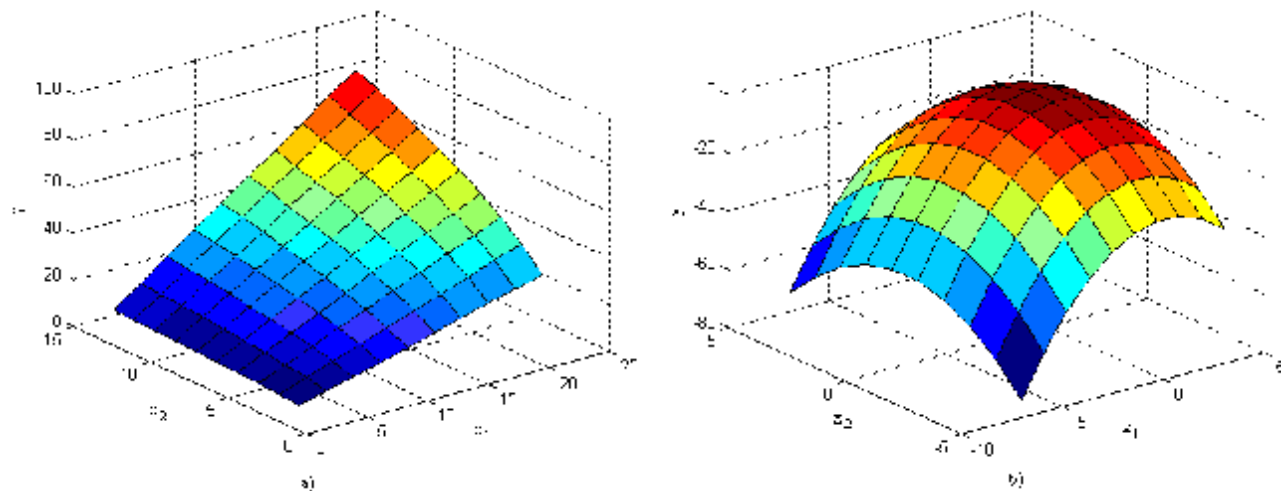


Рис. 1. Графіки еталонних залежностей а) неспадна залежність (5), б) мультіекстемальна залежність (6)

Для кожної нечіткого розбиття експерименти проводилися за такою схемою:

- 1) згенерувати тестову вибірку з 100 точок;
- 2) згенерувати повний список з N_{\max} адекватних нечітких правил;
- 3) синтезувати усі можливі нечіткі бази з N правил, $N = 1, N_{\max}$;
- 4) для кожної нечіткої бази знань розрахувати нев'язку на тестовій вибірці за формулою (2);
- 5) для кожної множини нечітких баз знань одного розміру знайти мінімальну $RMSE_{\min}$, максимальну $RMSE_{\max}$ та середню $RMSE_{mean}$;
- 6) побудувати графіки залежностей $RMSE_{\min}$, $RMSE_{mean}$ та $RMSE_{\max}$ від N .

Вихідна змінна оцінена 5-ма термами. Для неспадної еталонної залежності для оцінки вхідних змінних використовувалось 2, 3 та 4 термів, тобто експерименти проведено для таких 9-ти нечітких розбиттів вхідних змінних: 2x2, 2x3, 2x4, 3x2, 3x3, 3x4, 4x2, 4x3 та 4x4. Відповідно, максимальна кількість адекватних нечітких правил (N_{\max}) склала 4, 6, 8, 6, 9, 12, 8, 12 та 16. Для унімодальної використовувалося таке нечітких розбиття вхідних змінних: 3x3, 3x4, 3x5, 4x3, 4x4 та 5x3. Консеквентом кожного із цих правил обирався терм вихідної змінної з максимальним ступенем належності для значення еталонної функції для ядер нечітких термів антецедента. Нечітке розбиття здійснено за допомогою гаусових функцій належності, ядра яких рівномірно розподілено на діапазоні вхідних та вихідної змінних. Коефіцієнт концентрації функцій належності прийнято рівним $c = \Delta_{core}/2.4$, де Δ_{core} – відстань між ядрами сусідніх термів. Для уникнення ефекту звуження діапазону вихідних значень розширено носій нечітких множин вихідної змінної згідно до [5].

Протягом одного обчислювального експерименту перевірялось від $2^{2 \cdot 2} - 1 = 15$ до $2^{4 \cdot 4} - 1 = 65535$ нечітких баз знань, відповідно здійснено від 1500 до 6553500 нечітких виведень. Всього проведено $2 \cdot 9 = 18$ експериментів – 9 для кожної із 2 еталонних залежностей. Результати експериментів (рис. 2) показали, що в середньому нев'язка $RMSE_{mean}$ спадає зі збільшенням кількості нечітких правил і досягає мінімуму за повної бази знань. Якщо вдало підібрати комбінацію правил, тоді нев'язка $RMSE_{\min}$ стає суттєво меншою і її мінімум досягається за неповної бази знань. Для найкращого випадку на кривих навчання добре простежується «плато насичення», коли додавання нових правил майже не змінює адекватність нечіткої моделі [6]. Бази знань з цього «плато насичення» назвемо прийнятними. Планку для

них призначимо у вигляді 50 % перевищення нев'язки у порівнянні з найкращою нечіткою моделлю.

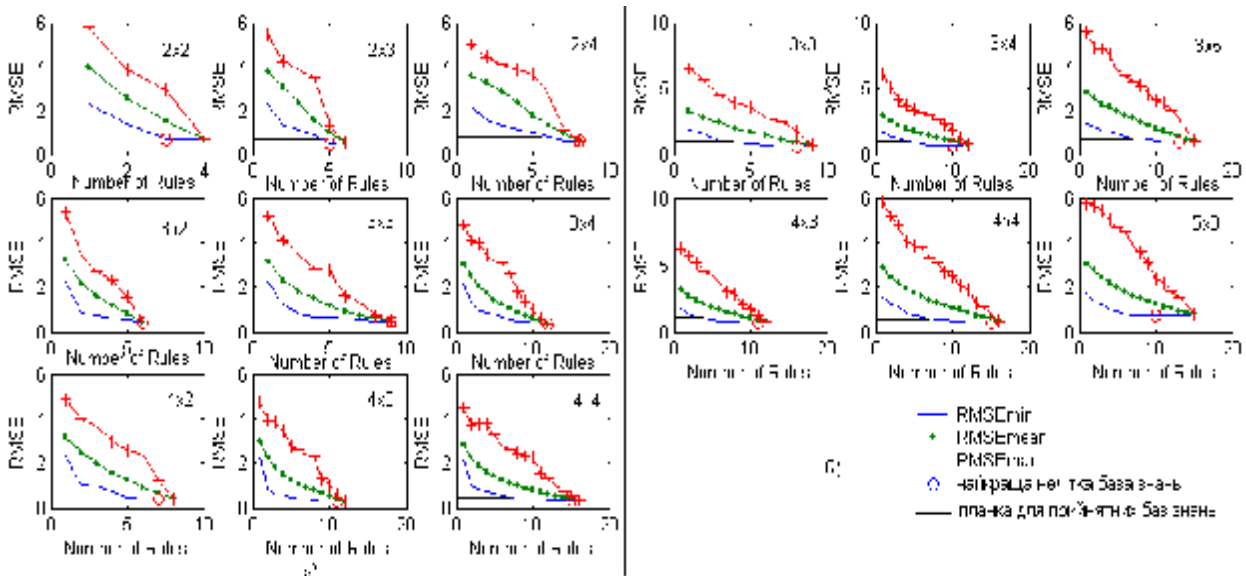


Рис. 2. Криві навчання нечітких баз знань Мамдані: а) для залежності (5); б) для залежності (6)

Проведені квадратичні апроксимації експериментальних даних (рис. 3) свідчать, що повну нечітку базу знань Мамдані можна скоротити в 2–3 рази без великих втрат точності. Базы знань, які містять біля 80 % від максимальної кількості правил, мають найвищу точність.

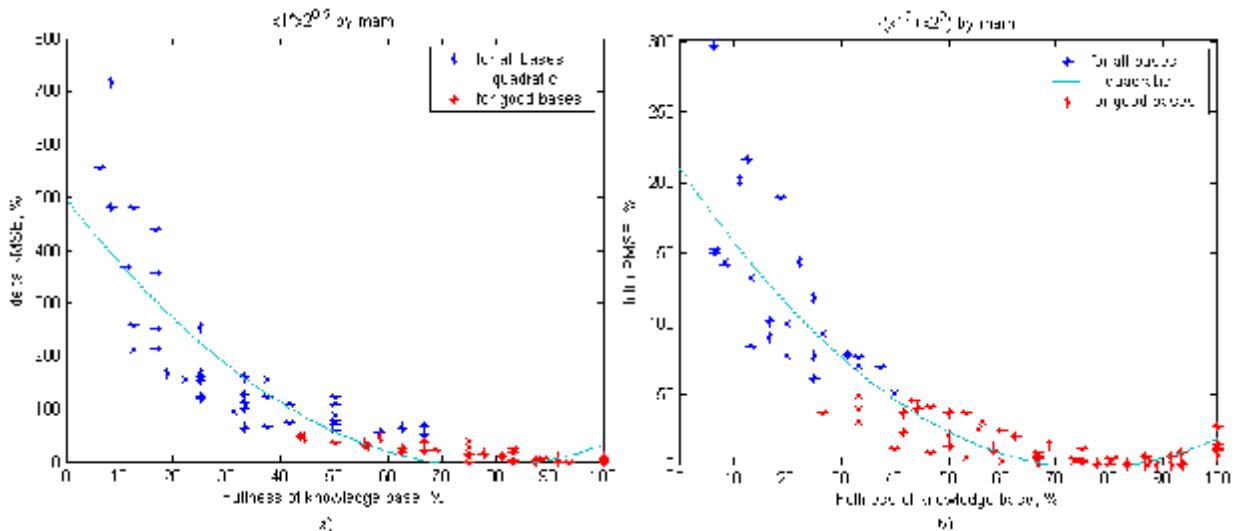


Рис. 3. Залежність збільшення похибки від повноти бази знань Мамдані – а) для залежності (5); б) для залежності (6)

Висновки та подальші дослідження

Проведені комп'ютерні експерименти показують, що повна нечітка база знань Мамдані не дає найменшу похибку ідентифікації. На нашу думку, це обумовлено деякими суперечливостями на границях нечіткого розбиття через взаємодію великої кількості правил. Найменша помилка найчастіше спостерігається для баз знань, що наповненні правилами на 80-85 %. Встановлено, що залежність точності нечіткої бази знань від її розмірності є квадратичною. Якщо вдало скоротити повну бази знань втричі, тоді помилка ідентифікації збільшиться лише на 30-50 % в порівнянні з найкращим варіантом. Такі компактні база знань є прозорішими та легше навчаються через меншу складність відповідної задачі оптимізації. Під час створення нової нечіткої моделі дослідивши всього декілька наборів правил, наприклад, найменший, з 80 % заповненням та повний, можна отримати квадратичну апроксимацію точності від повноти бази знань.

Подальші дослідження будуть спрямовані на підтвердження отриманих експериментальних висновків на інших типах залежності та для інших форматів нечітких баз знань. Крім того, варто дослідити вплив повноти нечіткої бази знань на тривалість та точність навчання.

Література

1. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / Штовба С.Д. – М.: Горячая

линия – Телеком, 2007. – 288 с.

2. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / Леоненков А.В – СПб: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

3. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 452 с.

4. Прикладные нечеткие системы/ Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугэно и др. – М. Мир, 1993. – 368 с.

5. Штовба С.Д. Обеспечение точности и прозрачности нечеткой модели Мамдани при обучении по экспериментальным данным / С.Д. Штовба // Проблемы управления и информатики. – 2007. – № 4. – С. 102–114.

6. Ротштейн О.П. Проектування нечітких баз знань: лабораторний практикум та курсове проектування: [навч. посіб.] / О.П. Ротштейн, С.Д. Штовба. – Вінниця: Вінницький державний технічний університет, 1999. – 65 с.

Надійшла 9.3.2011 р.

УДК 621.391.25: 621.391.23

В.В. ТОПАЛОВ

Одеська національна академія зв'язку ім. О. С. Попова

НОВА УМОВА ФОРМУВАННЯ ПЕРЕМЕЖУВАЧА S-ТИПУ У СКЛАДІ ТУРБОКОДУ

Запропонована нова умова формування перемешувача s-типу, що дозволяє зменшити кількість кодових слів малої ваги та дозволяє підвищити мінімальну кодову відстань турбокоду.

Represent new equation of s-type interleaver allow to reduce quantity of code words with the small weight formed by information sequences of small weight. The s-type interleaver modification allow to increase the minimum code distance of the Turbo code for some interleaver lengths.

Ключові слова: модифікований перемешувач s-типу, турбокоди множення, енергетична ефективність.

Перемешувач у структурі турбокодів є одним із ключових компонентів, який забезпечує випадковість комбінацій, що згідно з роботами Шеннона [1] дозволяє наблизитися до максимальної енергетичної ефективності. Найкращий перемешувач дозволяє отримати якнайкращі характеристики енергетичного виграшу кодування (ЕВК), отже, мінімальну ймовірність помилки при заданому співвідношенні сигнал/шум. Завдяки випадковим та псевдовипадковим перемешувачам досягається випадковість формування комбінацій. Випадковий закон [2] задається за допомогою випадкових або псевдовипадкових генераторів з періодом повторення, який наближається до нескінченності.

Деякі елементи послідовності перемешувача після випадкової перестановки можуть опинитися на тих самих позиціях, що і до перемешування. Тобто мінімальна можлива відстань між елементами може дорівнювати 1, що, звичайно, суттєво негативно впливає на виправну здатність турбокоду.

Для усунення цього недоліку Долінар С., Дівсалар Д. (Dolinar S., Divsalar D.) в роботі [3] запропонували ввести умову перевірки значення відстані між елементами у вихідній послідовності із заданим значенням s . Даний тип перемешувача був названий псевдовипадковим s-типу. При псевдовипадковому перемешувачі s-типу з довжиною L два послідовно вхідних елементи $(i, i+1)$ будуть рознесені на дистанцію не менше s , при виконанні умови:

$$|i - (i+1)| < s, \quad |\pi(i) - \pi(i+1)| \geq s. \quad (1)$$

При цьому s спочатку обиралося меншим або таким, що дорівнює $\lceil \sqrt{L/2} \rceil$ [4], оскільки за великих значень складність пошуку послідовності перестановки ставала значною. Надалі було запропоновано [5] знаходити значення дистанції s між рознесеними у вихідній послідовності двох вхідних елементів i, j згідно з умовою:

$$s = \min_{i,j} (|i - j|_L + |\pi(i) - \pi(j)|_L), \quad (2)$$

$$0 \leq i, j \leq L-1, \quad i \neq j,$$

де операція $|i - j|_L = \min(|i - j|, L - |i - j|)$.

За цієї умови стало можливим пошук s-типів перемешувачів при значеннях s більше $\sqrt{L/2}$ – $2 \leq s \leq \lceil \sqrt{2L} \rceil$.

У роботах [4] при аналізі залежності ймовірності помилки декодування для різних параметрів перемешувача s-типу був отриманий факт – найменше значення ймовірності помилки досяглося тоді, коли відстань між позицією елемента до перемешування i та позицією $\pi(i)$ після перемешування буде максимальною. Відповідно до даного явища автором запропонована зміна основної умови формування перемешувача s-типу на перевірку елементів після перемешування та до перемешування порівняно з s :

$$|i - (i + 1)| < s ; |\pi(i) - \pi(i + 1)| \geq s ; |i - \pi(i)| \geq s . \quad (3)$$

Для оцінки нової умови формування розглянемо дистанційний спектр турбокоду до модифікації та після. Дистанційний спектр турбокоду показує, яка кількість кодових слів $A_{w_{TK}}$ ваги w_{TK} присутня у вихідній послідовності після декодера. Дистанційний спектр дозволяє оцінити кількість і вплив кодових слів різної ваги на виправну здатність турбокоду. Отже, перемешувач s -типу дозволяє за допомогою перестановок сформувати послідовність інформаційних елементів, які надходять на другий кодер так, що інформаційні послідовності з вагою w_i приводять до утворення кодових слів $A_{w_{TK}}$ з вагою w_{TK} .

У загальному випадку, при однакових поліномах у згорткових кодерах у складі турбокоду кодові слова визначаються виразом [3]:

$$A_{w_{TK}} = \sum_{w_i, w_{3k1}, w_{3k2}} A_{w_i, w_{3k1}, w_{3k2}} W^{w_i} Z^{w_{3k1}} Z^{w_{3k2}} , \quad (4)$$

де W і Z – прості числа;

$A_{w_i, w_{3k1}, w_{3k2}}$ – кількість кодових слів з вагами перевірних елементів w_{3k1} першого згорткового кодера і w_{3k2} другого згорткового кодера за вхідної послідовності ваги w_i .

При використанні різних поліномів у згорткових кодерах у складі турбокоду кодові слова $A_{w_i, w_{3k1}, w_{3k2}}$ визначаються [3]:

$$A_{w_i, w_{3k1}, w_{3k2}} = \frac{A_{w_i, w_{3k1}} \cdot A_{w_i, w_{3k2}}}{C_L^{w_i}} , \quad (5)$$

де $C_L^{w_i} = \frac{L!}{w_i!(L - w_i)!}$; $A_{w_i, w_{3k1}}$ – кодові слова з вагою перевірних елементів w_{3k1} після першого згорткового кодера при вхідній послідовності ваги w_i ; $A_{w_i, w_{3k2}}$ – кодові слова з вагою перевірних елементів w_{3k2} після другого згорткового кодера при вхідній послідовності ваги w_i .

Як показано в роботах [4, 5], кодові слова з малою вагою w_{TK} найбільшою мірою впливають на коректуючу здатність турбокоду. Отже, зменшення кількості кодових слів малої ваги дозволить підвищити ефективність турбокоду.

У табл. 1 наведено розрахунок дистанційних спектрів турбокодів з поліномом $G = 37/21$, що представлені в октетній формі запису, за швидкості коду $R_{TK} = 1/2$ для стандартного перемешувача s -типу з довжиною перемешувача $L = 1024$ бітів та перемешувача s -типу зі зміненою умовою перевірки відстані s при значенні $s = 18$ з тією же довжиною перемешувача. Також наводяться значення мінімальної кодової відстані турбокоду (D_{min}), розраховані згідно з роботою Базі Л., Махдіана М., Спілмена Д. (L. Bazzi, M. Mahdian, D. Spielman) [6]. При цьому розрахунок мінімальної кодової відстані D_{min} проводиться на підставі всіх кодових слів з вагами інформаційної послідовності в діапазоні $w_i \in 1 \dots 4$. Це дозволяє згідно з роботою [6, 7] оцінити завадостійкість турбокоду.

Таблиця 1

Дистанційні спектри турбокодів для різних перемешувачів

Тип перемешувача	Поліном, G	Вага інф. посл.	Кількість кодових слів $A_{w_{TK}}$ з вагою w_{TK}										D_{min}	
			24	25	26	27	28	29	30	31	32	33		
Псевдо-випадковий s -типу	37/21													24
		$w_i=1$												
		$w_i=2$	28			32				44			96	
		$w_i=3$	3											
Модифікований псевдовипадковий s -типу	37/21		26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	26	
		$w_i=1$							5					
		$w_i=2$	58			62			74			122		
		$w_i=3$	5						2					
		$w_i=4$	93		9	172			432	18	18	324		

З даних табл. 1 помітно, що застосування нової умови дозволяє підвищити мінімальну кодову відстань для турбокоду з поліномом $G = 37/21$. При цьому алгоритм формування вихідної послідовності за даної умови виглядає таким чином:

1. Задається довжина перемешувача L , визначається значення s , що задовольняє умові $2 \leq s \leq \lfloor \sqrt{2L} \rfloor$.

2. Ініціалізується масив $\pi(i)$ розмірністю L , який буде заповнюватися порядковими номерами перестановки $x_i, i \in 1..L$. При цьому необхідно виділити $L \times \log_2 L$ біт доступної вільної пам'яті.
3. Задається порядковий номер перестановки $i = 0$.
4. За допомогою псевдовипадкового генератора генерується передбачувана позиція перестановки x_i у діапазоні розмірності перемешувача $[1..L]$.
5. Перевіряється умова унікальності порядкового номера x_i з елементами масиву $\pi(i)$: $x_i \neq p(k); k = 1..i$.
У випадку, якщо такий порядковий номер вже є, повторюється пункт 4, інакше переходимо до пункту
6. 6. Визначається відстань між попереднім збереженим елементом $\pi(i-1)$ і поточним, згідно з виразом (3): $|i-1-i| < s; |x_i - \pi(i-1)| \geq s; |i-1-\pi(i-1)| \geq s$.
7. У разі невиконання умови повертаємося до пункту 4. Якщо умова виконується, переходимо до наступного пункту.
8. Записується значення x_i до масиву $\pi(i)$. Збільшуємо порядковий номер перестановки на 1 ($i = i + 1$). Перевіряємо виконання умови не перевищення розмірності масиву – $i \leq L$. У разі виконання умови переходимо до генерації нового елемента перестановки в пункті 4.
9. Масив перестановок $\pi(i)$ сформований.

Оцінка ЕВК турбокоду з модифікованим перемешувачем s -типу проводиться при моделюванні методом Монте-Карло [8] каналу зв'язку ФМ-2 за гауссівським розподілом помилок і розрахунку ймовірності помилки декодування на прийнятому боці при зміні значення співвідношення сигнал/шум (E/N_0). При ФМ-2 сигналі передається один біт інформації, енергія сигналу дорівнює енергії біта ($E = E_G$) і співвідношення сигнал/шум може розглядатися як співвідношення енергії біта до енергії шуму (E_G/N_0).

На рис. 1 показано залежності ймовірності помилки біта за турбокоду при поліномі $G = 37/21$ для різних довжин перемешувача L і двох типів перемешувача: s -типу і s -типу з новою умовою для швидкості коду $R_{\text{тк}} = 1/2$ та алгоритму ітеративного декодування Log-MAP з кількістю ітерацій, що дорівнює 5.

На епюрі 1 відображена залежність ймовірності помилки біта за турбокоду при поліномі $G = 37/21$, з перемешувачем s -типу зі значенням $s = 28$ та довжиною перемешувача $L = 65536$ бітів. На епюрі 2 відображена залежність ймовірності помилки біта за турбокоду при поліномі $G = 37/21$, з перемешувачем s -типу з новою умовою зі значенням $s = 28$ та довжиною перемешувача $L = 65536$ бітів. На епюрі 3 відображена залежність ймовірності помилки біта за турбокоду при поліномі $G = 37/21$ з перемешувачем s -типу зі значенням $s = 18$ та довжиною перемешувача $L = 16384$ бітів. На епюрі 4 відображена залежність ймовірності помилки біта за турбокоду при поліномі $G = 37/21$, з перемешувачем s -типу з новою умовою зі значенням $s = 18$ та довжиною перемешувача $L = 16384$ бітів. На епюрі 5 відображена залежність ймовірності помилки біта за турбокоду при поліномі $G = 37/21$, з перемешувачем s -типу зі значенням $s = 18$ та довжиною перемешувача $L = 8192$ бітів. На епюрі 6 відображена залежність ймовірності помилки біта за турбокоду при поліномі $G = 37/21$, з перемешувачем s -типу з новою умовою зі значення $s = 18$ та довжиною перемешувача $L = 8192$ бітів. На епюрі 7 відображена залежність ймовірності помилки біта за при поліномі $G = 37/21$, з перемешувачем s -типу зі значенням $s = 18$ та довжиною перемешувача $L = 4096$ бітів. На епюрі 8 відображена залежність ймовірності помилки біта за турбокоду при поліномі $G = 37/21$, з перемешувачем s -типу з новою умовою зі значенням $s = 18$ та довжиною перемешувача $L = 4096$ бітів. На епюрі 9 відображена залежність ймовірності помилки біта за турбокоду при поліномі $G = 37/21$, з перемешувачем s -типу зі значенням $s = 18$ та довжиною перемешувача $L = 1024$ бітів. На епюрі 10 відображена залежність ймовірності помилки біта за турбокоду при поліномі $G = 37/21$, з перемешувачем s -типу з новою умовою зі значенням $s = 18$ та довжиною перемешувача $L = 1024$ бітів.

Дані залежності дозволяють оцінити ЕВК при застосуванні різних типів перемешувачів за різної їхньої довжини L . Як видно з рис. 1 приріст ефективності за малих значень L невеликий і складає 0,1, ..., 0,3 дБ. Але такий приріст іноді еквівалентний застосуванню більш складного коду. За середніх значень довжини перемешування L за тим же значенням ймовірності помилки біта були набуті менші значення співвідношення сигнал/шум для перемешувача s -типу з новою умовою формування порівняно з перемешувачем без модифікації.

Для довжини $L = 4096$ бітів різниця співвідношення сигнал/шум для модифікованого і не модифікованого перемешувача s -типу склала 0,45 дБ. В області великих значень довжин перемешування $L = 8192... 65536$ бітів приріст ефективності кодування менш виражений порівняно з середніми довжинами перемешування і складає від 0,2 до 0,3 дБ.

На рис. 2 наведена оцінка ефективності перемешувача s -типу з новою умовою формування порівняно з перемешувачем s -типу для турбокодів з різними породжуючими поліномами і алгоритму ітеративного декодування Log-MAP з кількістю ітерацій, що дорівнює 5.

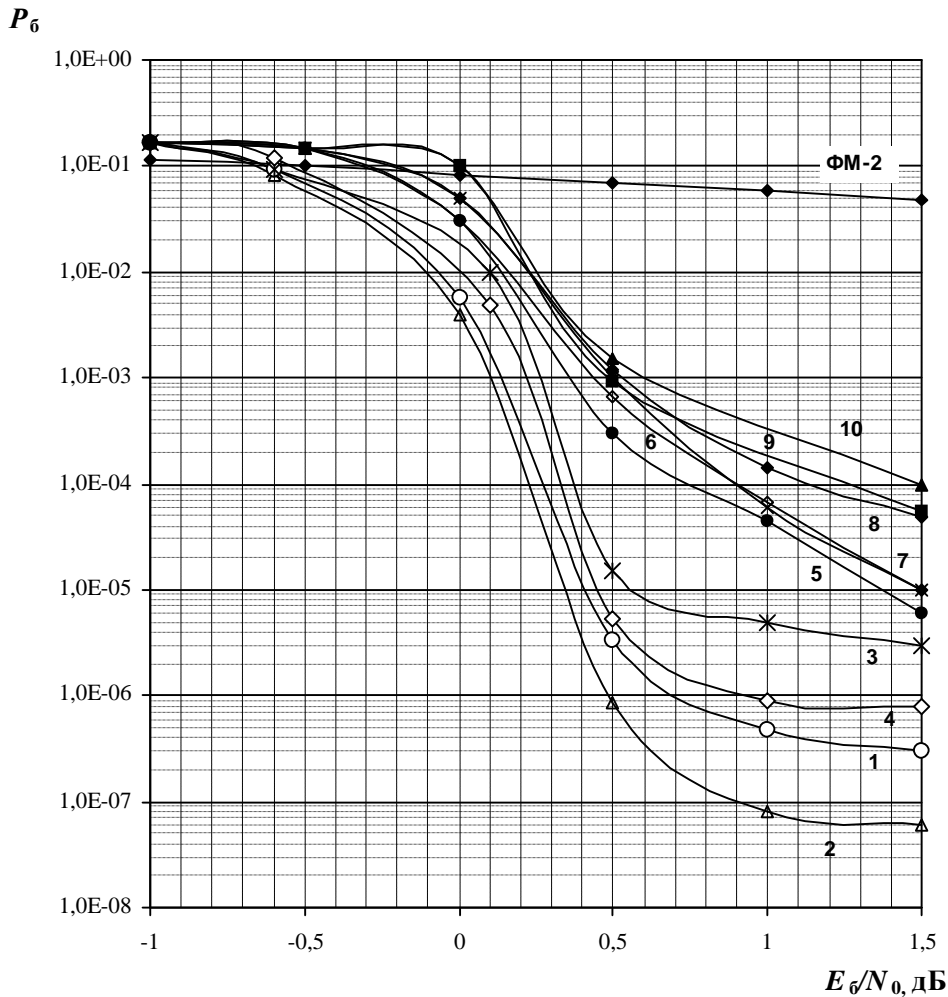


Рис. 1. Залежність ймовірності помилки біта на виході турбо-декодера від співвідношення сигнал/шум і типу перемешувача

На епюрі 1 відображена залежність ймовірності помилки за турбокоду при поліномі $G = 37/21$, з перемешувачем s -типу з новою умовою зі значенням $s = 28$, $L = 16384$ бітів. На епюрі 2 відображена залежність ймовірності помилки за турбокоду при поліномі $G = 35/29$, з перемешувачем s -типу з новою умовою зі значенням $s = 28$, $L = 16384$ бітів.

На епюрі 3 відображена залежність ймовірності помилки за турбокоду при поліномі $G = 37/21$, з перемешувачем s -типу зі значенням $s = 28$, $L = 16384$ бітів. На епюрі 4 відображена залежність ймовірності помилки за турбокоду при поліномі $G = 35/29$, з перемешувачем s -типу зі значенням $s = 28$, $L = 16384$ бітів. На епюрі 5 відображена залежність ймовірності помилки за турбокоду при поліномі $G = 37/23$, з перемешувачем s -типу з новою умовою зі значенням $s = 28$, $L = 16384$ бітів. На епюрі 6 відображена залежність ймовірності помилки за турбокоду при поліномі $G = 37/23$, з перемешувачем s -типу зі значенням $s = 28$, $L = 1024$ бітів.

Значення залежності ймовірності помилки біта для турбокоду із застосуванням нової умови формування перемешувача s -типу показують, що збільшення мінімальної відстані перестановки елементів дозволило знизити значення ймовірності помилки біта, за яких виникає ефект "поріг помилок".

Висновки

Застосування в перемешувачі s -типу нової умови формування, згідно з формулою (3), дозволило отримати вищі значення мінімальної відстані між елементами, ніж для стандартного перемешувача s -типу на 1-2 в абсолютних значеннях.

При тому ж співвідношенні сигнал/шум (E_b/N_0) при застосуванні нової умови формування перемешувача s -типу набуті значення ймовірності помилки біта на порядок менші, ніж за стандартного перемешувача s -типу. Тим самим ефективність турбокодування при застосуванні перемешувача s -типу з новою умовою формування вище, ніж за перемешувача без модифікації.

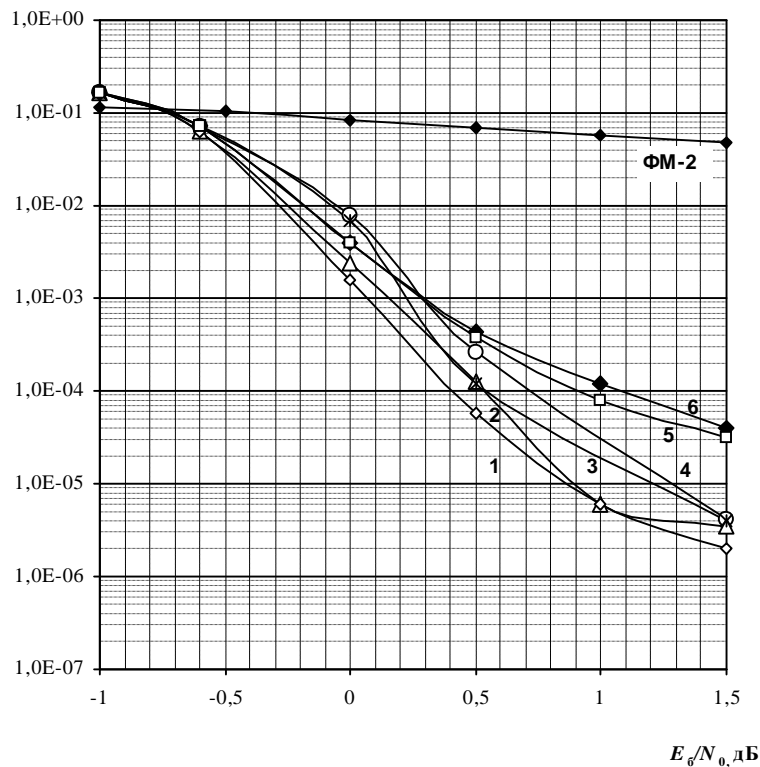
P_b 

Рис. 2. Залежність імовірності помилки біта на виході турбокодера від співвідношення сигнал/шум та від типу перемешувача

Література

1. Shannon C. E. A mathematical theory of communication // Bell Sys. Tech. J. – 1948. – vol. 27. – P. 379-423 and P. 623-656.
2. Дирда В. Ю. Щодо побудови ефективних генераторів псевдовипадкових чисел / В. Ю. Дирда, О. В. Дирда // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2002. – № 1. – С. 71– 75.
3. Dolinar S. and Divsalar D. Weight Distributions for Turbo Codes Using Random and Nonrandom Permutations // TDA Progress Report 42-122. JPL. – August 1995.
4. Crozier S. New High-Spread High-Distance Interleavers for Turbo Codes/ S. Crozier // 20th biennial Symposium on Communications. – Kingston. – 2000. – P. 3– 7.
5. Hokfelt J. On the design of turbo codes: Ph.D. dissertation / Land University. – Sweden. – 2000. – 181 p.
6. Bazzi L. The minimum distance of turbo-like codes / L. Bazzi, M. Mahdian, D. Spielman // IEEE Transactions on Information Theory. – 2008. – Vol. 55. – P. 6 – 15.
7. Crozier S. Estimating the minimum distance of large-block turbo codes using iterative multiple-impulse methods / S. Crozier, P. Guinand, A. Hunt // Turbo-coding 2006: 4th International Symposium on Turbo Codes. – München. – 2006. – P. 437– 444.
8. Михайлов Г. А. Численное статистическое моделирование: Методы Монте-Карло: [учеб. пособие для вузов] / Г. А. Михайлов, А. В. Войтишек. – М.: ИЦ Академия, 2006. – 368 с.

Надійшла 25.3.2011 р.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТУ У ВИГЛЯДІ ПІРОЕЛЕКТРИКА ДЛЯ РАДІОВИМІРЮВАЛЬНОГО ПРИБОРУ НА ОСНОВІ ОПТИКО-ЧАСТОТНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Проведено математичний аналіз одно- та двокристалльної піроелектричних схем і здійснено врахування втрат. Розроблено функцію перетворення для оптико-частотного температурного перетворювача.

The mathematical analysis one-crystal and two-crystal pyroelectric circuit and by taking into account losses was carried out. A transfer function for optical-frequency converter temperature was worked out.

Ключові слова: радіовимірювальні прилади, оптико-частотні перетворювачі, математичне моделювання.

Вступ

Актуальною є проблема математичного аналізу процесів, які відбуваються в піроелектричному матеріалі під час дії на нього температури, це пов'язано з необхідністю визначення функції перетворення теплової енергії в електричну. Ряд робіт [1– 3] пов'язані з дослідженнями вищевказаного явища, проте в них недостатньо уваги приділено виведенню функції перетворення теплової енергії в електричну з адекватним поясненням її фізичного змісту. Отже, метою даної статті є дослідження явищ, що відбуваються в піроелектричному матеріалі з наступним виведенням функції перетворення цих процесів.

Основний розділ

Процес перетворення інфрачервоного випромінювання (ІЧ) в електричний сигнал

Під час перетворення вхідного інфрачервоного випромінювання в електричний сигнал в піроелектрику можна виділити три основних етапи. 1. Термічне перетворення – інфрачервоне випромінювання потрапляє на піроелектричний елемент через вхідне вікно або ІЧ фільтр з коефіцієнтом передачі. Потік випромінювання $\Delta\Phi$ поглинається і стає причиною зміни температури ΔT в піроелектричному елементі. 2. Термоелектричне перетворення, при якому внаслідок піроелектричного ефекту у кристалі піроелектрика зміна температури ΔT призводить до зміни концентрації зарядів ΔQ на електродах піроелектрика. 3. Електричне перетворення – електричний заряд ΔQ перетворюється в електричний сигнал напруги U .

Математичний аналіз однокристалльної схеми

Є два поширених різновиди піроелектричних вимірювачів температури: одно- і двокристалні. У монокристалній системі, одна грань кристала заземлена, а інша цільова електрично рухлива і розміщена навпроти заземленої. Заземлена і цільова поверхні розділені щільною вакуумом або газу низького тиску, як показано на рис. 1 (а). У двокристалній системі заземлена цільова поверхня замінена на інший кристал (вони стикаються протилежно), як показано на рис. 1 (б). Під протилежним стиканням мається на увазі, що від'ємна грань одного з кристалів знаходиться навпроти додатної грані іншого кристала.

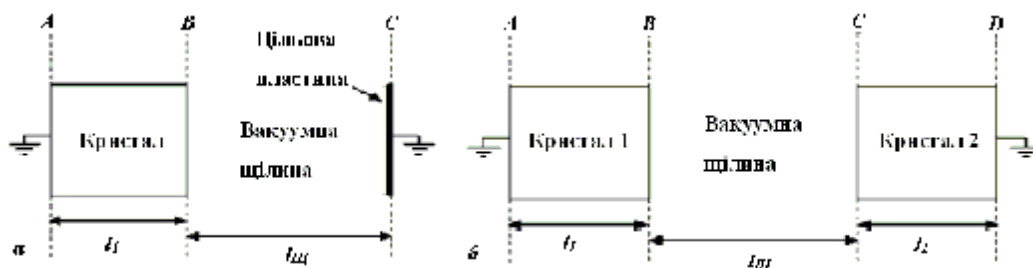


Рис. 1. Схема однокристалльної системи (а), схема двокристалльної системи (б)

Коли кристал на рис. 1 (а) зазнає зміни температури, повний заряд, який розвивається на поверхні В (Q_B) визначається формулою:

$$Q = Sg\Delta T, \quad (1)$$

де Q – поверхневий заряд, S – площа поверхні. Збільшення заряду під час фази охолодження створює електричне поле. Напрямок електричного поля в щілині (і знак заряду на поверхні В) залежить від орієнтації осі поляризації (убік або від В) причому кристал повинен бути нагрітим або охолодженим.

Так як кристал і щілина є діелектриками, ця система може бути замінена моделлю з двох конденсаторів з'єднаних паралельно, причому поверхня В є спільною для обох конденсаторів. Еквівалентну схему наведено на рис. 2.

Еквівалентна ємність (без урахування крайових полів) цієї системи має вигляд:

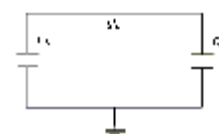


Рис. 2. Еквівалентна схема для однокристалльної системи

$$C_E = C_K + C_{Щ} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_K S}{l_1} + \frac{\epsilon_0 \epsilon_{Щ} S}{l_{Щ}}, \quad (2)$$

де ϵ_0 , ϵ_K , і $\epsilon_{Щ}$ є діелектричні проникності вільного простору, піроелектричного кристала і щілини, відповідно (якщо щілина – вакуум, $\epsilon_{Щ} = 1$, однак, залишимо цей показник у рівнянні для повноти).

Потенціал на конденсаторі визначається: $U = \frac{Q}{C}$. Оскільки C_K і $C_{Щ}$ на рис. 2 паралельні, напруги на обох цих конденсаторах мають бути рівні ($U_K = U_{Щ}$). Таким чином, напруга вздовж щілини визначається:

$$U = \frac{Q_B}{C_E} = \frac{Sg\Delta T}{\frac{\epsilon_0 \epsilon_K S}{l_1} + \frac{\epsilon_0 \epsilon_{Щ} S}{l_{Щ}}} = \frac{g\Delta T}{\epsilon_0 \left(\frac{\epsilon_K}{l_1} + \frac{\epsilon_{Щ}}{l_{Щ}} \right)}. \quad (3a)$$

У багатьох випадках $C_K \gg C_{Щ}$, тому рівняння (3a) можна спростити:

$$U = \frac{Q_B}{C_K} = \frac{g\Delta T l_1}{\epsilon_0 \epsilon_K}. \quad (3b)$$

Напруженість електричного поля в щілині визначається:

$$E_{Щ} = \frac{U}{l_{Щ}} = \frac{g\Delta T}{\epsilon_0 \left(\frac{l_{Щ} \epsilon_K}{l_1} + \epsilon_{Щ} \right)}. \quad (4)$$

Слід зазначити, що зображення поверхні піроелектричного кристала як конденсатора не є відходом від дійсності, оскільки опір поверхні деяких піроелектриків нижчий, ніж у більшості конденсаторів і проявляє металеві властивості.

Врахуємо, що заряд на поверхні А та С не дорівнює нулю (хоча вони заземлені). Говорячи, що конденсатор заряджається зарядом Q , це означає, що заряд ($+Q$) на одній пластині і заряд ($-Q$) на іншій, тому позначення Q неявно посилається на абсолютне значення Q . Поверхню піроелектричного кристала з площини В можна розглядати як дві пластини, одна конденсатора C_K , інша від конденсатора $C_{Щ}$. Повний заряд генерований піроелектричним кристалом (Q_B) розподіляється між цими двома пластинами. Частина заряду Q_B , яка пов'язана з конденсатором кристала є рівною і протилежною за знаком заряду (Q_A) на площині А

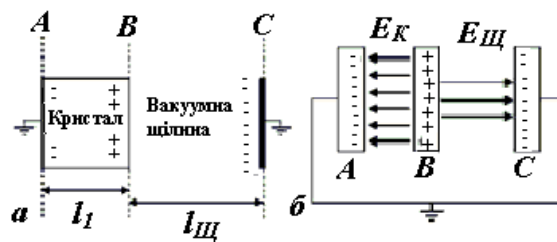


Рис. 3. (а) Схема однокристалльної системи з прикладом розподілу зарядів. Область, яка містить заряди поблизу площини В істотно збільшена. (б) Ескіз еквівалентних конденсаторів (а) показано в збільшеному вигляді на площині, В і С, не в масштабі

(заземленої частини кристала) та інша частина заряду Q_B (що пов'язана з конденсатором щілини) є рівною і протилежною за знаком заряд (Q_C) на площині С (заземлена цільова поверхня). Це проілюстровано на рис. 3.

Очевидно, що:

$$Q_B = Q_A + Q_C. \quad (5)$$

Слід зазначити, що Q_A та Q_C не обов'язково рівні, а їх відношення визначається відношенням ємностей щілини і кристалу,

$$U_K = U_{Щ} \Rightarrow \frac{Q_A}{C_K} = \frac{Q_C}{C_{Щ}} \Rightarrow \frac{Q_A l_1}{\epsilon_0 \epsilon_K S} = \frac{Q_C l_{Щ}}{\epsilon_0 \epsilon_{Щ} S}. \quad (6)$$

Використовуючи рівняння (5) і (6), можуть бути отримані вирази для Q_A та Q_C .

$$Q_A = \frac{Q_B}{1 + \frac{\epsilon_{Щ} l_1}{\epsilon_K l_{Щ}}} \cdot \frac{\epsilon_K l_{Щ}}{\epsilon_{Щ} l_1}, Q_C = \frac{Q_B}{1 + \frac{\epsilon_K l_{Щ}}{\epsilon_{Щ} l_1}}. \quad (7)$$

Достовірність рівнянь (6) і (7) може бути перевірено через розрахунок потенціалів між кристалом і щілиною та відповідні ємності кристала і щілини; обидва потенціали еквівалентні рівнянню (3a) кристалічної системи.

Математичний аналіз двокристалльної системи

Для досягнення більшого потенціалу через щілину, можна використовувати два протилежно розташованих кристали, тобто коли осі поляризації двох кристалів антипаралельні. Для кристалів

розміщених в одному й тому ж напрямку, якщо кристали є ідентичними і працюють в однаковому діапазоні зміни температури, потенціал та поле в щілині буде рівне нулю.

Будемо розглядати двокристалну систему як систему з трьох конденсаторів: C_{K1} , $C_{Щ}$ і C_{K2} . Коли кристали зазнають зміни температури, заряди будуть розвиватися на поверхні В і С і їх величини задаються:

$$Q_B = Sg_1\Delta T_1, \quad Q_C = Sg_2\Delta T_2, \quad (8)$$

де індекси 1 і 2 позначають параметри кристалів 1 і 2, відповідно.

На рис. 4, схема показана для двох кристалів системи, аналогічні показаним на рис. 2 для однокристалічної системи.

На підставі рис. 4 може виникнути ідея визначити потенціал через щілину, використовуючи тактику подібну до тієї, яка використовуються у формулах (1) і (3а), тобто модель системи еквівалентної ємності (поставивши ряд з'єднань $C_{Щ}$ і C_{K2} паралельно з C_{K1}) і обчислити потенціал, враховуючи заряд, створений піроелектричним кристалом рівняння (4). Це не працюватиме. Два конденсатори з'єднані послідовно можуть бути замінені цими еквівалентними комбінаціями тоді і тільки тоді, коли заряд на обох конденсаторах однаковий. Для цього буде потрібно, щоб $Q_C = 0$. Рис. 4 призводить до виразу, який поєднує потенціали усіх трьох конденсаторів.

$$U_{K1} = U_{Щ} + U_{K2}, \quad (9)$$

де U_{K1} , $U_{Щ}$ і U_{K2} є потенціали на всіх трьох конденсаторах зображених на рис. 4. Три ємності задаються:

$$C_{K1} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{K1} S}{l_1}, \quad C_{Щ} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{Щ} S}{l_{Щ}}, \quad C_{K2} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_{K2} S}{l_2}. \quad (10)$$

Рівняння (9) можна переписати у вигляді:

$$\frac{Q_1}{C_{K1}} = \frac{Q_{Щ}}{C_{Щ}} + \frac{Q_2}{C_{K2}}, \quad (11)$$

де Q_1 , $Q_{Щ}$, і Q_2 заряди на відповідних конденсаторах. Варто врахувати, що Q_1 і Q_2 будуть протилежного знака, якщо осі кристала антипаралельні.

Виведення виразів для потенціалу на щілині, може допомогти в фізичному розумінні побудови ескізів зарядів і силових ліній, див. рис. 5.

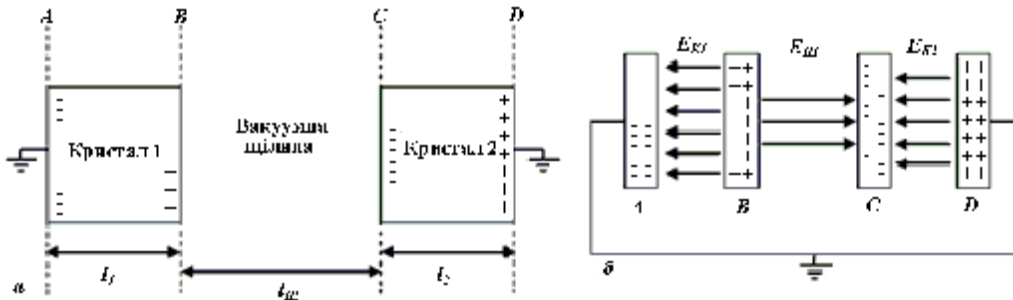


Рис. 5. (а) Схема двокристалічної системи. Области, що містять заряди поблизу площин В і С істотно збільшені, (б) – ескіз еквівалентних конденсаторів (а), поверхні яких показані в збільшеному вигляді на площинах А, В, С і D, не в масштабі

Значення Q_B і Q_C визначаються для піроелектричних кристалів і їх температурних діапазонів відповідно до формули (8). Аналогічно, як в однокристалній системі, деякі заряди Q_B поведуться так ніби, це заряди на конденсаторі C_{K1} , а решта так, ніби це заряди на конденсаторі $C_{Щ}$. Крім того, деякі заряди Q_C поведуться так, ніби це заряди на конденсаторі C_{K2} , а решта так, ніби це заряди на конденсаторі $C_{Щ}$, що можуть бути виражені математично як:

$$Q_B = Q_1 + Q_{Щ}, \quad Q_C = Q_2 + Q_{Щ}. \quad (12)$$

Можна переписати рівняння (12), коли відомо абсолютне значення кожного члена. Треба бути обережним, розглядаючи три величини зарядів, які існують в тому ж фізичному місці, отже, всі вони будуть мати однаковий знак.

Необхідно, знайти вираз для потенціалу на щілині. За рівнянням (2) ємність щілини може бути визначена з геометрії системи, але потрібно знайти вираз для $Q_{Щ}$. Рівняння (11) і (12) утворюють систему з трьох рівнянь, які вирішуються, даючи вираз для $U_{Щ}$ (U_{K1} і U_{K2}). Невідомих у цій системі рівнянь Q_1 ,

Q_2 і $Q_{Щ}$. Всі інші параметри можуть бути визначені з геометрії системи та властивостей матеріалу (рівняння (8) і (10)). Вирішення системи дає наступне:

$$Q_{Щ} = \frac{-(Q_C C_{K1} - Q_B C_{K2}) C_{Щ}}{(C_{K1} C_{K2} + C_{K2} C_{Щ} - C_{K2} C_{Щ})}, \quad (13)$$

$$U_{Щ} = \frac{Q_{Щ}}{C_{Щ}} = \frac{-(Q_C C_{K1} - Q_B C_{K2})}{(C_{K1} C_{K2} + C_{K2} C_{Щ} - C_{K2} C_{Щ})}, \quad (14)$$

$$Q_1 = \frac{(Q_B C_{K2} - Q_B C_{Щ} + Q_C C_{Щ}) C_{K1}}{(C_{K1} C_{K2} + C_{K2} C_{Щ} - C_{K2} C_{Щ})}, \quad (15)$$

$$U_{K1} = \frac{Q_1}{C_{K1}} = \frac{(Q_B C_{K2} - Q_B C_{Щ} + Q_C C_{Щ})}{(C_{K1} C_{K2} + C_{K2} C_{Щ} - C_{K2} C_{Щ})}, \quad (16)$$

$$Q_2 = \frac{(Q_C C_{K1} - Q_B C_{Щ} + Q_C C_{Щ}) C_{K2}}{(C_{K1} C_{K2} + C_{K2} C_{Щ} - C_{K2} C_{Щ})}, \quad (17)$$

$$U_{K2} = \frac{Q_2}{C_{K2}} = \frac{(Q_C C_{K1} - Q_B C_{Щ} + Q_C C_{Щ})}{(C_{K1} C_{K2} + C_{K2} C_{Щ} - C_{K2} C_{Щ})}. \quad (18)$$

При використанні формул (14), (16) і (18) для розрахунку потенціалу, відповідні знаки для Q_B і Q_C повинні бути вставлені, залежно від фізичної орієнтації відповідних кристалів. У випадку однакових антипаралельних кристалів, що реагують на однакові діапазони температури, наведені вище рівняння можна спростити, використовуючи:

$$C_K = C_{K1} = C_{K2}, Q = Q_B = -Q_C, \quad (19)$$

звідки випливає:

$$U_{Щ} = \frac{2Q}{C_K}. \quad (20)$$

Врахування рівнянь (8) і (10) дає

$$U_{Щ} = \frac{2Q}{C_K} = \frac{2g\Delta T l_K}{\epsilon_0 \epsilon_K}, \quad (21)$$

де $l_K = l_1 = l_2$ є товщина двох кристалів. Зазначимо, що у рівнянні (19), якщо осі поляризації були паралельні, то $Q_B = Q_C$, що дасть $U = 0$.

Достовірність рівнянь (3а) та (14) може бути оцінена шляхом розрахунку потенціалів з використанням чисельних значень параметрів для типових системах і їх порівнянням з потенціалами розрахованими вказаним вище методом, відповідних систем.

Врахування втрат в досліджуваній моделі

Безумовно є припущення, що пірокоєфіцієнт постійний в обраному інтервалі температур. Насправді, цей параметр залежить від температури. При використанні піроелектричного заряду для розрахунку потенціалу в рівнянні (3а) (і потенціалів у двокристалній системі), вважалося, що електропровідність кристала рівна нулю. Рівняння (3а) також передбачає, що потенціал повинен лінійно зростати зі збільшенням товщини кристала.

В проведеному вище аналізі передбачається, що кристал і щілина ідеальні конденсатори; в той час як їхня провідність мала, але вона не дорівнює нулю. Кристал і щілина можуть бути змодельовані як два конденсатори з втратами (паралельне з'єднання ідеального конденсатора і резистора) паралельно з ідеальним генератором заряду, як показано на рис. 6.

Деякі заряди будуть протікати через кожен з конденсаторів. Ця система описується наступним диференціальним рівнянням:

$$\frac{dq}{dt} = gS \frac{dT}{dt} - \frac{U}{R_K} - \frac{U}{R_{Щ}} = gS \frac{dT}{dt} - \frac{q}{C_E} \left(\frac{1}{R_K} + \frac{1}{R_{Щ}} \right), \quad (22a)$$

де $R_{Щ}$ і R_K – опори щілини і кристала, відповідно, і C_E є еквівалентною ємністю щілини і кристала ($C_E = C_K + C_{Щ}$). Це рівняння можна переписати у вигляді:

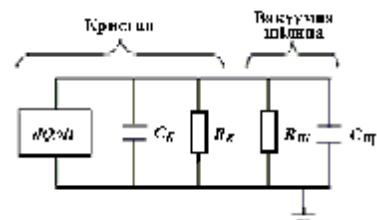


Рис. 6. Еквівалентна схема кристала і щілини як конденсаторів з втратами

$$\frac{dU}{dt} = \frac{gS}{C_E} \frac{dT}{dt} - \frac{U}{R_E C_E}, \quad (226)$$

де R_E – паралельна комбінація з опорів кристала і щілини ($R_E^{-1} = R_K^{-1} + R_{Щ}^{-1}$).

Втрата заряду через обидва кристали і щілину зумовить зниження потенціалу, нижче, за прогнозоване значення. Якщо ми використаємо наступний розв'язок рівняння (23а):

$$U = gSR_E \frac{dT}{dt} \left(1 - e^{-t/(C_E R_E)}\right). \quad (23)$$

У ідеалізованій моделі піроелектричного перетворювача температури попередньо представлений на рис. 1, розглядалися тільки ємності кристалів і щілини.

Перевірка отриманих результатів

Будемо розглядати, циліндричний піроелектричний кристал LiTaO_3 ($\gamma = 176$ мкКл/м²·К $\epsilon_K = 46$), з радіусом 1 см і товщиною 1 см, що має діапазон $\Delta T = 100$ °К. Далі припустимо, що щілина фізичний вакуум ($\epsilon_0 = 1$) і має довжину 1,5 см. Враховуючи властивості матеріалу, маємо $R_K = 10^{10}$ Ом, $R_{Щ} = 8 \cdot 10^{10}$ Ом, $dT/dt = 0,4$ К/с, $S = 25$ мм².

Залежність еквівалентної ємності, опору і напруги від параметрів піроелектричного матеріалу

№	Параметри	LiTaO ₃
1	$C_{K1} = \epsilon_0 \epsilon_{K1} S / l_1$	12,78 пФ
2	$C_{Щ} = \epsilon_0 \epsilon_{Щ} S / l_{Щ}$	0,088 пФ
3	$C_{K2} = \epsilon_0 \epsilon_{K2} S / l_2$	12,78 пФ
4	$C_E = C_K + C_{Щ}$	12,865 пФ
5	$C_E = C_K + C_{Щ}$	25, 645 пФ
6	$R_E = R_K^{-1} + R_{Щ}^{-1}$	$0,889 \cdot 10^{10}$ Ом
7	$U = gSR_E \frac{dT}{dt} \left(1 - e^{-t/(C_E R_E)}\right)$	19,558 В

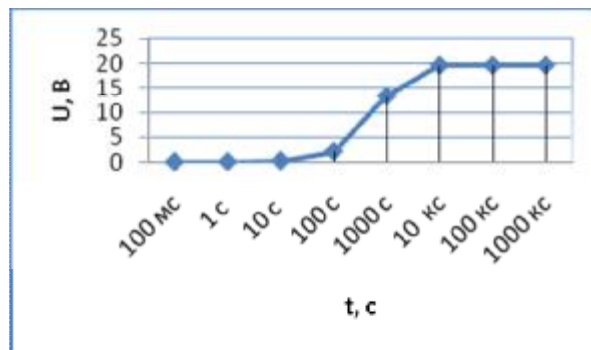


Рис. 7. Залежність напруги від часу для піроелектричного матеріалу

Оптико-частотний температурний перетворювач з чутливим елементом у вигляді піроелектрика

Принцип дії оптико-частотного температурного перетворювача (рис. 8) ґрунтується на дії зміни температури, що приймається чутливим елементом у вигляді піроелектрика, таким чином змінюється вихідна напруга на ньому, що приводить до зміни ємнісної складової повного опору на електродах емітер-затвор біполярного та двозатворного польового МДН транзисторів та активною індуктивністю, що викликає зміну резонансної частоти коливального контуру.

Функція перетворення в загальному вигляді описується рівнянням (24):

$$F_0 = \left[2p(LC(T))^{1/2} \right]^{-1}, \quad (24)$$

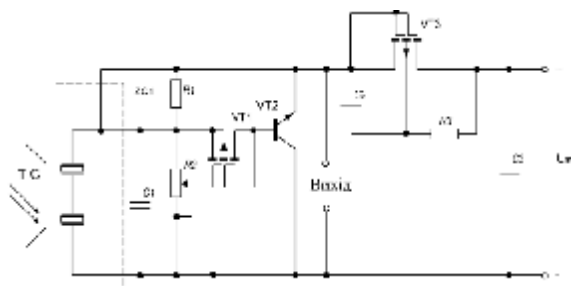


Рис. 8. Електрична схема оптико-частотного температурного перетворювача з чутливим елементом у вигляді піроелектрика

враховуючи рівняння (23) рівняння (24) перепишеться:

$$F_0 = \left[2p \left(LC \left[\int_0^{+\infty} \frac{U}{gSR_E \left(1 - e^{-t/R_E C_E} \right)} dt \right] \right)^{1/2} \right]^{-1}. \quad (25)$$

Висновки

1. Представлені рівняння можуть бути використані для прогнозування потенціалу та поля в однокристальному та двокристальному піроелектричному перетворювачі температури.
2. Було проведено перевірку побудованих математичних моделей піроелектричного матеріалу LiTaO₃ шляхом розрахунку його ключових параметрів (еквівалентної ємності, еквівалентного опору та напруги на ньому), що підтвердили адекватність розроблених математичних моделей.
3. Було виведено функцію перетворення теплової енергії в електричну, яка, на відміну від існуючих, враховує вплив зміни температури, пірокоефіцієнт, габарити матеріалу, еквівалентну ємність та еквівалентний опір на значення напруги, що існує на виході піроелектрика.
4. Було досліджено залежність напруги на піроелектричному матеріалі від часу.
5. Було виведено функцію перетворення для радіовимірювального приладу на основі оптико-частотного температурного перетворювача з чутливим елементом у вигляді піроелектрика.

Література

1. Гаврилова Н. Д. Пироэлектричество / Гаврилова Н. Д., Данилычева М. Н., Новик В. К. – М.: Сов. рад., 1989. – 154 с.
2. Новик В. К. Пироэлектрическиепреобразователи / Новик В. К., Гаврилова Н. Д., Фельдман Н. Д. – М.: Советскоерадио, 1979. – 176 с.
3. Струков Б. А. Пироэлектрические материалы: свойства и применение / Б. А. Струков // Соросовский образовательный журнал. – 1988. – № 6. – С. 96– 101.
4. Осадчук О. В. Мікроелектронні частотні перетворювачі на основі транзисторних структур з від'ємним опором / Осадчук О. В. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2000. – 302 с.

Надійшла 6.3.2011 р.

УДК 621.382: 681.586.776

О.В. ОСАДЧУК, А.О. СЕМЕНОВ, С.В. БАРАБАН
Вінницький національний технічний університет

ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ТЕМПЕРАТУРИ НА ОСНОВІ СЕГНЕТОКОНДЕНСАТОРА

Представлено теоретичні та експериментальні дослідження частотного перетворювача температури на основі сегнетоконденсатора і транзисторної структури з від'ємним опором (ТСВО), показана можливість побудови вимірювальних перетворювачів даного класу, запропоновано використовувати метод схемних визначників для дослідження схем автогенераторів на основі ТСВО.

The theoretical and experimental studies of the frequency temperature converter based on ferroelectric condenser and transistor structure with negative resistance (TSNR) are presented, the possibility of constructing such measuring transducers is shown, method of circuit identifiers for research oscillators schemes based on TSNR is suggested to use.

Ключові слова: сегнетоконденсатор, частотний перетворювач температури, транзисторна структура з від'ємним опором, символна схемна функція, від'ємна диференційна провідність.

Вступ

Новим і перспективним напрямком в області прецизійного і малоінерційного вимірювання температури є використання термодіелектричних властивостей сегнетоелектриків. В якості перетворювачів застосовують ємнісні термочутливі елементи, які є реактивними елементами коливальних контурів. Фізичні основи принципу дії сегнетоелектричних вимірювань температури забезпечують більш високі метрологічні показники, ніж ті, що забезпечують існуючі в наш час резистивні і термоелектричні прилади.

Для сегнетоелектриків залежність діелектричної проникності від температури описується законом

Кюрі-Вейса за рівнянням: $e = \frac{A}{(T - T_K)}$, де e – діелектрична проникність; A – константа для даного

сегнетоелектрика; T_K – температура фазового переходу сегнетоелектрика (температура Кюрі); T – температура сегнетоелектрика [1].

Таким чином, функція $e = f(T)$ має гіперболічний характер, що дозволяє отримати лінійну залежність провідності на змінному струмі ємнісного сегнетоелектричного елемента. Це, в свою чергу, забезпечує лінійність шкали. Оскільки сегнетоелектричний чутливий елемент є параметричним перетворювачем, а його опір має реактивний характер, то це дозволяє суттєвим чином зменшити активні втрати в перетворювачі за рахунок само розігріву, тим самим зменшується вплив перетворювача на поле вимірюваних температур. Крім того, реактивний характер опору чутливого елемента дозволяє збільшити вимірювані струми, які протікають через елемент, що суттєво підвищує чутливість схем.

Висока реалізуєма діелектрична проникність (порядку 10⁵) при температурі Кюрі дозволяє отримувати більші значення ємності при малих габаритах, що забезпечує малу інерційність перетворювачів [1].

Сегнетоелектричний перетворювач температури представляє собою термозалежну ємність, його зручно використовувати в пасивних і активних вимірювальних схемах ввімкнення з амплітудним, частотним, часовим і фазовим виходом. В повній степені метрологічні можливості сегнетоелектричних термоперетворювачів можуть бути використані в схемах з частотним виходом, який дозволяє здійснити перетворення в цифровий код.

Частотний перетворювач температури на основі сегнетоконденсатора

На рис. 1 представлена електрична схема частотного перетворювача температури на основі сегнетоконденсатора.

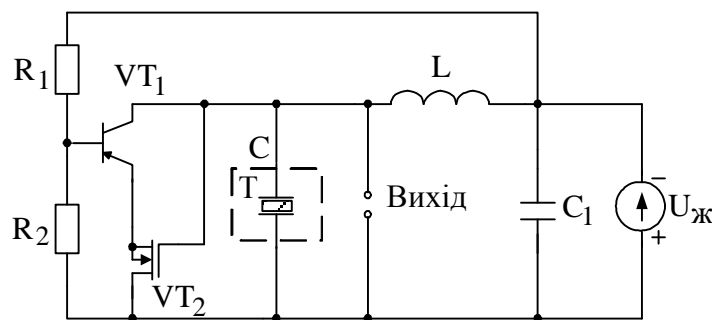


Рис. 1. Електрична схема частотного перетворювача температури на основі сегнетоконденсатора

Робота пристрою базується на основі автогенератора, утвореного транзисторною структурою VT1 і VT2 і індуктивністю L. Сегнетоконденсатор C ввімкнено в схему перетворювача паралельно до транзисторної структури з ВО. Таким чином ємність сегнетоконденсатора впливає на транзисторну структуру, змінюючи її ємність, а також напругу, яка падає на структурі. Автогенератор на рис. 1 не є параметричним, оскільки коливання в ньому утворюються не завдяки внутрішній ємності сегнетоконденсатора і пасивній індуктивності, а позитивному зворотному зв'язку, який виникає в Бі-МОН напівпровідниковій структурі і призводить до появи ділянки з від'ємним диференціальним опором на вольт-амперній характеристиці пристрою.

Аналіз схеми автогенератора на основі транзисторної структури з ВО методом схемних визначників

Узагальнена еквівалентна схема автогенератора на основі ТСВО подана на рис. 2.

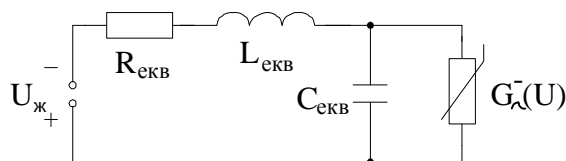


Рис. 2. Еквівалентна схема автогенератора на основі ТСВО

На рис. 2 використанні такі позначення: $R_{екв}$ – еквівалентний опір втрат; $L_{екв}$ – еквівалентна індуктивність пасивної індуктивності; $C_{екв}$ – еквівалентна ємність транзисторної структури з ВО; $G_{\lambda}^{(-)}$ – диференціальна провідність транзисторної структури з ВО (транзисторний аналог лямбда-діода з від'ємною диференціальною провідністю зображений на схемі у вигляді нелінійного опору). Від'ємна диференціальна провідність транзисторної структури утворює внутрішній позитивний зворотний зв'язок, який компенсує втрати в коливальному контурі генератора. Необхідно провести аналіз електричної схеми автогенератора на основі транзисторної структури з ВО.

Ціль аналізу полягає в знаходженні реакції заданого кола при заданому впливі. Основні риси процесу аналізу.

Аналіз кола може проводитись з ціллю визначення характеристик усталеного режиму (частотних характеристик) або характеристик перехідного процесу (часових характеристик).

В задачі аналізу передбачаються заданими електричне коло (схема зі значеннями елементів) і зовнішні впливи. Необхідно знайти реакцію кола-напруги і струми в гілках, що нас цікавлять.

Аналіз кола при використанні операторного методу можна підрозділити на два етапи:

- 1) складання операторних рівнянь і визначення функції кола-опору або функції передачі;
- 2) знаходження по отриманому зображенню шуканої реакції: частотної характеристики або оригіналу, тобто часової функції.

Розв'язок задачі аналізу завжди існує. Аналіз дає єдиний розв'язок.

Відношення значення реакції електричного кола до заданого значення впливу, виражене через параметри елементів кола, називається символічною схемною функцією (ССФ) [2]. Чисельне значення ССФ отримується в результаті підстановки замість позначень параметрів їх дійсних або комплексних значень. Залежно від виду реакції і джерел впливу розрізняють чотири типи ССФ [2]. У тому числі передавальні ССФ по напрузі і струму, що не мають розмірності, а також передавальні опір і провідність, які мають відповідно розмірність опору і провідності. В окремих випадках ССФ, коли чотирьохполюсника розглядається щодо однієї пари своїх полюсів, говорять про ССФ вхідного опору або ССФ вхідної провідності [3].

Для побудови комплексної схеми заміщення заданого кола необхідно всі елементи замінити на відповідні комплексні схеми, знайти комплексні діючі (або амплітудні) напруги або струм джерел і комплексні опори (провідності) пасивних елементів. Еквівалентна схема автогенератора на основі транзисторної структури з ВО представлена на рис. 2, а відповідна їй комплексна схема на рис. 3.

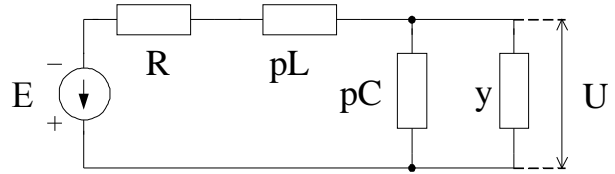


Рис. 3. Комплексна схема заміщення автогенератора на основі транзисторної структури з ВО

Для знаходження діючого значення напруги на провідності необхідно провести аналіз комплексної схеми заміщення (рис. 2) і знайти комплексний коефіцієнт передачі по напрузі [3]:

$$K_U = \frac{U_H}{E} = \frac{\Delta N}{\Delta D} \quad (1)$$

Операції по формуванню чисельника ΔN і знаменника ΔD (1) зведені в табл. 1 і 2 відповідно.

Таблиця 1

Формування виразу чисельника комплексного коефіцієнта передачі по напрузі еквівалентної схеми автогенератора на основі транзисторної структури з від'ємним опором (ВО)

№	Найменування операцій і схемно-алгебраїчні вирази (САВ)
1	Побудова вихідного САВ чисельника $\Delta N =$
2	Видалення провідності у паралельно під'єднаної до приймача НКД [2], а також стягування опору R послідовно під'єднаного до генератора НКД $\Delta N =$
3	Стягування z-гілки pL послідовно під'єднаної до генератора НКД, а також видалення у-гілки pC паралельно під'єднаної до приймача НКД $\Delta N =$
4	Використання відомого визначника контуру, який складається з генератора і приймача однойменного невидляємого керованого джерела [3]. Отримання остаточного алгебраїчного виразу чисельника $\Delta N = 1$

Вираз знаменника комплексного коефіцієнта передачі по напрузі є характеристичним рівнянням для контуру. Розкриємо дужки і перепишемо у зручному для подальшого аналізу вигляді.

$$pRC + G^{(-)}R + p^2LC + pLG^{(-)} + 1 = 0,$$

$$p^2 + p \left(\frac{R}{L} + \frac{G^{(-)}}{C} \right) + \frac{G^{(-)}R + 1}{LC} = 0,$$

де $a = \frac{RC + G^{(-)}L}{2LC}$ – коефіцієнт згасання; $w_0 = \sqrt{\frac{G^{(-)}R + 1}{LC}}$ – кутова резонансна частота контуру.

Таблиця 2

Формування виразу знаменника комплексного коефіцієнта передачі по напрузі еквівалентної схеми автогенератора на основі транзисторної структури з ВО

№	Найменування операцій і схемно-алгебраїчні вирази (САВ)
1	Побудова вихідного САВ знаменника $\Delta D =$ 
2	Знаходження визначника послідовно з'єднаних z-гілок R і pL, а також визначника паралельно з'єднаних y-гілок pC і y [3]. $\Delta D =$ 
3	Обрахунок визначника контуру з опору z і провідності y [3]. Запис визначника контуру з опору і провідності $\Delta D = (R + pL)(pC + y) + 1$

Характеристичне рівняння можна звести до диференціального рівняння другого порядку відносно генерованої напруги

$$\frac{d^2 u}{dt^2} + \left(\frac{R}{L} + \frac{G^{(-)}}{C} \right) \frac{du}{dt} + \frac{G^{(-)}R + 1}{LC} = 0, \quad (2)$$

При розрахунках для від'ємної провідності було використано математичні вирази у [4].

На рис. 4 зображено генеровані коливання напруги у нормованому часі, побудовані у програмі MathCad 11.0.

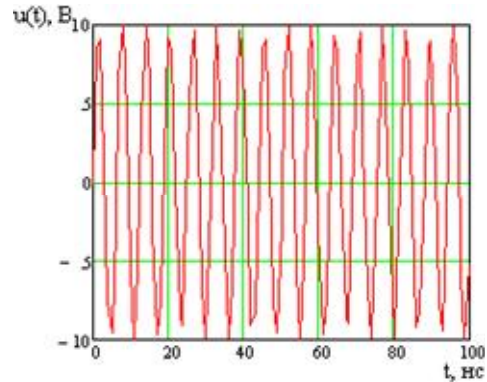


Рис. 4. Генерований електричний сигнал, отриманий у вікні програми MathCad 11.0

Експериментальні дослідження

При проведенні експериментальних досліджень було використано сегнетоелектричний конденсатор, виготовлений з ВаТіО₃, розміром 10x10x1 мм, ємністю 1,2 нФ. В якості біполярного і польового транзисторів використовувалися іноземні транзистори BF240 і BF998 відповідно. Під час проведення експерименту використовувались джерела постійної напруги (ДПН) типу ВИП009, Б5-43, міліамперметр типу УТ70В, вольтметри типу В7-35, частотомір електроннолічильний ЧЗ-35, осцилограф С1-93. Вимірювання температури проводилось за допомогою переносного пірометра типу Смотрич-4ПМ1. Напруга живлення схеми частотного перетворювача становила 4 В.

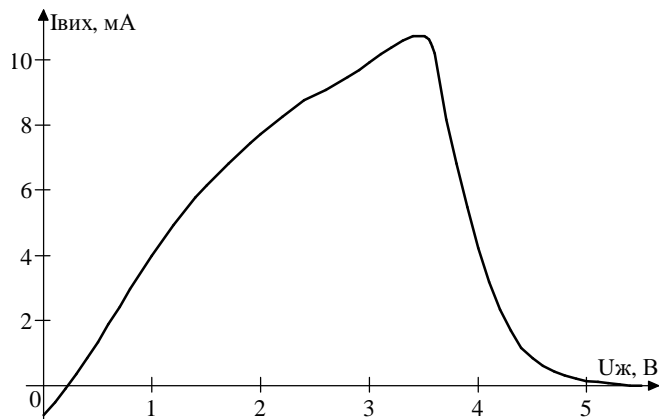


Рис. 5. Експериментальна статична ВАХ перетворювача

На рис. 5, 6 зображено отримані основні результати експериментальних досліджень.

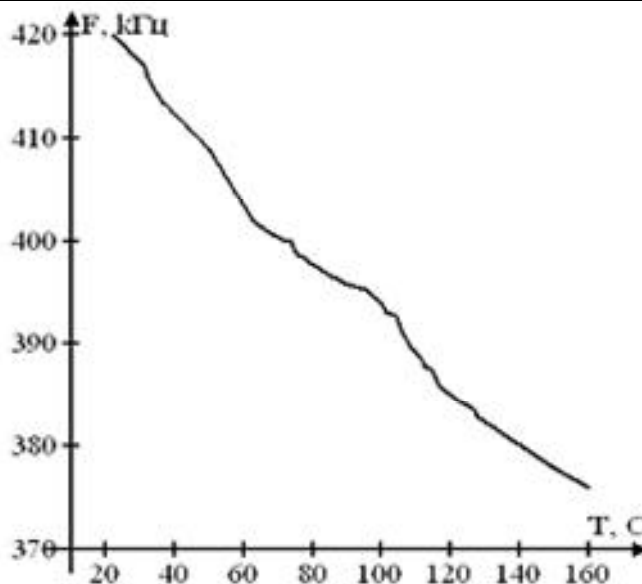


Рис. 6. Експериментальна функція перетворення

Висновки

Запропоновано електричну схему перетворювача температури на основі сегнетоелектричного конденсатора і транзисторної структури з ВО. На основі методу схемних визначників проведено аналіз основної частини схеми – автогенератора синусоїдальних коливань, внаслідок чого отримано зображення вихідного сигналу пристрою у вікні програми MathCad 11.0. Проведені експериментальні дослідження, завдяки чому отримано ВАХ і функцію перетворення частотного перетворювача температури.

Література

1. Желудев И. С. Физика кристаллических диэлектриков / Желудев И. С. – М.: Изд-во "Наука", 1968. – 462 с.
2. Курганов С. А. Анализ установившихся режимов линейных электрических цепей методом схемных определителей: [учеб. пос.] / Курганов С. А. – Ульяновск: УлГТУ, 2002. – 148 с.
3. Курганов С. А. Схемно-алгебраическое моделирование и расчет линейных электрических цепей: [учеб. пос.] / Курганов С. А. – Ульяновск: УлГТУ, 2005. – 319 с.
4. Осадчук В. С. Генераторы электрических колебаний на основе транзисторных структур с від'ємним опором: [моног.] / Осадчук В. С. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 184 с.

Надійшла 4.3.2011 р.

УДК 621.382

Л.Б. ЛІЩИНСЬКА

Вінницький національний технічний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ДВОХЗАТВОРНОГО ПОЛЬОВОГО ТРАНЗИСТОРА У РЕЖИМІ ВІДКРИТОГО ПЕРШОГО І ЗАКРИТОГО ДРУГОГО ПЕРЕХОДІВ

Розроблена математична модель двохзатворного польового транзистора для режиму відкритого першого і закритого другого переходів, у якості якої можливе використання параметрів його невизначеної матриці, для формулювання яких достатньо визначити параметри матриць провідності трьох чотириполюсників, що реалізуються на основі ПТ2.

The mathematical model of two brench-block field transistor is developed for the mode opened first and closed second transitions, in quality of which the possible use of parameters of him indefinite matrix, for determination of which it is enough to define the parameters of matrices of conductivity of three quadripoles which are realized on the basis of FIT2.

Ключові слова: двохзатворний польовий транзистор, матриця провідності.

Вступ

Двохзатворні польові транзистори (ПТ2) можуть забезпечувати реалізацію на одному кристалі напівпровідника двох інформаційних пристроїв (ІП). Наприклад, генератора і змішувача, підсилювача і атенюатора тощо [1,2], що свідчить про їх широкі функціональні можливості. При цьому зазвичай вони використовуються у режимах зворотного зміщення на затворах. Двохзатворні ПТ2 з *p-n* переходами і переходами Шотткі можуть працювати також при прямому зміщенні одного із затворів, що розширює

функціональні можливості такої структури. При проектуванні ІП у цьому режимі не можуть бути використані математичні моделі ПТ2, які розроблені для режимів зворотного зміщення на затворах [3].

Постановка завдання

Метою роботи є розробка математичної моделі двохзатворного польового транзистора для режиму відкритого першого і закритого другого переходів та перевірка її коректності.

Обґрунтування математичної моделі

У режимі, коли відкритий перший і закритий другий перехід ПТ2, його можна представити у вигляді двох транзисторів (рис. 1) [4]: VT1 – інжекційно-пролітного транзистора (ІПТ) [5]; VT2 – однозатворного польового транзистора (ПТ) (рис. 1).

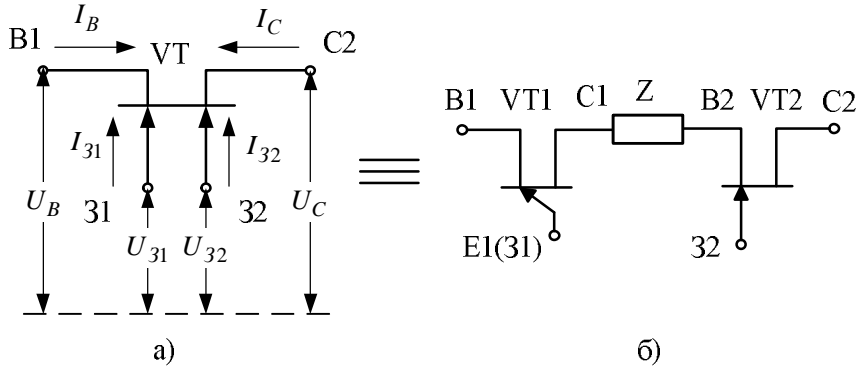


Рис. 1. Тотожне представлення ПТ2 (а) при відкритому першому і закритому другому переходах (б)

Нехтуючи з метою спрощення аналізу елементами корпусу і виводів, а також використовуючи фізичні еквівалентні схеми ІПТ [5] і ПТ [6], отримуємо фізичну еквівалентну схему ПТ2 у режимі, коли перший перехід відкритий, а другий закритий (рис. 2).

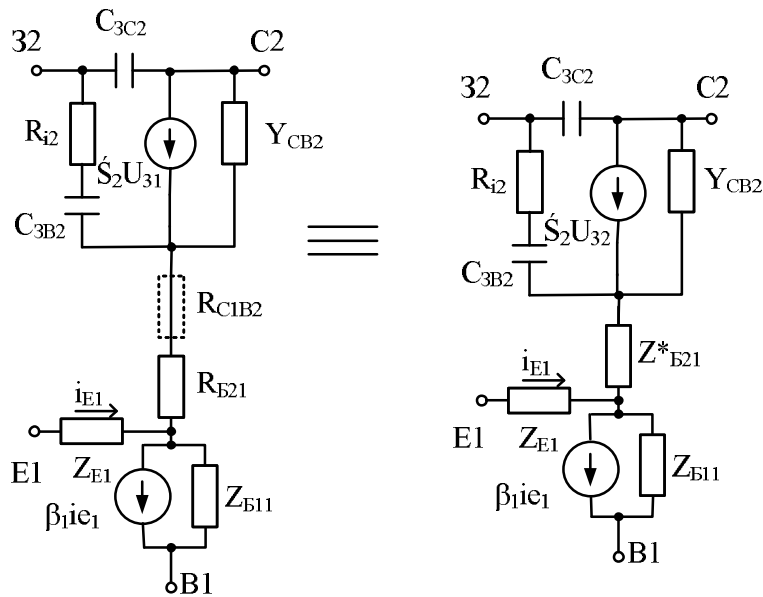


Рис. 2. Малосигнальна фізична еквівалентна схема ПТ2 у режимі відкритого першого і закритого другого переходів

На схемах: R_{i2} і C_{3B2} – диференціальний опір і ємкість між затвором і витоком ПТ; C_{3C2} – ємкість між затвором і стоком ПТ; \mathcal{S}_2 – крутизна; Y_{CB2} – провідність каналу ПТ; Z_{E1} – повний опір емітерного переходу ІПТ; Z_{B1} і Z_{B2} – активний і пасивний опори каналу ІПТ; β_1 – коефіцієнт передачі за струмом ІПТ.

Розглядаючи ПТ2 як незалежний чотириполюсник (рис. 1а), зв'язок між струмами i_B , i_C , i_{31} , i_{32} і напругами U_B , U_C , U_{31} , U_{32} його полюсів можна описати рівнянням [7]

$$\begin{bmatrix} i_{31} \\ i_{32} \\ i_C \\ i_B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & y_{13} & y_{14} \\ y_{21} & y_{22} & y_{23} & y_{24} \\ y_{31} & y_{32} & y_{33} & y_{34} \\ y_{41} & y_{42} & y_{43} & y_{44} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} U_{31} \\ U_{32} \\ U_C \\ U_B \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Параметри невизначеної матриці провідності $[y_{ij}]$ цього рівняння забезпечують опис більшості малосигнальних параметрів ПТ2 та її можна розглядати як узагальнену математичну модель ПТ2. Враховуючи, що не всі елементи цієї матриці є незалежними, для їх знаходження досить визначити у-параметри ПТ2 лише для трьох схем його включення як чотириполосник, коли два електроди з'єднуються із загальною шиною [7]. Критерієм вибору схеми включення є умова, при якій у шукані матриці повинні входити діагональні елементи невизначеної матриці: $y_{11}, y_{22}, y_{33}, y_{44}$, що забезпечують схеми включення ПТ із загальними електродами: (31, 32); (31, В); (В, С) (рис. 3).

Розрахувавши або вимірявши десять у-параметрів цих чотириполосників можна розрахувати параметри математичної моделі ПТ2, що залишилися, у даному режимі.

Утворюючи їх чотириполосники є з'єднанням ППТ (VT1), включеного за схемою із загальним емітером E1 (рис. 3б), загальним витоком (рис. 3ж) і двухполосник із загальними емітером і витоком E1B1 (рис. 3г), і ПТ (VT2), включеного за схемою із загальним затвором (рис. 3б), загальним витоком (рис. 3г) і оберненою схемою із загальним стоком (рис. 3ж). Вони описуються відповідними матрицями провідності:

$$\begin{bmatrix} y_{ПТ}^{(B)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11}^{(B)} & y_{12}^{(B)} \\ y_{21}^{(B)} & y_{22}^{(B)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{3C} + y_{31} & -y_{3C} \\ -y_{3C} & y_{3C} + y_{CB} \end{bmatrix}; \quad (2)$$

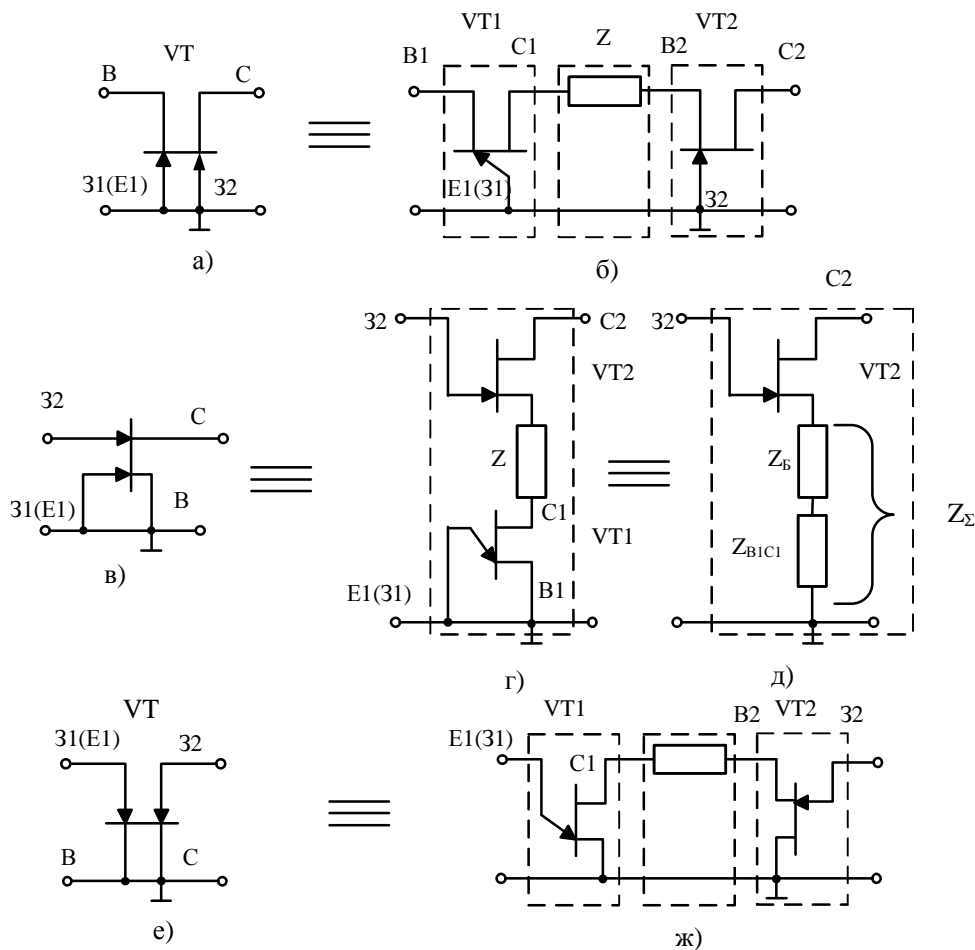


Рис. 3. Тотожне представлення чотириполосників на базі ПТ2 при включенні їх за схемою: (31,32) – а, б; (31,В) – в, г; (В, С) – е, ж при відкритому першому і закритому другому переходах

$$\begin{bmatrix} y_{ПТ}^{(3)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11}^{(3)} & y_{12}^{(3)} \\ y_{21}^{(3)} & y_{22}^{(3)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{3B} + y_{CB} + \mathcal{E} & -y_{3C} \\ -y_{3B} - \mathcal{E} & y_{CB} + y_{3C} \end{bmatrix}; \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} y_{11}^{(C)} & y_{12}^{(C)} \\ y_{21}^{(C)} & y_{22}^{(C)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{3B} + y_{3C} & -y_{3B} \\ -y_{3B} - \mathcal{G} & y_{BC} + y_{3B} + \mathcal{G} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

де $y_{3C} = j\omega C_{3C}$; $y_{CB} = G + j\omega C_{CB}$; $y_{3B} = (w^2 R_i C_{3B} + j\omega C_{3B}) / (1 + w^2 R_i^2 C_{3B}^2)$.

$$\begin{bmatrix} y_{11}^{(B)} \\ y_{11T}^{(B)} \end{bmatrix} = \Delta Z^{-1} \times \begin{bmatrix} Z_E + Z_{B1}(1 - \mathcal{B}) & -Z_{B1}(1 - \mathcal{B}) \\ -Z_{B1} & R_{B2} + Z_{B1} \end{bmatrix}, \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} y_{11}^{(E)} \\ y_{11T}^{(E)} \end{bmatrix} = \Delta Z^{-1} \times \begin{bmatrix} Z_E + R_{B2} & -Z_E \\ -(Z_E - \mathcal{B}Z_{B1}) & Z_E + Z_{B1}(1 - \mathcal{B}) \end{bmatrix}, \quad (6)$$

де $\Delta Z = Z_E R_{B2} + Z_{B1} [Z_E + R_{B2}(1 - \mathcal{B})]$.

Виключенням є обернена схема із загальним стоком VT2 на рис. 3ж. Для цього чотириполосника матрицю провідності знаходимо з (4), помінявши перехресні елементи матриці.

$$\begin{bmatrix} \bar{y}_{11}^{(C)} & \bar{y}_{12}^{(C)} \\ \bar{y}_{21}^{(C)} & \bar{y}_{22}^{(C)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{BC} + y_{3B} + \mathcal{G} & -y_{3B} - \mathcal{G} \\ -y_{3B} & y_{3B} + y_{3C} \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Враховуючи, що на рис. 3б утворюючі чотириполосники включені каскадно, використовуючи (3) і (6) та здійснивши перехід до $[a]$ -матриць цих чотириполосників, для початкового чотириполосника на рис. 3а маємо

$$[a]_{(E1,32)} = [a_{E1}] \times [a_Z] \times [a_{32}] = \begin{bmatrix} a_{11(E1,32)} & a_{12(E1,32)} \\ a_{21(E1,32)} & a_{22(E1,32)} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Здійснивши зворотний перехід від $[a]_{(E1,32)}$ -матриці до матриці провідності знаходимо

$$\begin{bmatrix} y_{11(E1,32)} & y_{12(E1,32)} \\ y_{21(E1,32)} & y_{22(E1,32)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{33} & y_{34} \\ y_{43} & y_{44} \end{bmatrix} = \frac{1}{a_{12(E1,32)}} \begin{bmatrix} a_{22(E1,32)} & -\Delta a_{(E1,32)} \\ 1 & -a_{11(E1,32)} \end{bmatrix}, \quad (9)$$

де $\Delta a_{(E1,32)}$ – визначник матриці (8).

Для чотириполосника на рис. 3в, матриця провідності буде дорівнювати

$$\begin{bmatrix} y_{11}^{(E1,B)} & y_{12}^{(E1,B)} \\ y_{21}^{(E1,B)} & y_{22}^{(E1,B)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{22} & y_{23} \\ y_{32} & y_{33} \end{bmatrix} = \Delta Z^{(E1,B)} \times \begin{bmatrix} Z_{22}^{(B2)} - Z_{\Sigma} & Z_{12}^{(B2)} + Z_{\Sigma} \\ Z_{21}^{(B2)} + Z_{\Sigma} & Z_{11}^{(B2)} + Z_{\Sigma} \end{bmatrix}, \quad (10)$$

де $\Delta Z^{(E1,B)}$ – визначник матриці опору чотириполосника на рис. 3в; $Z_{11}^{(B2)}$, $Z_{12}^{(B2)}$, $Z_{21}^{(B2)}$, $Z_{22}^{(B2)}$ – матриця опорів VT2 на рис. 3г, включеного за схемою із загальним витоком; $Z_{\Sigma} = Z + Z_{B1C1}$; $Z_{B1C1} = Z_{22}^{(B1)} + Z_{12}^{(B1)} Z_{21}^{(B1)} / Z_{11}^{(B1)}$; $Z_{11}^{(B1)}$, $Z_{12}^{(B1)}$, $Z_{21}^{(B1)}$, $Z_{22}^{(B1)}$ – елементи матриці опорів VT1, включеного із загальним витоком.

Здійснивши для схеми на рис. 3е перетворення, які проведені для схеми на рис. 3а, знаходимо

$$\begin{bmatrix} y^{(BC)} \\ y_{11}^{(BC)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11}^{(BC)} & y_{12}^{(BC)} \\ y_{21}^{(BC)} & y_{22}^{(BC)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{bmatrix} = \frac{1}{a_{12}^{(BC)}} \begin{bmatrix} a_{22}^{(BC)} & -\Delta a^{(BC)} \\ 1 & -a_{11}^{(BC)} \end{bmatrix}, \quad (11)$$

де $\Delta a^{(BC)}$ – визначник $[a^{(BC)}]$ -матриці чотириполосника на рис. 3е, ж.

Отримані матриці (9–11) забезпечують розрахунок всіх необхідних елементів у невизначеній матриці рівняння (1) та їх можна розглядати як малосигнальну математичну модель ПТ2 у режимі відкритого першого і закритого другого переходів.

Експериментальна перевірка коректності математичної моделі

Перевірку коректності розробленої математичної моделі ПТ2 можливо здійснити шляхом порівняння розрахункових значень параметрів його імітансних матриць у різних схемах включення з експериментально набутих значень цих параметрів. Враховуючи складність і трудомісткість таких експериментальних досліджень, обраний найпростіший шлях розв'язання цієї задачі за рахунок використання у якості інформаційного параметру $K_{ms} = |W_{21}/W_{12}|$ – малосигнального

максимально–досяжного коефіцієнта передачі чотириполюсника [7]. Достоїнствами цього параметра є:

- інформативність, оскільки він залежить від найважливіших параметрів прямої і зворотної передачі чотириполюсника, кожен з яких, будучи у загальному випадку комплексною величиною, залежить і від їх складових;

- дешевизна і простота вимірів, шляхом виміру лише потужності сигналу, що пройшов через чотириполюсник у прямому P_{Π} і зворотному P_{Π} напрямках: $K_{ms} = \sqrt{P_{\Pi} / P_H}$ [8];

- висока точність вимірів, яка при використанні термістерного моста МЧ-2 на ультрависоких частотах не перевищує 3 %.

Результати вимірювання і розрахунку значень \hat{E}_{ms} , проведені для досліджуваних чотириполюсників (рис. 3) показали, що на частоті 1 ГГц при використанні ПТ2 типа ЗП328–2, фіксованому значенні замикаючої напруги на другому затворі $U_3 = -1$ і зміні напруги на першому затворі у діапазоні (0 ÷ +1В) відмінність розрахункових та експериментальних значень K_{ms} не перевищує 20 %. Враховуючи статистичний розкид параметрів фізичної еквівалентної схеми ПТ, використовуваних у базі даних пакету прикладних програм проектування електронних пристроїв «Microwave office» [9], і погрішність експерименту, отримані результати слід вважати задовільними, що підтверджує коректність розробленої математичної моделі і можливість її використання при дослідженні електронних схем на основі ПТ2 при прямому зміщенні першого і закритому другому переході.

Висновки

1. У режимі прямого зміщення першого і закритому другому переході, ПТ2 можна представити у вигляді з'єднання інжекційно-пролітного і однозатворного польового транзисторів, коли стік першого з'єднаний з витокком другого.

2. У якості узагальненої математичної моделі ПТ2 у цьому режимі можливе використання параметрів його невизначеної матриці, для формулювання яких достатньо визначити параметри матриць провідності трьох чотириполюсників, що реалізуються на основі ПТ2: із загальними: З1,З2; З1,В; В, С, коли на перший перехід подається пряме, а другий – зворотне зміщення.

Література

1. Егудин А. Б. СВЧ полевые транзисторы с двумя затворами / А. Б. Егудин, В. Г. Еленский, О. В. Чкалова // Зарубежная радиоэлектроника. – 1982. – № 6. – С. 80–94.
2. Vendelin G. D. Microwave circuit design using linear and nonlinear techniques / G.D. Vendelin, A.M.Pavio, U.L.Rohde. – New Jerey: WILEY-INTERSCIENCE, 2005. – 1057p. – ISBN 13 978-0-471-41479-7
3. Schoon M. A novel, bias-dependent small-signal model of the dual-gate MES FET / M. Schoon // IEEE Trans. Microwave Teory Tech. – 1994. – № 42. – P.212-216.
4. Данилин В. Н. Аналоговые полупроводниковые интегральные схемы СВЧ / В. Н. Данилин, А.. Кушниренко, Г. В. Петров. – М.: Радио и связь, 1985. – 192 с.
5. Филинюк Н. А. Инжекционно–пролётный транзистор / Н. А. Филинюк, И. В. Булыга // Микроэлектронные преобразователи и приборы на их основе. – Баку: АТУ, 2007. – С. 95–97.
6. Валиев К. А. Применение контакта металл-полупроводник в электронике / К. А. Валиев, Ю. И. Пашинцев, Г. В. Петров. – М.: Сов. Радио, 1981. – 304 с.
7. Філінюк М. А. Інформаційні пристрої на основі потенційно-нестійких багатоелектродних напівпровідникових структур Шотткі: [монографія] / М. А. Філінюк, О. М. Куземко, Л. Б. Ліщинська. – Вінниця: ВНТУ, 2009. – 274 с. – ISBN 978-966-641-332-4
8. Філінюк М. А. Метрологічні основи негatronіки: [монографія] / М. А. Філінюк, Д. В. Гаврилов. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2006. – 188 с. – ISBN 966-641-168-73.
9. Разевиг В. Д. Проектирование СВЧ устройств с помощью MICROWAVE OFFICE. / В. Д. Разевиг, Ю. В. Потапов, А. А. Курушин. – М.: Солон–Пресс, 2003. – 496с. – ISBN 5-98003-089-1.

Надійшла 9.3.2011 р.

ЕЛЕКТРОМАГНІТНИЙ ЗВ'ЯЗОК МІЖ АНІЗОТРОПНИМ ТА ІЗОТРОПНИМ ОПТИЧНИМИ ВОЛОКНАМИ

Отримано вираз розрахунку коефіцієнта електромагнітного зв'язку між анізотропним оптичним волокном з впорядкованою обертовою мікроструктурою скла та ізотропним оптичним волокном. Встановлено умову повної передачі потужності оптичного сигналу з анізотропного оптичного волокна в ізотропне.

Expression of calculation of coefficient of electromagnetic connection is got between an anisotropic optical fibre with the well-organized circulating microstructure of glass and isotropic optical fibre. A complete assignment of power of visual signal clause is set from an anisotropic optical fibre in isotropic.

Ключові слова: оптичне волокно, анізотропія, впорядкована обертова мікроструктура скла, електромагнітний зв'язок.

Застосування анізотропних компонентів для побудови елементів волоконно-оптичних систем передавання (ВОСП) представляє науковий і практичний інтерес. На сьогодні розв'язується задача спектрального, поляризаційного та просторового поділу потужності оптичного сигналу та мінімізації втрат у направлених відгалужувачах. Використання особливостей анізотропних середовищ дозволить поліпшити дані характеристики.

Одним із способів створення анізотропного оптичного волокна (ОВ) є фотопружність, викликана наданням мікроструктурі скла, з якого виготовлене ОВ впорядкованої обертаємості за спіральною лінією. Технологія виробництва даного виду ОВ представлена в [1]. В роботі [2] проведено дослідження особливостей поширення електромагнітної хвилі по ОВ з впорядкованою обертаємою мікроструктурою скла (ВОМС): діелектричні властивості середовища, подвійне променезаломлювання, поляризаційна дисперсія. В роботах [3, 4] проведено дослідження поляризаційних втрат при обміні потужностями між основними звичайною та незвичайною хвилями. В роботі [5] отримано вираз для розрахунку коефіцієнта електромагнітного зв'язку між ізотропними ОВ, розташованими паралельно.

Можливість впливу на ступінь асиметрії діелектричних властивостей анізотропного ОВ шляхом визначення необхідних параметрів ВОМС, завдяки чому можна виконувати поділ оптичного сигналу за потужністю, часом, частотою, дає підставу для дослідження можливості передачі сигналу шляхом електромагнітного зв'язку із ОВ з ВОМС в ізотропне ОВ і навпаки.

Метою роботи є встановлення залежності коефіцієнта електромагнітного зв'язку C_{ab} між ОВ a , яке є анізотропним з ВОМС, та ізотропним ОВ b (рис. 1). Для посилення електромагнітного зв'язку дані ОВ мають односторонній зріз оболонок на глибину d_{sp} та розташовані зрізами паралельно, впритул одне до другого на ділянці певної довжини. На рис. 2 спрощено проілюстровано структуру даної системи зв'язаних ОВ. Розташування представлено в декартовій системі координат: вісі координат x , y , z , причому вісь z співпадає з віссю ОВ a , вісь y нормально направлена до вісей ОВ a та b .

Оптичне випромінювання від лазера поступає на вхід анізотропного ОВ a , і за рахунок електромагнітного зв'язку частина потужності сигналу передаватиметься в ОВ b .

Нехай ОВ a та b – одномодові з однаковими радіусами оболонок, ОВ a – однорідне за хімічним складом скла, ОВ b – ступеневе. На вхід анізотропного ОВ з ВОМС a поступає неперервний сигнал довжиною хвилі λ . Розповсюдження електромагнітної хвилі в ОВ з ВОМС відбувається по спіральній лінії певного кроку та радіуса, яка відповідає закону спіральної лінії, вздовж котрої направлено вісі молекул та мікрокристалів. Це призводить до повороту площини поляризації звичайної (HE_{11}^o) та незвичайної (HE_{11}^e) хвиль на одиницю довжини ОВ на кут $\nu = 2\pi/p_1$ (p_1 – крок обертання мікроструктури скла). Оптична вісь ОВ з ВОМС, що нормально з'єднує вісь ОВ із спіральною лінією, має обертаємий характер, що показано на рис. 1. Обмін потужностями між ОВ a та ОВ b буде здійснюватись не на всій ділянці, вздовж якої дані ОВ розташовані впритул (як відбувається в ізотропних ОВ), а лише на тих відрізках, коли оптична вісь ОВ a направлена з центру ОВ a в бік ОВ b . На рис. 1 дані ділянки зв'язку представлені як $Z_{3\theta}$. На ділянці $Z_{3\theta}$ потужність хвилі максимально зорієнтована до ОВ b і відбувається максимальний перехід частини потужності з ОВ a в ОВ b .

Згідно результатів досліджень, проведених в [2], в ОВ з ВОМС, як і в укладеному в спіральну лінію при нормальних кліматичних умовах ОВ, по мірі розповсюдження сигналу відбувається обмін потужностями між основними звичайною та незвичайною хвилями: частина потужності звичайної хвилі перекачується у незвичайну на відрізку, що дорівнює напівдовжині ділянки биття ξ_1 (напівдовжина ділянки биття – довжина ОВ, вздовж якої відбувається перекачування основної потужності оптичного сигналу в одному напрямку), пройшовши який, на наступному відрізку ξ_1 , потужність перекачується у зворотньому напрямку – із незвичайної в звичайну, після чого даний процес повторюється. У випадку ОВ з ВОМС потужність, «що віддається» звичайною хвилею переважає над потужністю, «що віддається» незвичайною хвилею. Різниця величин перехідних затухань при цьому складає 6,72 дБ [3, 4]. Напівдовжина ділянки биття

при цьому $\xi_1 \rightarrow 0$.

Результати даних досліджень дають підстави для твердження, що в ОВ з ВОМС потужність оптичного сигналу перекачується в незвичайну хвилю на нескінченно малому відрізку ОВ, тобто встановлюється стаціонарна еліптична поляризація з співвідношенням оптичних напівосей незвичайної та звичайної хвиль $d^e/d^o \approx 2,14$. В силу викладеного, розглянемо електромагнітний зв'язок між ОВ a та b на основі переходу лише незвичайної хвилі з ОВ a в ОВ b .

Представимо потік потужності оптичного сигналу (промінь) в ОВ a по спіральній лінії, параметри якої – крок p_1 , радіус $R = b$ (радіус оболонки ОВ). На рис. 2 вона показана сірою. Початок руху променя – в точці A (лежить на від'ємній напіввісі x), промінь перетинає лінію зрізу ОВ в точці A_1 , далі сигнал розповсюджується в ОВ b , після чого, рухаючись у зворотньому напрямку, промінь перетинає лінію зрізу волокон в точці B_1 , перетинає площину xz в точці B . Різниця по координаті z між точками A та B буде складати половину кроку обертання ВОМС ($p_1/2$). Довжина $Z_{3\phi}$ в даному випадку буде дорівнювати відрізку між точками A_1 та B_1 .

Для знаходження $Z_{3\phi}$ скористаємось наступною методикою. Розглянемо площину, на якій лежить дуга AB , маршрут якої описаний вище, і якщо подивитись на дану дугу із боку нормалі, проведеної до вказаної площини, представляється можливим розглядати дугу AB на половині еліпса, велика вісь якого дорівнює $\sqrt{4R^2 + \frac{p_1^2}{4}}$, а мала напіввісь – R (рис. 3).

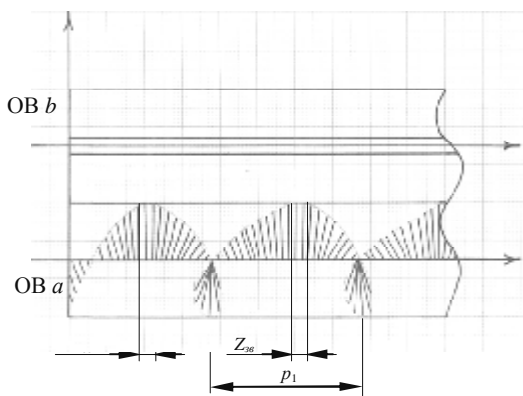


Рис. 1. Повздовжній переріз ОВ a та b та характер обертання оптичної осі в ОВ з ВОМС (a)

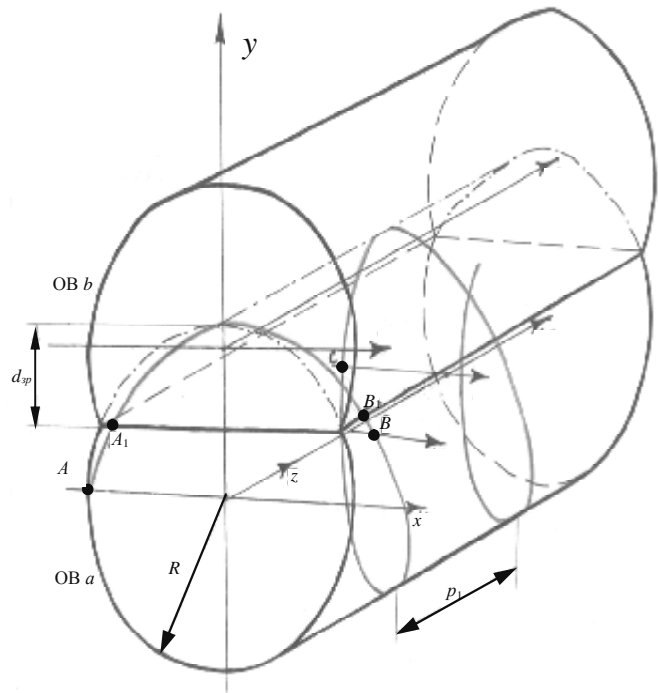


Рис. 2. Спрощена структура зв'язаних електромагнітним полем ОВ: a – анізотропне ОВ з ВОМС, b – ізотропне ОВ

Для знаходження довжини відрізка A_1B_1 складемо рівняння даного еліпса:

$$\frac{A_1B_1^2/4}{AB^2/4} + \frac{(R - d_{3\phi})^2}{R^2} = 1. \tag{1}$$

В такому випадку довжина A_1B_1 дорівнюватиме:

$$A_1B_1 = \sqrt{\frac{\left(4R^2 + \frac{p_1^2}{4}\right)(2R \cdot d_{3\phi} - d_{3\phi}^2)}{R^2}}. \tag{2}$$

Проекція дуги AB на площину xz має вигляд, представлений на рис. 4.

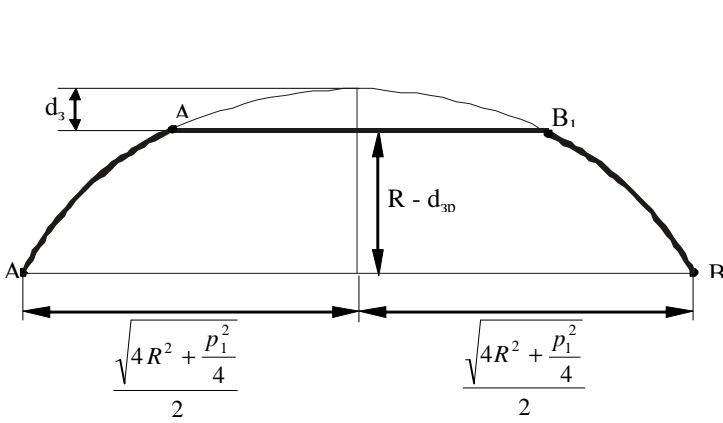


Рис. Траекторія руху променя в околі ділянки Z_{3e}

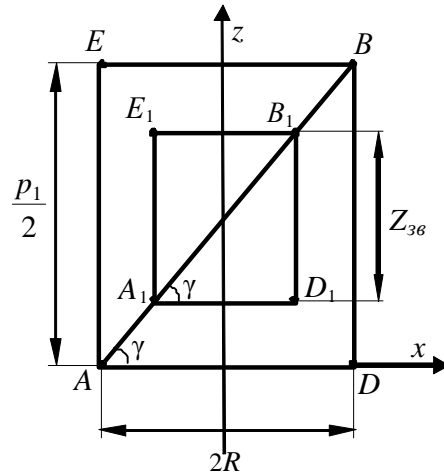


Рис. 1 Проекція дуги AB на площину xz

Знайдемо всі інші розміри даної проекції:

$$\operatorname{tg}\gamma = \frac{P_1}{4R}. \tag{3}$$

$$A_1D_1 = A_1B_1 \cdot \cos\gamma = A_1B_1 \cdot \cos\left(\operatorname{arctg}\left(\frac{P_1}{4R}\right)\right) \tag{4}$$

$$Z_{3e} = A_1E_1 = A_1B_1 \cdot \sin\gamma = A_1B_1 \cdot \sin\left(\operatorname{arctg}\left(\frac{P_1}{4R}\right)\right) \tag{5}$$

Таким чином, довжина відрізка Z_{3e} , на якому має місце перехід потужності незвичайної хвилі з OB a в OB b , дорівнює довжині відрізка A_1E_1 та розраховується за виразом (5).

Отже, згідно [6], при надходженні на вхід OB з ВОМС a оптичного сигналу, потужністю $P(a) = |A_a(0)|^2 = 1$ (A_a – амплітуда хвилі в OB a), зміна потужності в OB a вздовж ділянки Z_{3e} буде здійснюватись за виразом:

$$P_a(z) = \cos^2\left(z_{3e} \cdot \sqrt{C_{ab}^2 + \Delta\beta^2}\right) + \frac{\Delta\beta^2}{C_{ab}^2 + \Delta\beta^2} \sin^2\left(z_{3e} \cdot \sqrt{C_{ab}^2 + \Delta\beta^2}\right), \tag{6}$$

де C_{ab} – коефіцієнт електромагнітного зв'язку між OB a та b , $\Delta\beta = \frac{\beta_a^e - \beta_b}{2}$ (β_a^e – фазовий коефіцієнт розповсюдження для незвичайної хвилі в OB a , β_b – фазовий коефіцієнт розповсюдження вздовж OB b).

При цьому потужність, що передається в OB b буде змінюватись за виразом [6]:

$$P_b(z) = \frac{C_{ab}^2}{C_{ab}^2 + \Delta\beta^2} \sin^2\left(z_{3e} \cdot \sqrt{C_{ab}^2 + \Delta\beta^2}\right). \tag{7}$$

У випадку $\beta_a^e = \beta_b$, матиме місце наступний розподіл потужностей оптичного сигналу між OB a та b [6]:

$$P_a(z) = \cos^2(z_{3e} \cdot C_{ab}), \quad P_b(z) = \sin^2(z_{3e} \cdot C_{ab}). \tag{8}$$

При однакових фазових коефіцієнтах передачі вся потужність оптичного сигналу на ділянці Z_{3e} перейде із світловода a у світловод b , і якщо дані OB розвести просторово після ділянки Z_{3e} , потужність з OB b не повернеться в OB a , і сигнал зніматиметься з виходу тільки OB b . Таким чином, щоб досягти передачі 100 % потужності оптичного сигналу з OB a в OB b , необхідно виконати умову:

$$\begin{cases} C_{ab} = \frac{\pi}{2 \cdot Z_{3e}}; \\ \beta_a^e = \beta_b. \end{cases} \tag{9}$$

Характер зміни потужностей вздовж OB a та b при виконанні (9) ілюструє рис. 5.

Визначимо методику розрахунку коефіцієнта електромагнітного зв'язку C_{ab} . В роботі [5] приведена формула розрахунку даного параметра для ізотропних діелектричних смужкових світловодів, яка в координатах рис. 2 представляється у вигляді:

$$C_{ab} = \frac{2k_y^2 \cdot q_y \cdot e^{-q_y \cdot l}}{k_z \cdot m \cdot (q_y^2 + k_y^2)}, \quad (10)$$

де k_y – хвильове число уздовж осі y , k_z – хвильове число уздовж осі z , q_y – показник експонентного спаду поля поза серцевиною уздовж осі y , m – ширина каналу (довжина відрізка A_1B_1 рис. 4), l – відстань між каналами.

Хвильове число для незвичайної хвилі в ОВ з ВОМС a , при куті поляризації $\varphi^e = \pm \pi/2$, визначається за виразом:

$$k_1^e = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \sqrt{\varepsilon_a^e(r, \varphi)} = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot \sqrt{\varepsilon_a(r) + v^2 r^2 + vr}, \quad (11)$$

де λ – довжина робочої хвилі сигналу, $\varepsilon_a(r)$ – діелектрична проникність ОВ a без урахування ВОМС (ізотропного), v – кручення скла ОВ a , r – поточна координата обертової циліндричної системи.

Хвильове число уздовж осі y визначається:

$$k_y = k_1^e \cdot \cos \varphi_1, \quad (12)$$

де φ_1 – кут між дотичною до незвичайного променя в точці перетину даним променем лінії зрізу (точці A_1) та нормаллю до границі поділу двох середовищ. Для визначення даного параметра виконаємо проєкцію дуги AB на площину uz . Проєкція та кут φ_1 представлені на рис. 6.

Розглянемо частину даної проєкції в околі точки A_1 . При повертанні проти часової стрілки на 1° від точки A_1 , відстань від точки A_2 до дуги (до точки A_3) буде дорівнювати (рис. 7):

$$A_2A_3 = R - d_{zp} + \frac{AE - A_1E_1 - (R - d_{zp})}{90}. \quad (13)$$

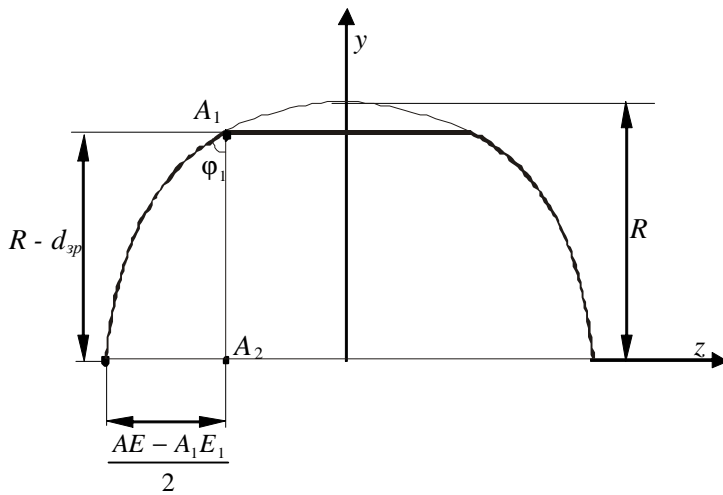


Рис. 6. Проєкція дуги AB на площину uz

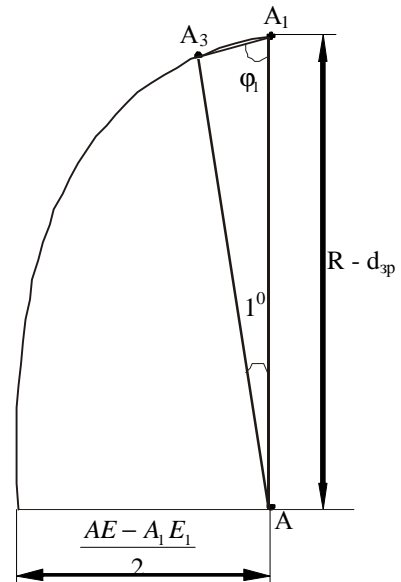


Рис. 7. До визначення кута φ_1

Відкладемо від точки A_1 проти часової стрілки кут величиною 1° і побудуємо трикутник так, як це показано на рис. 7, кут φ_1 є одним із параметрів побудованого трикутника. Отримаємо вираз для визначення даного кута:

$$\varphi_1 = \arctg \left\{ \frac{\left[\frac{178 \cdot (R - d_{zp}) + AE - A_1E_1}{180} \right] \cdot 0,0175}{(R - d_{zp}) - \left[\frac{178 \cdot (R - d_{zp}) + AE - A_1E_1}{180} \right] \cdot 0,9998} \right\}, \quad (14)$$

де $AE = p/2$, A_1E_1 розраховується за виразом (5).

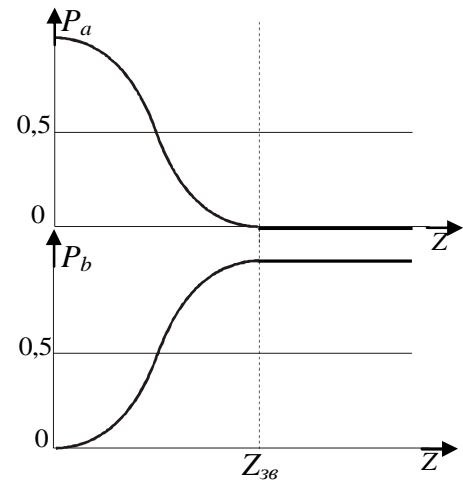


Рис. 5. Графіки зміни потужностей уздовж ОВ a та b в випадку виконання умови (9)

Таким чином, остаточний вираз для розрахунку k_y приймає вигляд:

$$k_y = \frac{2\pi\sqrt{\varepsilon^e(r, \varphi)}}{\lambda} \cdot \cos \left[\operatorname{arccctg} \left\{ \frac{\left[\frac{178 \cdot (R - d_{zp}) + AE - A_1 E_1}{180} \right] \cdot 0,0175}{(R - d_{zp}) - \left[\frac{178 \cdot (R - d_{zp}) + AE - A_1 E_1}{180} \right] \cdot 0,9998} \right\} \right]. \quad (15)$$

Для визначення хвильового числа поширення незвичайної хвилі вздовж осі z необхідно враховувати, як вертикальний кут φ_1 , формула розрахунку якого наведена вище, так і горизонтальний γ (див. рис. 4) на площині xz :

$$k_z = k_1^e \cdot \sin \varphi_1 \cdot \sin \gamma = \frac{2\pi\sqrt{\varepsilon^e(r, \varphi)}}{\lambda} \cdot \sin \left(\operatorname{arctg} \frac{p_1}{4R} \right) \times \sin \left[\operatorname{arccctg} \left\{ \frac{\left[\frac{178 \cdot (R - d_{zp}) + AE - A_1 E_1}{180} \right] \cdot 0,0175}{(R - d_{zp}) - \left[\frac{178 \cdot (R - d_{zp}) + AE - A_1 E_1}{180} \right] \cdot 0,9998} \right\} \right]. \quad (16)$$

Для визначення показника експоненційного спаду поля вздовж вісі y скористаємось матеріалом, викладеним в роботі [6], де розглянуто падіння плоскої хвилі на плоску границю поділу двох середовищ. Вираз для розрахунку даної величини має вигляд:

$$q_y = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\sin^2 \varphi_1 - \left(n_{2b} / \sqrt{\varepsilon^e(r, \varphi)} \right)^2}, \quad (17)$$

де n_{2b} – показник заломлення оболонки ступеневого ізотропного ОВ b , всі інші параметри розраховуються за наведеними вище виразами.

Відстань між каналами будемо розглядати як відстань між осями ОВ a та b , які зтісуються на однакову величину d_{zp} :

$$l = 2(R - d_{zp}). \quad (18)$$

Шириною каналу зв'язку є довжина лінії, вздовж якої має місце перехід потужності оптичного сигналу з ОВ a в ОВ b , тобто довжина відрізка $A_1 B_1$ на рис. 4. Даний параметр розраховується за виразом (2).

Таким чином, враховуючи, що фазовий коефіцієнт поширення в ізотропному ОВ b :

$$\beta_b = \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\varepsilon_b(r)}, \quad (19)$$

де $\varepsilon_b(r)$ – діелектрична проникність серцевини ОВ b , остаточна умова передачі всієї потужності незвичайної хвилі з анізотропного ОВ a в ізотропне ОВ b на ділянці $Z_{зв}$ приймає вигляд:

$$\left\{ \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{\frac{\left(4R^2 + \frac{p_1^2}{4}\right)(2R \cdot d_{zp} - d_{zp}^2)}{R^2}} \cdot \sin \left(\operatorname{arctg} \left(\frac{p_1}{4R} \right) \right)} = \frac{2k_y^2 \cdot q_y \cdot e^{-q_y \cdot l}}{k_z \cdot m \cdot (q_y^2 + k_y^2)}; \right. \quad (20)$$

$$\left. \varepsilon_a^e(r, \varphi) = \varepsilon_b(r). \right.$$

Ліва частина першого рівняння (20) визначає значення коефіцієнта C_{ab} при якому відбувається передача всієї потужності незвичайної хвилі з ОВ a в ОВ b на ділянці $Z_{зв}$, права – реальне значення C_{ab} при вибраних параметрах ОВ, кроку скрутки ВОМС та глибини зтісування d_{zp} .

Якщо шляхом підбору рецептів та параметрів ОВ a та b , параметрів скрутки ВОМС для необхідної довжини хвилі досягається виконання умови (20), в такому випадку має місце 100 % перетік потужності незвичайної хвилі з ОВ a в ОВ b на ділянці $Z_{зв}$. На рис. 8 а) представлено графік залежності лівої частини першого рівняння умови (20) від глибини зтісування ОВ, на рис. 8 б) – графік залежності правої частини даного рівняння. Параметри ОВ a : однорідне 100 % SiO_2 , радіус – 62,5 мкм, крок скрутки ВОМС – 1480 мкм; параметри ОВ b : ступеневе, серцевина – 13,5 % GeO_2 , 86,5 % SiO_2 , оболонка – 13,3 % B_2O_3 , 86,7 % SiO_2 , радіус серцевини – 2,5 мкм, радіус оболонки – 62,5 мкм. Довжина хвилі – 1,55 мкм.

Як видно з рис. 8 залежність C_{ab} від d_{zp} має нелінійний характер, експоненційно зростає при наближенні глибини зтісування до радіуса модового поля ОВ b . В даному випадку не відбувається виконання умови (20), оскільки, згідно проведених розрахунків, для повної перекачки потужності необхідно надати кроковий скрутки ВОМС $p_1 = 2... 30$ мкм (для виконання другого рівняння умови (20)), довжини ділянки $Z_{зв}$ при цьому не достатньо, щоб передати 100 % потужності з ОВ a в ОВ b .

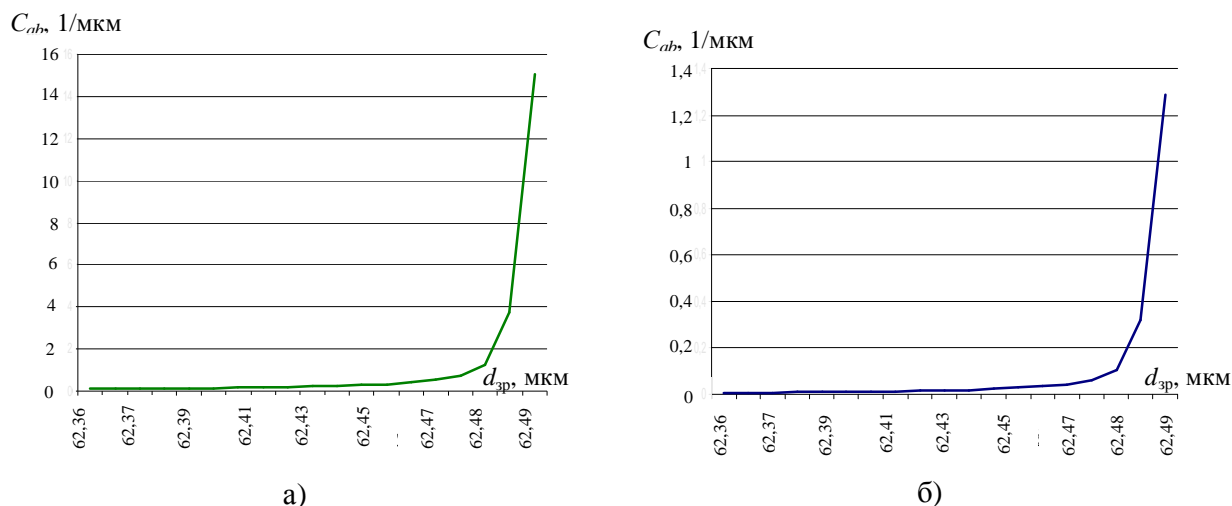


Рис. 8. Залежності: а) правої частини першого рівняння умови (20) від глибини зрізу; б) лівої частини першого рівняння умови (20) від глибини зрізу

Якщо взяти відношення правої частини першого рівняння (20) до лівої, і якщо дане відношення відмінне від 1 (не виконується умова (20)), а складає 0,5, в такому випадку має місце передача 50 % потужності незвичайної хвилі з ОВ a в ОВ b , якщо складає 0,25 – тоді 25 % і т. д. На рис. 9 представлено залежність даного відношення від глибини зтесування.

Як видно із графіка рис. 9, при $d_{zp} = 62,4$ відбувається передача четвертої частини потужності оптичного сигналу з ОВ a в ОВ b . Таким чином, можна організувати рівний розподіл потужності, наприклад, якщо задати відношення правої частини першого рівняння (20) до лівої рівним 0,25, розмістити паралельно ОВ з ВОМС чотири ізотропних ОВ, підібравши правильно d_{zp} та Z_{zv} , представляється можливим досягти на чотирьох виходах ізотропних ОВ чотири автономних сигнали з рівними потужностями.

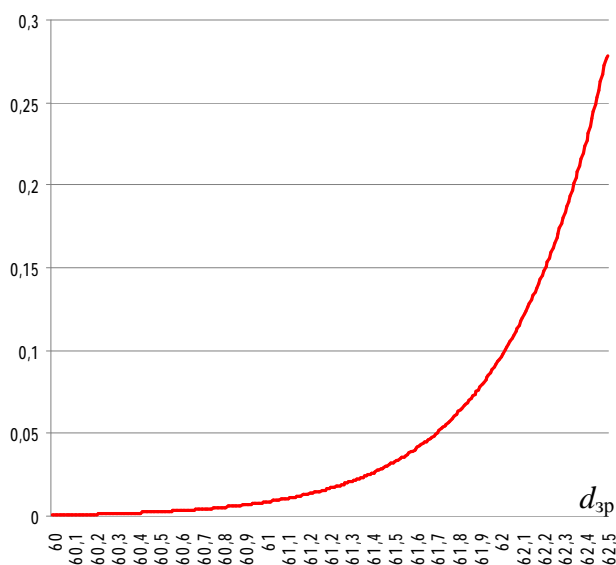


Рис. 9. Залежність відношення правої частини першого рівняння до лівої частини першого рівняння умови (20) від глибини зрізу

Висновок

За результатами проведеної роботи визначено наступне:

1. Розроблена методика розрахунку параметрів ОВ з ВОМС для передачі потужності оптичного сигналу шляхом електромагнітного зв'язку в ізотропне ОВ.
2. Встановлена умова повної передачі потужності з анізотропного фотопружного ОВ в ізотропне.
3. Отримані результати можуть бути взяті за основу при проектуванні направлених відгалужувачів ВОСП.

Література

1. А. с. Оптическое волокно, обеспечивающее поворот плоскости поляризации, и способ его изготовления / Макаров Т. В., Зазулин А. В. (СССР). – № 1812541, Бюл. № , 41, 1990.
2. Макаров Т. В. Волоконный световод с упорядоченной вращающейся микроструктурой стекла / Т. В. Макаров // Праці УНДІРТ. – Одеса, 1999. – № 2 (18).
3. 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– 28.
4. 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.
5. Интегральная оптика [под ред. Т. Тамира; пер. с англ. В. А. Сычугова, К. Ф. Шипилова]. – М.: Мир, 1978. – 344 с.
6. Корнейчук В.И. Оптические системы передачи / Корнейчук В. И., Макаров Т.В., Панфилов И.П. – К.: Техніка, 1994. – 388 с.

Надійшла 8.3.2011 р.

РЕАЛІЗАЦІЯ ПРИНЦИПІВ КВАНТОВОЇ ТЕОРІЇ ВИМІРЮВАНЬ АМПЛІТУДНИХ ПАРАМЕТРІВ СИГНАЛІВ НА ПРИКЛАДІ АТЕНЮАТОРА-ПОДІЛЬНИКА ТРОЦИШИНА

Стаття присвячена демонстрації одного із положень Квантової теорії вимірювань (КТВ) стосовно збільшення роздільної здатності і швидкодії АЦП-ЦАП на прикладі використання Атенюатора – подільника Троцишина. Приведено методологію та системний аналіз досягнутих в 10-100 разів збільшення роздільної здатності ЦАП та наведено їх графіки передавальних характеристик для типових значень двійкової шкали. Вказано на тісний зв'язок із аналогічними результатами отриманими в Теорії фазочастотних вимірювань.

Article is devoted to demonstrating one of the provisions of the quantum theory of measurement for increased resolution and speed ADC-DAC for example using pad-divider Trotsyshyna. The methodology and system analysis reached 10-100 times increase in resolution DAC and see their schedules transmission characteristics for typical values of the binary scale. Specified in close contact with similar results obtained in the theory fazofrequency measurements.

Ключові слова: квантова теорія вимірювань, атенюатор-подільник Троцишина, збільшення роздільної здатності ЦАП.

Вступ

Радикальний перегляд картини світу, початий фізиками в перші десятиліття минулого століття, і бурхливий розвиток обчислювальної техніки й інформатики останнім часом стали основними факторами, що визначили історію розвитку теорії вимірювання. Розширення й уточнення поняття вимірюваної величини в результаті вивчення мікросвіту і впровадження вимірювань в область дослідження нефізичних величин (економіка, соціологія, психологія, системотехніка й ін.), а також істотні особливості досліджуваних у сучасній фізиці і техніці явищ (швидкоплинні процеси, випадкові процеси і поля, багатомірні детерміновані та випадкові величини і т.д.) поряд з ускладненням процесів їхнього вимірювання і підвищенням вимог до точності та швидкодії процедури вимірювання стали могутнім стимулом для виникнення і розвитку нових концепцій на фундаментальному і на прикладному рівнях теорії вимірювань та метрології. Тому питання пошуку розробки, а особливо впровадження у наукове та інженерне середовище новітніх методів вимірювання, які базуються на нових концептуальних засадах є актуальним, і має свої специфічні особливості. Якщо перші дві складові в цілому залежать від дослідника то на стадії визнання нового – все залишається по старому, що і є актуальним питанням сучасної науки.

Вимірювання як важлива складова пізнання світу.

З древніх часів і до наших днів вимірювання як один зі способів пізнання відіграють важливу роль у житті людини. Спочатку людина у своїй повсякденній діяльності задовольнялася інформацією, що доставляється лише його органами почуттів, а потім залучила їм у допомогу засоби вимірювальної техніки. Метою вимірювання є одержання кількісної інформації про величину досліджуваного об'єкта, під яким розуміються реально існуючі об'єкти (речі, процеси, поля, явища і т.д.) матеріального світу, а також взаємодії між ними. Вимірювання може виконуватися як у пізнавальних (вивчення елементарних часток, організму людини і т.д.), так і в прикладних (керування конкретним технологічним процесом, контроль якості продукції) задачах.

Існує тісний взаємозв'язок між науково-технічним прогресом і досягненнями в області вимірювань і вимірювальної техніки. Важливою складовою частиною більшості науково-дослідних робіт є вимірювання, що дозволяють установити кількісні співвідношення і закономірності досліджуваних явищ. Важливість вимірювань у досягненні наукових результатів неодноразово відзначалася відомими вченими: "Треба вимірювати усе вимірне і робити вимірним те, що поки не піддається вимірюванню" (Галілео Галілей); "Наука починається з тих пір, як починають вимірювати; точна наука немислима без міри" (Д.І. Менделєєв) [1– 4].

Будь-яке сучасне виробництво повинне бути оснащено вимірювальними засобами, що дозволяють здійснювати точний і об'єктивний контроль технологічного процесу. Від цього залежать рівень якості продукції і продуктивність. В автоматизованому виробництві своєчасне одержання необхідної достовірної вимірювальної інформації є однією з найважливіших умов якісного керування об'єктом регулювання. З іншого боку, розвиток і удосконалювання технологічних процесів в області одержання нових матеріалів і елементів створюють можливості для удосконалювання і створення принципово нових засобів вимірювальної техніки.

Прогрес в області вимірювань і вимірювальної техніки немислимий без розвитку теорії вимірювань ("Немає нічого більш практичного, чим гарна теорія!") В основі будь-якого вимірювального процесу, незалежно від виду об'єкта вимірювання, вимірюваної фізичної величини, принципу вимірювання, способу обробки інформації і т.п., лежать ті самі закономірності. Дослідженню цих закономірностей, задачам оптимізації вимірювального експерименту при різних умовах вимірювань і впливах присвячені основні розділи теорії вимірювань, що викладаються мовою всіх теорій – мовою математики. Причому точний опис

вимірювальних процедур спирається на коректне визначення мети й особливостей вимірювань. У цьому знаходиться своє вираження алгоритмізація вимірювань, коли змістовний опис процедур і результатів замінюється формалізованим.

Сутність і особливості вимірювального процесу та процедури вимірювань

Поняття "вимірювання фізичної величини" згідно РМГ 29-99 [1] визначається як «сукупність операцій по застосуванню технічного засобу, що зберігає одиницю фізичної величини, що забезпечують перебування співвідношення (у явному чи неявному виді) вимірюваної величини з її одиницею й одержання значення цієї величини».

Існують інші формулювання поняття "вимірювання" [3], "Вимірювання є процес одержання інформації, що полягає в порівнянні дослідним шляхом вимірюваних і відомих величин чи сигналів, виконання необхідних логічних операцій і представлення інформації в числовій формі".

У роботі [4] дане ще одне визначення: "Вимірювання – одержання числового еквівалента (значення) величини, що характеризує властивості фізичного об'єкта (предмета, процесу, явища), за допомогою експерименту (дослідним шляхом), що задовольняє вимогам системи забезпечення єдності вимірювань, основу якого складає операція порівняння аналогової величини зі зразковою (значенням міри)".

Вимірювання можуть підлягати не тільки фізичні величини, але і функціональні залежності, що характеризують властивості об'єкта вимірювання. У цьому випадку проводяться або вимірювання при фіксованих значеннях аргументу (частіше часу чи просторових координат), або вимірювання функцій за допомогою міри, що відтворює зразкову залежність.

Способи опису вимірювальних процедур і результатів вимірювань

Найчастіше для опису використовують рівняння вимірювань, що встановлює зв'язок результату вимірювання з вхідним впливом і виконуваними перетвореннями, що можуть бути аналоговими (позначимо символом R_a), аналого-цифровими (K) і цифрового ($R_{\#}$).

Залежно від якості апаратної реалізації прийнятого алгоритму перетворення можна розділити на неідеальні (позначимо індексом n при відповідному символі форми перетворення) і ідеальні (без індексу). Якщо прийнятий алгоритм перетворення, що дозволяє при ідеальній апаратній реалізації одержати результат вимірювання у вигляді істинного значення вимірюваної величини, то таке перетворення називають гіпотетичним (γ), залежно від якості алгоритмів перетворення рівняння вимірювань може бути представлене в трьох модифікаціях [4]:

- рівняння вимірювань, що враховує неадекватність апаратної реалізації прийнятого алгоритму,

$$X_i^* = R_{\#}^n K^n R_a^n g_i, \quad (1)$$

де X_i^* – результат вимірювання, одержуваний за допомогою i -го вимірювального експерименту;

g_i - вхідний вплив;

- рівняння вимірювань, що представляє собою прийнятий алгоритм,

$$X_{ij}^* = R_{\#} K R_a g_i, \quad (2)$$

де X_{ij}^* – результат вимірювання, отриманий при ідеальній реалізації прийнятого алгоритму;

- рівняння вимірювань, що представляє собою істинне значення вимірюваної величини X_j (гіпотетичний алгоритм),

$$X_j^* = R_{\#}^c K^c R_a^c g_i. \quad (3)$$

Особливе місце займає аналого-цифрове (А-Ц) перетворення, у ході якого здійснюються три операції: квантування, порівняння з мірою, дискретизація. Остання з них зв'язана з тим, що кожне цифрове значення співвідноситься з фіксованим моментом часу, або з фіксованими просторовими координатами. Якщо має місце дискретизація за часом, то перехід від безупинної функції $j(t)$ до дискретної послідовності, реалізованої за допомогою дельта – функції $d(t)$, може бути описаний у такий спосіб:

$$j(t) \rightarrow \{j(t_i)\} = \left\{ \int_T j(t) d(t-t_1) dt \right\}, t \in T, \quad (4)$$

де T – час спостереження.

Після рівномірного квантування з кроком Δ_{kj} послідовність дискрет $j(t)$ перетвориться в послідовність чисельних значень:

$$\{K(t)\}_{i=1}^m = \left\{ E \left[\frac{1}{\Delta_{kj}} \int_T j(t) d(t-t_1) dt \right] \right\}, \quad (5)$$

де E – діапазон вимірювання.

Враховуючи, що операція ідеального аналого-цифрового перетворення є достатньою для процедури

вимірювання фізичних величин, і враховуючи наявність класичних для цього випадку методичних і інструментальних похибок [5], вважаємо за доцільне поглибити пошук саме в питанні неадекватності математичних моделей і математичних положень, які лежать в основі нових поглядів на сутність речей. Тому актуальним буде наведення декількох прикладів саме таких принципових речей.

Атенюатор-подільник Троцишина і класичний подільник Кельвіна

Типовим прикладом який характеризує можливість отримання принципово нових якісних і особливо кількісних параметрів виміральної шкали є порівняння класичного подільника Кельвіна [5], і використання всіх можливих (квантових) станів того ж таки подільника (резисторного ланцюга), який отримав назву Атенюатор-подільник Троцишина (АПТ). На рис. 1.2 приведено їх схеми для наглядного прикладу ланцюга із 8-ми резисторів однакового номіналу.

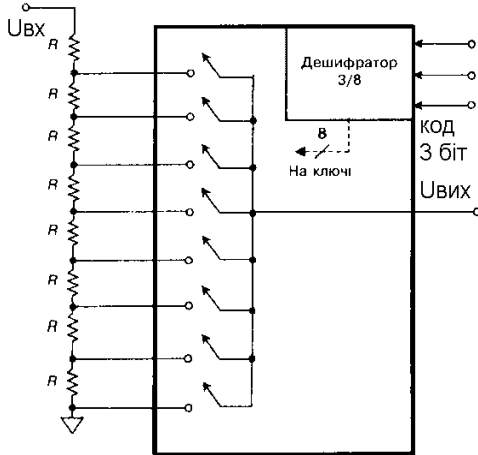


Рис. 1. Подільник Кельвіна

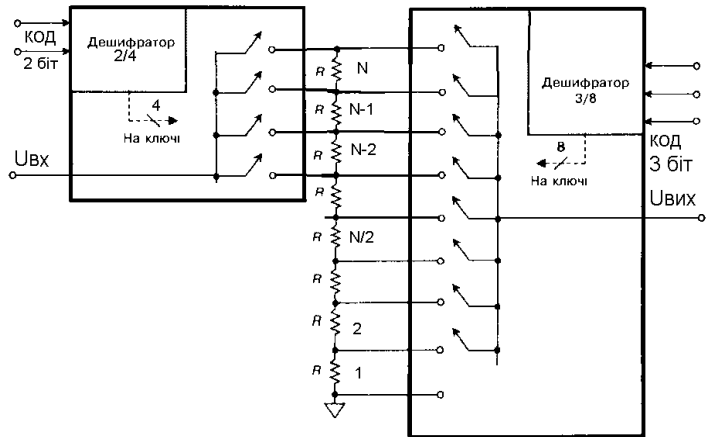


Рис. 2. Схема Атенюатора-подільника Троцишина для 8R

Найпростішою зі всіх структур ЦАП де можливо провести порівняння є подільник Кельвіна, або цуг, показаний на рис. 1. N- розрядна версія цього ЦАП складається з 2^N однакових послідовно з'єднаних резисторів і 2^N ключів (зазвичай КМОП), по одному між кожним вузлом ланцюга і виходом. Вихід організується замиканням одного з ключів, підключених до відповідного відгалуження. Ідея цього ЦАП сходить до часів лорда Кельвіна середини 1800-х років. Ця проста архітектура використовує вихід по напрузі (у якого вихідний імпеданс залежить від коду) і відрізняється хорошою монотонністю. Навіть якщо резистор буде випадково закорочений, сигнал на виході і не перевищить сигналу і + 1-го виходу. При рівності всіх резисторів цей АП має лінійну шкалу. Однак він без праці може бути виконаний нелінійним, якщо буде потрібно нелінійний ЦАП. У зв'язку з тим, що в момент перемикання працюють тільки два ключі, в такій архітектурі рідко відбуваються викиди. Крім того, оскільки викиди не залежать від коду, ЦАП підходить для застосувань, розрахованих на малі спотворення сигналів.

Основний недолік ЦАП подільника (Кельвіна) полягає у великому числі резисторів і ключів, необхідних для досягнення високої роздільної здатності (ступенів перетворення). З цієї причини він не ставився до широко використовуваних ЦАП з простою архітектурою до приходу мініатюрних ІС, відкрили його практичність для ЦАП низької і середньої точності. Сьогодні ця архітектура досить широко застосовується в простих ЦАП, таких як цифрові потенціометри, і, є компонентом більш складних структур ЦАП високої роздільної здатності [5].

Завданням розробленого методу є збільшення роздільної здатності подільника (кількості квантованих значень шкали перетворення) і розширення функціональних можливостей шляхом адаптивного вибору характеристики перетворення.

Завдання вирішується шляхом побудови Атенюатора-подільника Троцишина (АПТ), який полягає у використанні кодуєваної комутації точок проміжних з'єднань лінійки N послідовно з'єднаних резисторів однакового номіналу, в якій на верхній (крайній вивід лінійки резисторів) подається вхідна напруга, а нижній (крайній вивід лінійки резисторів) підключено до спільного виводу атенюатора-подільника (подільника Кельвіна), відрізняється тим що, для збільшення кількості квантованих точок вихідних значень шкали АП, до значень більших за N (подільника Кельвіна), вхідний сигнал кодуєвано подається на виводи (точки з'єднання) починаючи з верхньої N і наступних вниз до N/2, при цьому комутація вхідної напруги на верхній вивід N реалізує класичну шкалу перетворення із N значеннями, а використовуючи наступні проміжні точки N-1 і до N/2 отримуємо, окрім наявних N, ще додаткові квантовані значення шкали перетворення

$$N_i = \text{mod}_{\leq 1,000} \left\{ \frac{A_j}{B_k} \right\}, j, k \in 1 \div N, \tag{5}$$

схема АПТ для випадку N=8 резисторів приведена на рис. 2. Робота методу полягає в послідовній комутації

стану АПТ згідно послідовних значень шкали перетворення яку забезпечують вхідний і вихідний комутатори, згідно заданого алгоритму режиму комутації.

Для порівняння проведемо розрахунки кількості квантованих значень шкали перетворення для класичних схем подільника Кельвіна і атенюатора-подільника Троцишина (АПТ), для типових значень кількості резисторів (однакової для обох схем). В таблиці наведено типові значення параметрів АП Кельвіна і АПТ та їх порівняльні співвідношення.

Таблиця 1

Порівняльні характеристики АПТ і АП Кельвіна

Кількість резисторів NR (N АП Кельвіна)	2	4	8	16	32	64	128	256	1024
Кількість квантованих точок шкали АПТ	2	6	22	80	324	1260	5022	19948	318964
Приріст квантованих значень	0	2	14	64	292	1196	4894	19692	317940
Виграш	1	1,5	2,75	5	10,125	19,69	39,08	77,92	311,5

Вигляд шкали перетворення АПТ для 8 резисторів (8R) в нормованих значеннях приведено на рис. 3. В той же час, для тієї ж кількості 8R для випадку шкали перетворення подільника Кельвіна, отримаємо класичну шкалу яка зображена на рис. 4.

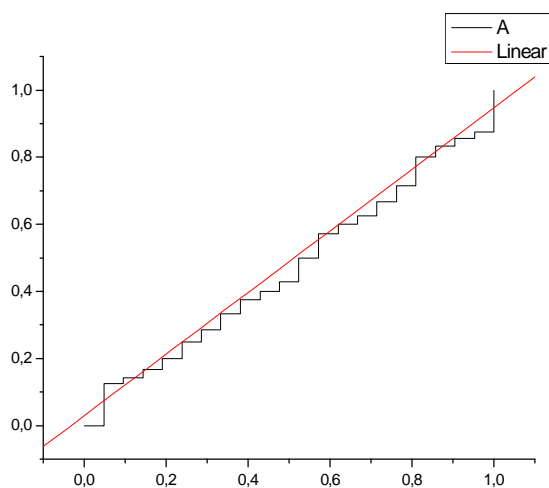


Рис. 3. Квантова шкала перетворення АПТ_8R

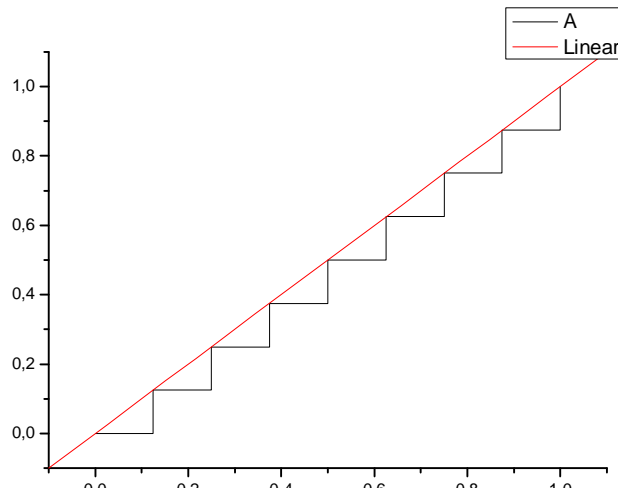


Рис. 4. Квантова шкала перетворення АП Кельвіна_8R

Очевидним є істотне збільшення роздільної здатності шкали перетворення і має виграш (Табл.) всього 2,75 рази, в той же час уже при АПТ_16R, виграш складе 5 разів (80 поділок шкали замість 16!!), які показано у збільшеному масштабі на рис. 5.

Рівняння квантової шкали перетворення можливо записати як:

$$N_i = \text{mod}_{\leq 1,000} \left\{ \frac{A_j}{B_k} \right\}, j, k \in 1 \div N, \quad (6)$$

яке для випадку АП Кельвіна матиме вигляд:

$$N_i = \text{mod}_{\leq 1,000} \left\{ \frac{N_i}{2^n} \right\}, i \in 1 \div N, \quad (7)$$

тобто є лише частковим випадком АП Троцишина.

Враховуючи, що для невеликої кількості резисторів виграш не є великим, в той же час вже при 16R він вже складає 5 разів, і для наглядності значного покращення нерівномірності та лінійності характеристики АПТ_16, її графік приведено на рис. 5.

Після таких вражаючих результатів уже при досить незначних кількостях розрядів двійкової шкали, очевидним є те, що лише в рамках КТВ можливо досягнути використання всіх наявних квантованих значень шкали, тоді як класична шкала використовує лише двійкові значення і відкидає значно більшу кількість із всіх можливих.

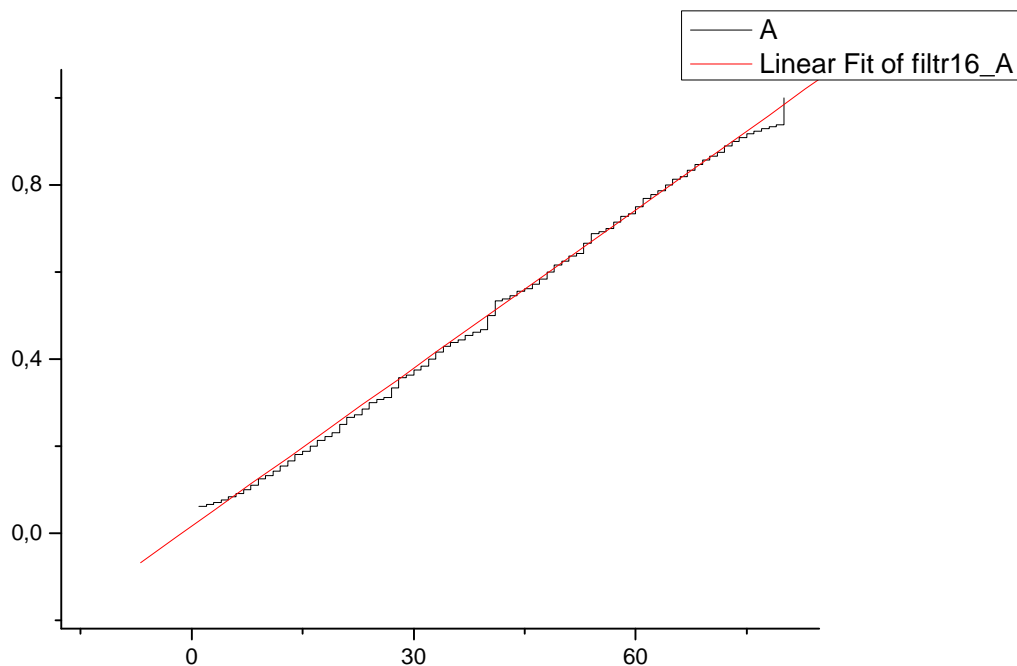


Рис. 5. Квантова шкала перетворення АПТ_16R

Помилки в теорії пізнання та шляхи їх подолання.

Людство, з тих пір, як породжено, біжить без оглядки, як йому здається, по вірному шляху. Але, непогрішних – немає, і часом усе-таки потрібно зробити зупинку, щоб оглянутися назад, критично оцінити і переосмислити досягнуте. І якщо з висоти прожитих цивілізацією років будуть виявлені помилки, то, мабуть, щоб не потрапити на тупикову колію розвитку, на дорогу в нікуди, необхідно їх усунути.

Природно, що кожен учений бажає признання своїх праць, якнайшвидшого впровадження їх у практику життя. Але, удається це тільки тим, хто розвиває науку, рухаючи вперед. Для тих же, хто помічає наукові помилки, справа обстоїть зовсім по-іншому. І тут на арену виступає безліч факторів. Спробуємо розібратися.

Суб'єктивний фактор

Найпершим способом боротьби зі спробами переосмислення устояних положень науки є спосіб умовчання, за принципом: "Ніхто нічого не бачить і не знає". А раз немає розмови, немає і проблеми. Якщо цей спосіб не допомагає, то в силу кастової (цехової) солідарності визнані авторитети дають різкі відповіді "ревізіоністам". У слова можна наділити що завгодно, тому спочатку в хід йдуть "наукові" спростування. Коли не удається виправдати догму з наукового погляду, у хід йде вплив на особистість інодумця, типу: "А хто ти такий?" чи "А хто тебе знає?". Далі можлива кампанія по відвертому шельмуванню інакомислячого.

Під замовчуванням мається на увазі, що варто тільки дозволити підірвати довіру до такої-то науки, особливо з розряду точних, як математика, як автоматично не буде довіри і до її маститих і заслужених авторитетів.

Другим невисловленим мотивом відкидання нових істин стає усвідомлення марності свого наукового внеску, розуміння, що усе своє життя витратив на розробку псевдонаукової чи тупикової колії, гіркоту від втрати свого імені в науці зараз чи у майбутньому, – усе це, звичайно ж, переноситься особливо болісно. Коли ж, у силу очевидності проблеми, позначені кроки не допомагають, включаються важелі об'єктивного фактора.

Об'єктивний фактор

Цей фактор дійсно значимий, і просто так від його питань не піти, а це: "Ви знаєте, у що і в скільки обійдеться переоцінка такого-то наукового положення?"

Усі ці міркування дозволяють зробити один-єдиний висновок – ціна питання в майбутньому буде незмірно вище; можна виразитися і жорсткіше: як за допомогою поганого інструмента неможливо створити високоякісний виріб, так і допомогою помилкового математичного інструментарію ми приходимо тільки до помилкових посилок, що змушені розвивати далі, усе більш і більш занурюючи в дезінформаційну безодню; і наступне – не можна розвиток цивілізації доводити до кризової тупикової точки, коли вже ніякі ліки не допоможуть вилікувати хворобу.

Як резюме: проблему все рівно прийдеться вирішувати.

Нове питання: "Наскільки відомо, так це питання не ставилося. І хто ж повинний приймати рішення, керувати процесом? Яким повинне бути поле рішення? Чи були прецеденти?"

Відхід з тупикового, помилкового шляху розвитку – питання концептуальне, що стосується всієї людської цивілізації. Одночасно – це питання безпеки України від зовнішніх зазіхань.

Чи можуть вироблятися необхідні перетворення в окремо узятій країні? Звичайно, можуть і повинні, – рішення будь-якої складної задачі завжди починалося з іспитового полігона; рішення ж, здобуваючи

винятково політичний характер, повинне прийматися на рівні керівництва країни з урахуванням усіх факторів: міжнародної підтримки, безпеки, економічної потужності держави, наукового потенціалу, менталітету і рівня освіченості населення.

Прецеденти були, хоча і не такого значимого обсягу, це: становлення нових релігій, зміна календарів літочислення, приведення до міжнародної однаковості систем мір і ваг, на кінець – до схем і правил руху транспорту.

Тут необхідно відзначити: перший, хто вирішить цю задачу, отримає величезний потенціал для наступного прискорення розвитку своєї країни, залишивши далеко позаду всіх інших.

Так виглядає філософія питання, що розглядається, і для продовження дослідження розглянемо деякі визначення із сфери математичного аналізу які лежать в основі опису теорії вимірювань та вимірювальних приладів.

Деякі особливості математичного аналізу важливі для метрології

В основі теорії Дедекінда лежить деяке твердження, що вважається настільки елементарним, що приймається без обговорення: *між будь-якими двома раціональними числами x_1 і x_2 завжди знайдеться третє*. Як наслідок – між x_1 і x_2 завжди укладена нескінченна безліч раціональних чисел. Тому що будь-якому числу можна зіставити точку на числовій осі, то, по суті, перед нами твердження про безперервність простору, про можливість його розподілу на як завгодно малі відрізки.

У дійсності, якщо ми спробуємо зробити це експериментально, то перед нами виникнуть визначені труднощі, пов'язані із роздільною здатністю вимірювальних приладів.

На початку, якщо ми візьмемо механічні прилади, лінійки, штангенциркулі, мікрометри, то ми буде обмежувати роздільну здатність шкал, цих вимірювальних приладів. Точність вимірювання довжини не може перевищувати половини розрізнення шкали приладу. Якщо ми скористаємося мікроскопом, то обмеження виникнуть через хвильові властивості світла. Замість точки у фокальній площині об'єктива виникне складна дифракційна картина, обмежує роздільну здатність приладу. Якщо ми станемо зменшувати довжину хвилі світла, то буде рости енергія світлових квантів, і при достатній енергії підуть різні процеси народження елементарних часток. Зрештою ми впремося в так звану фундаментальну довжину I_F яка, за різними представленнями, може бути порядку 10^{-17} см чи 10^{-33} см, див [4].

Таким чином, якщо ми слідом за Гілбертом вважаємо, що геометрія є частиною фізики, то ми повинні відмовитися від аксіоми про нескінченну подільність відрізка, замінивши її аксіомою про існування відрізків настільки малих, що їх уже неможливо поділити на менші частини.

Що відбудеться з математикою при введенні такої аксіоми.

По-перше: зникне розподіл чисел на раціональні й ірраціональні, а останні, на алгебраїчні і трансцендентні. Усі числа можна буде представити в десятковому вигляді

$$a_k 10^k a_{k-1} 10^{k-1} \dots a_1 10^1 a_0 10^0 \dots a_{-1} 10^{-1} \dots a_{-r} 10^{-r} \pm b 10^{-r} \quad (8)$$

де a і b – натуральні числа 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, а v – точність представлення числа. Без обмеження спільності v можна покласти рівним 5.

По-друге: усі нескінченні множини будуть мати потужність рахункової множини, якщо вони самі збережуться, що неочевидно. І По-третє: зникне операція граничного переходу.

Як впливає з вище викладених відомих і очевидних проблем математичного аналізу для метрології саме в цих визначеннях є раціональне зерно, яке для вимірювань формально виражається поняттям вимірювальної шкали, тому без пристрасного розгляду цього питання будь які розмови, про принципи зрушення, саме у теорії і практиці вимірювань, достеменно щось говорити неможливо.

Вимірювальні шкали, короткі визначення та особливості використання.

Шкала порядку. Порівняння за принципом "більше-менше" (чи "дорівнює") приводить до *шкали порядку*. Це найменш інформативна шкала. Проте вона знаходить застосування на практиці. Забезпечення єдності вимірювань по шкалах порядку вимагає стандартизації і ретельній ідентифікації реперних крапок.

Шкала інтервалів. Порівняння за принципом "на скільки більше (менше)" приводить до *шкали інтервалів*. Це вже більш інформативна шкала, і цілком природно, що вона знаходить більш широке застосування. Забезпечення єдності вимірювань по шкалах інтервалів вимагає фіксації і законодавчого закріплення початку відліку.

Шкала відношення. Порівняння за принципом "у скільки разів більше (менше)" приводить до *шкали відношення*. Це сама інформативна шкала, отримали найбільш широке розповсюдження. Забезпечення єдності вимірювань по шкалах відношення вимагає централізованого чи децентралізованого відтворення одиниць фізичних величин і передачі інформації про їхні розміри засобом вимірювань.

Фактори, що впливають на результат вимірювання. На результат вимірювання впливає безліч факторів, точний облік яких неможливий, а підсумок непередбачений. Загальне відношення до факторів, що впливають, можна сформулювати в такий спосіб: до вимірювання їх потрібно по **можливості виключити**, у процесі вимірювання – **компенсувати**, а після вимірювання – **врахувати**.

Результат вимірювання. Непередбачуваність підсумкового впливу факторів, що впливають, на результат вимірювання знаходить своє відображення у *формулюванні третьої аксіоми метрології*, яку

можна розглядати як наслідок чи прояв загального закону природи, що складає в тім, що **всі реальні події мають стохастичний характер.**

Випадковий характер мають результати вимірювань, представлені на кожній із трьох вимірювальних шкал. Усі вони справедливі з тією чи іншою імовірністю. На градуїзованій шкалі **результат вимірювання, наприклад, ні при яких обставинах не може бути представлений одним числом.** Найбільше повно він характеризується масивом експериментальних даних з *рівноточними* чи *нерівноточними значеннями відліку.*

Але більш гнучким і універсальною є цифрове чи кодове представлення даних. Дані, у цьому випадку, представляються цифрами, буквами, іншими графічними символами, а також дискретними станами сигналів і пристроїв.

Сукупність правил, що дозволяють зіставити системі об'єктів з їхніми характеристиками систему цифрових чи даних систему чисел, називають **шкалою.** У теорії узагальнених вимірювань розрізняють кілька типів шкал. Типи шкал характеризуються наборами співвідношень, тобто еквівалентності й упорядкування.

Масштабні шкали

Масштабна шкала (шкала відношення, чи пропорційна шкала). З погляду співвідношень тут діють еквівалентність, строге упорядкування станів, інтервалів між ними і часток від розподілу станів. Шкала повинна мати не умовний, а природний нуль. Тоді між станами можливо адитивне відношення, тобто можливе додавання. Приклади шкал відношення: шкала довжини, маси, електричної напруги і т.д.

Натуральні (абсолютна) шкали

Цим шкалам властиві будь-які відношення, аналогічні відношенням чисел. Тут немає ні реперних точок, ні еталонних інтервалів. Мова йде про вимірювання відносних величин (у природних одиницях), а також про процедуру підрахунку. Підрахунок деталей, підрахунок числа імпульсів, підрахунок людей і т.д. Вимірювання відносних величин: коефіцієнта підсилення, коефіцієнта розподілу, емпіричної імовірності і т.д.

Вимірювання і шкали

Вимірювання – установлення відповідності між безлічами об'єктів і безліччю "стандартних моделей об'єктів", що і складають вимірювальну шкалу. Терміни "вимірювання" і "шкалювання" вживаються як синоніми. Вимірювання і шкали є інструментами формалізації й узагальнення емпіричних спостережень.

Властивості шкал визначаються відносинами, заданими на безлічі стандартних моделей шкалюємих об'єктів. Визначеним типам шкал відповідають різні правила, що обмежують можливі операції зі стандартними моделями об'єктів, способи обробки результатів вимірювання і їхніх інтерпретацій. Формальне обґрунтування й аналіз властивостей шкал різних типів приведені в роботі [14].

Важливо, що в ряді шкал – найменувань, порядку, інтервалів, відносин – збільшується потужність шкал: якісні вимірювання змінюються кількісними, зростають можливості оцінки властивостей об'єктів, розходжень і відносин їхніх властивостей, застосування арифметичних операцій, статистичних мір і критеріїв, розширюються межі інваріантності вимірювань. **Більш могутні шкали мають усі можливості шкал менш могутніх, що зв'язує всі шкали в єдину систему вимірювань.**

Введення метрики поділяє шкали на неметричні шкали (номінальну і порядкову) і метричні (шкали інтервалів і відносин).

Шкала відношення. Шкала відношення відрізняється від інтервальної шкали введенням "природного", чи абсолютного нуля, якому відповідає повна відсутність вимірюваної властивості. Якщо область визначення значень шкали відносин позитивна, то її називають позитивною шкалою відносин. Усі припустимі перетворення для шкали відношення вичерпуються функціями виду $f(x) = kx$; ($k > 0$), що вказує на найвищі можливості шкали відносин як інструмента узагальнення [4].

Шкала відношення, як найбільш могутня, підсумовує всі можливості, якими володіють менш могутні шкали найменувань, порядку й інтервалів. На ній визначені відносини еквівалентності, рівності, порядку, функції метрики і відстані. На шкалі відношення можна визначити рівність і ранговий порядок величин, рівність інтервалів і відносин між величинами. Можливість оцінки відношення величин – найбільш важлива відмітна риса цієї шкали, що визначила її назву.

Відомі приклади шкали відношення: маси, довжини; температурна шкала Кельвіна. Вони представляють зразки позитивних шкал відношення. На шкалі відношення визначені всі арифметичні операції, і до її значень можуть бути застосовні будь-які статистичні процедури.

Деякі особливості застосування шкал

В ідеалі варто прагнути використовувати шкали відносин. Однак у реальному дослідженні ці вимоги зм'якшуються: варто віддавати перевагу найбільш могутнім шкалам з тих, котрі застосовні до конкретних даних. Вибір шкали повинний відповідати як вимірюваним показникам, так і цілям і задачам дослідження.

Принципи та методи теорії ФЧВ і ПР

В рамках започаткованого мною нового наукового напрямку, мною особисто та моїми учнями, сім із яких вже успішно захистили кандидатські дисертації за новим науковим напрямком, та під моїм керівництвом, (спец. 05.11.08 – радіовимірювальні прилади, дві дис. 2001р, 2005 Вінницький НТУ, спец. 05.11.13 – прилади та методи контролю і визначення складу речовини, 2003, 2005 Київський НУТД, спец.

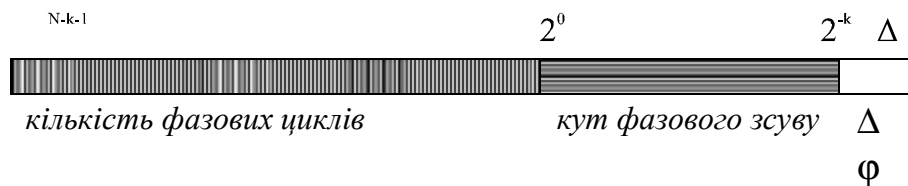
05.11.05 – прилади та методи вимірювання електричних та магнітних величин, 2004, НУ "Львівська політехніка, 05.02.01- математичні методи та моделювання " 2006, ТДТУ ім. Полкоя. м. Тернопіль,) [6-12], доведено, що в галузі вимірювання частоти та кута фазового зсуву використовуються моделі, які неадекватні до реальних сигналів, що не лише не дозволяє одночасно підвищувати точність та швидкодії вимірювань, а в багатьох випадках призводить до грубих помилок (промахів), які в рамках класичної теорії називають парадоксами.

В рамках розробленої теорії фазочастотних вимірювань та перетворень радіосигналів (ФЧВ і ПР), нам вдалося не лише довести неадекватність класичних підходів та моделей, але і запропонувати принципово новий – фазочастотний підхід, який не лише вільний від вказаних недоліків, а відкриває нові, досі невідомі можливості не лише в галузі вимірювань, а також теорії інформації, теорії сигналів тощо [13].

Коротко суть полягає в тому, що частота визначається як похідна від повної фази ($w(t) = d\Psi(t)/dt$), а всі вимірювальні прилади, реалізують алгоритми накопичення (тобто інтегрування),

що є операцію оберненою до знаходження похідної. Таким чином, очевидно що $d/dt \neq \int dt$, але десятки

років прилади вимірювали те, чого в принципі не існує в природі (частоту – група Ч, фазовий зсув – група Ф). На сучасному етапі виявилось, що навіть суперсучасні прилади, які мають високі метрологічні характеристики стрімко їх втрачають, коли час доступу до сигналу зменшується, або коли він апіорі невідомий, тим більше коли сигнали мають модуляцію – тобто є радіосигналами (або в трактуванні авторів – такими в принципі є всі реально існуючі сигнали). Класичний підхід пояснити ці явища не може, так як використовує ідеалізовані моделі (синусоїда від $-\infty$ до $+\infty$), що є абсолютною абстракцією, але лише для таких моделей $d/dt \cong \int dt$, і звідси всі проблеми.



Більше того, бажання використовувати спрощені моделі, зручні методи гармонічного аналізу, призвели до катастрофічної помилки саме в теорії вимірювань, коли єдину шкалу вимірювання Повного фазового зсуву (ПФЗ), було розділено на дві окремі: частотну (група Ч), і фазову (група Ф), які відображають в першому наближенні цілу та дрібну частину єдиної шкали. Таким чином, зрозуміло в чому причини та проблеми вимірювання саме фазочастотних вимірювань, а не вимірювання частоти та фази у класичному розумінні, яких для реальних сигналів не існує. Більш детально специфіку поняття «частота» стосовно радіосигналів наведено в [5,13– 16].

Але, як з'ясувалось, запропонована Теорія ФЧВ і ПР, яка базується на концепції фазочастотного підходу до проблеми вимірювання "частоти" та "фази" електричних сигналів виявилась навіть не "технологічним", а "ідеологічним" науковим напрямком у галузі вимірювальної техніки, а конкретно саме фазочастотних параметрів.

По-перше, ми не лише відмовилися від класичних уявлень, а і встановили і довели, що для реально існуючих сигналів (які об'єднано у загальний клас і названо радіосигналами), що мають початок і кінець, і всі вони мають принципові відмінності від ідеальної "синусоїди". Так, для них не існує поняття "частота" і "фазовий зсув", у їх класичному розумінні яке регламентується ГОСТами, ДСТУ, так як, ці параметри, як уже вказувалось, вводяться і "існують" лише для ідеальних сигналів (синусоїда без початку та кінця), а це є абсолютна ідеалізація. Тому, "частота" і "фаза" – реально не існують, і не можуть бути виміряні, для сучасних реальних сигналів, що наглядно демонструє простий приклад: жодним прецизійним частотоміром неможливо виміряти із зазначеною точністю приладу носійну мобільного телефону, навіть в активному режимі, тим більше в режимі чекання, аналогічні проблеми при вимірюванні параметрів ЧМС тощо.

Але нова теорія не відмовляється від "частоти" та "фазового зсуву", а встановлює причинно-наслідковий їх зв'язок та адекватне до реальних процесів визначення. Тому основу теорії ФЧВ і ПР складає твердження, що для реальних сигналів (радіосигналів) існує поняття повного фазового зсуву (ПФЗ) $\Psi(t)$, та похідної від нього ($d\Psi(t)/dt = w(t) = 2pf(t)$) – яка і є "миттєвою частотою", а аналізуючи поведінку зміни та екстремуми функції $\Psi(t)$ можна знайти всі відомі (а також нові) параметри як "частоти" так і "фази". Таке визначення не суперечить "класичним" визначенням, які будуть у нас граничним випадком, за умови що $\Psi(t) \in (-\infty \leq t \leq +\infty)$, а це вже ідеалізація.

Більше того, вимірювальні прилади, які ми розробили на основі нової теорії лише в самому крайньому випадку та при спрощенні схеми і функціональних можливостей дають відомі варіанти існуючих "класичних" методів та приладів, які є частковими випадками фазочастотного вимірювача [15, 16].

Теорія є завершеною, оскільки охоплює не лише аналіз (вимірювання), але також і синтез (формування та перетворення) фазочастотних параметрів радіосигналів. Наприклад на тому ж

технологічному рівні (швидкодії елементної бази, мікросхем) за рахунок зміни конфігурації (схеми прошивки) ми отримали синтезатори, які мають в два рази вищу вихідну частоту (а точніше секвентність), і менший фазовий ривок, (одночасно підвищено і швидкодію і точність).

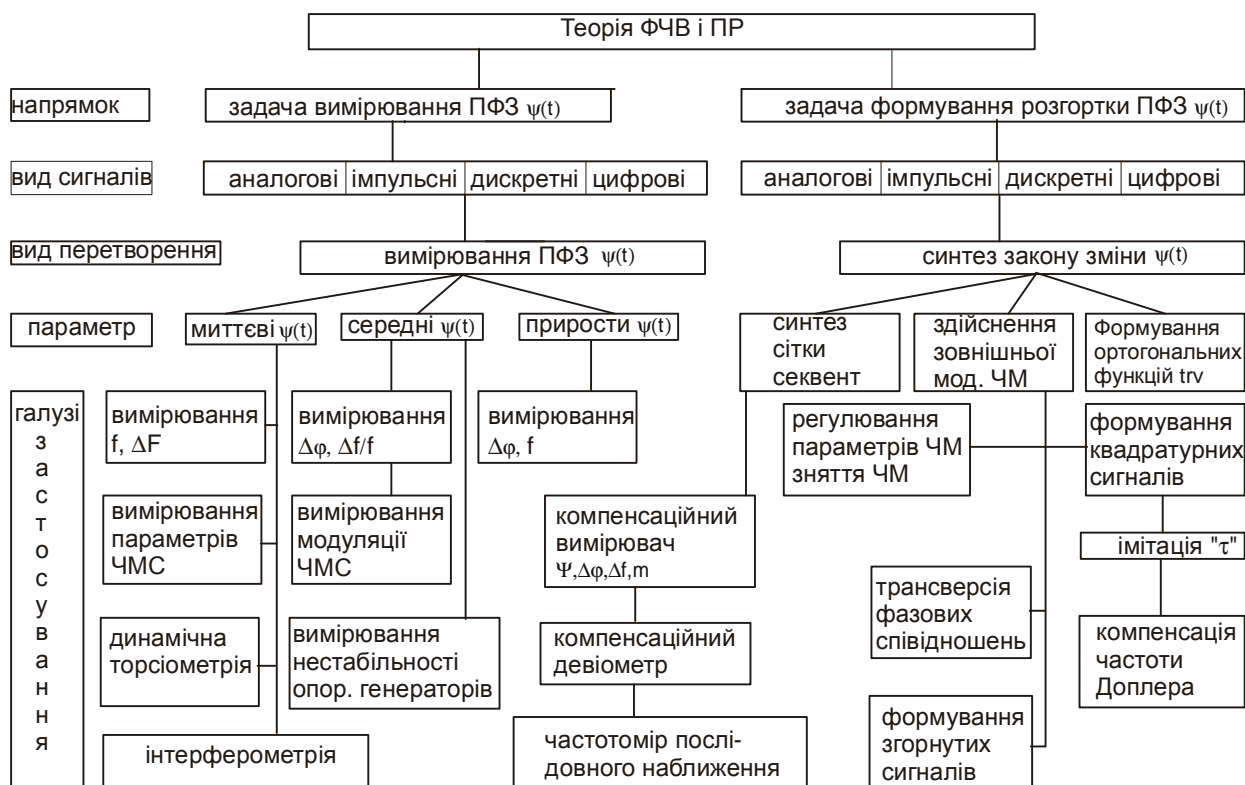


Рис. 6. Узагальнена класифікаційна таблиця основних напрямків застосування теорії ФЧВ і ПР [13].

Крім того, нами виявленні абсолютно нові властивості, які взагалі не можуть бути та існувати в рамках класичних уявлень, тобто можна говорити, що зона властивостей нової теорії у порівнянні із "класичною" має, так-би мовити, "комплексну компоненту", а її проекція на множину "дійсних чисел" дає "класичні системи". Тому потрібно дослідити які ще нові можливості криються за межами наших уявлень в галузі як вимірювання так і обробки радіосигналів тощо.

В теорії ФВЧ і ПР замість двох незалежних шкал (ціла частина – прилади групи Ч, і дробова частина – прилади групи Ф), використовується єдина шкала із раціональними числами, які окрім цілих включають і безмежну кількість проміжних (можливих) значень "дробових" (див. рис. шкали [13]).

Таким чином, для розрізнення сигналів із нашого прикладу не є необхідним чекати $T_{вим. min} \geq 1с$, а можливо за $T_{вим. min} \sim 1мс$, що на 10^3 разів швидше ніж в ЕРЧ [16], саме на це вказує теорія ФЧВ і ПР (рис. 7) [17].

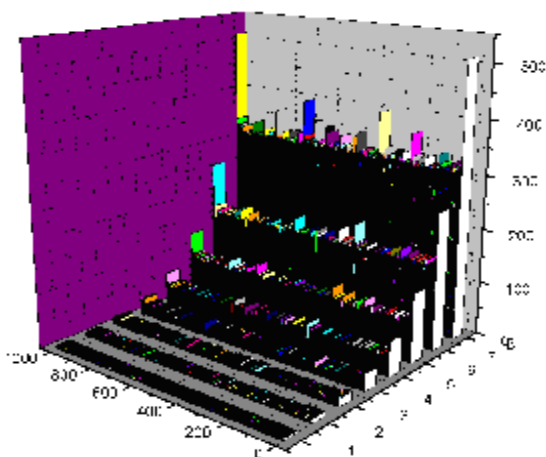


Рис. 7. Динаміка групування кількості "дробових поділок" в межах 1-1024 класичної шкали

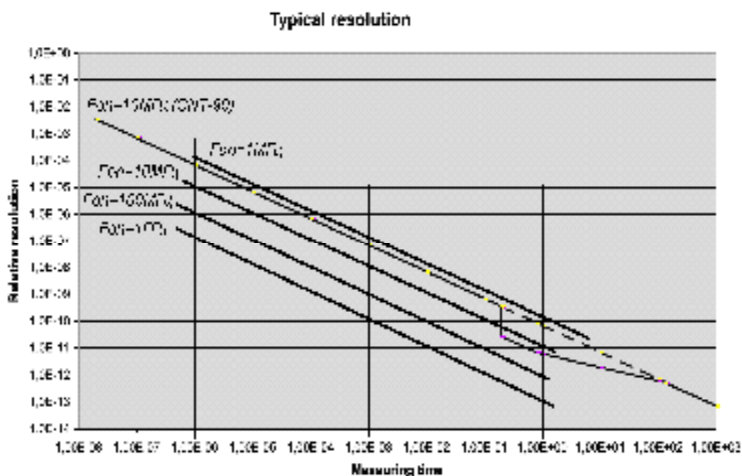


Рис. 8. Порівняння характеристик частотомірів коінцидентії із «найкращим у світі» частотоміром CNT-90

Для завершення і підтвердження єдиного джерела досягнутих результатів збільшення роздільної здатності як для АЦП-ЦАП так і Фазочастотних параметрів в рамках КТВ приведемо приклади зростання виграшу шкали коінциденції у порівнянні із класичною (рис. 7), а також порівняння роздільної здатності частотміра коінциденції і CNT-90 (який є «найкращим у Світі») рис. 8.

Виграш методу коінциденції над іншими відомими цифровими методами можливо оцінити як [18]:

$$B = \frac{d_{\text{фккласи}}}{d_{\text{фккоін}}} = \frac{3}{\left(\frac{2}{T_{\text{вим}} f_{\text{он}}}\right)^2} = \frac{3}{4} \cdot f_{\text{он}} T_c = \frac{3}{4} \cdot N_{\text{он}} = 3 \cdot 2^{n_{\text{он}} - 2}. \quad (9)$$

Вказаний аналітичний вираз оцінки виграшу у комплексному параметрі (точність вимірювання х швидкість вимірювання) показує таку ж функціональну залежність, яку ми спостерігали досліджуючи кількість поділок на шкалі вимірювання частотоміра коінциденції залежно від розрядності (значень) представлення результатів у лічильниках чисельника та знаменника

Дійсно, експериментальна робота, що підтверджує теорію, не викликає бажання в інших експериментаторів перевірити її результати ще раз. Її місце в оглядових статтях. Експериментатори згадують про неї тільки в тому рідкому випадку, якщо в теорії, що перевірялася, буде знайдений який-небудь дефект, якщо вона виявиться неповною чи помилковою.

Зовсім інша ситуація з публікацією, що спростовує теорію. Вона відразу ж одержує опозицію в особі авторів і прихильників теорії. Усі її дані і висновки безсумнівно будуть ретельно проаналізовані з метою виявлення можливої помилки. Більш того, така робота обов'язково буде пере перевірена незалежними дослідниками.

Як видно, публікація роботи, що спростовує теорію вимагає, узагалі говорячи, більш ретельних досліджень, більш високої кваліфікації дослідника і визначеної відваги, нарешті.

Висновки

Детальним розглядом принципів аспектів Квантової теорії вимірювань і особливо теорії вимірювальних шкал отримано беззаперечне підтвердження, що саме концепція фазочастотного підходу та отримання на її засадах дробово-раціональної шкали вимірювань є дійсно найвищим ступенем ієрархії як фазочастотних вимірювань, так і вимірювань амплітуди та інших параметрів взагалі.

Становлення і розвиток нового фазочастотного підходу для вимірювання частоти і Квантової теорії вимірювань потребує перегляду існуючого стану визначень в галузі метрологічних параметрів групи Ч, а також розроблення нових нормативних матеріалів, які б відображали сучасний рівень знань.

Співвідношення принципів та методології нової теорії та результатів її значимості для розвитку вимірювальної техніки, можна співставити як співвідношення геоцентричної та геліоцентричної систем, де очевидним є що всі можливості представлення та вимірювання параметрів реальної картини світу які є у першої можуть бути отримані також із другої, а навпаки ні.

Встановлено що при використанні методу коінциденції кількість квантованих значень шкали ЦАП-АЦП значно більша ніж прийнято використовувати у класичних двійкових перетворювачах.

Із збільшенням розрядності Атенюатора-подільника Троцишина роздільна здатність збільшується у степеневій залежності в порівнянні із подільником Кельвіна із однаковими кількостями резисторів. Виграш роздільної здатності АПТ при 1024 резисторах перевищує 300 разів, а шкала перетворення є досить лінійною

Література

1. Троцишин І. В. Вимірювання частоти електричних та радіосигналів: – ілюзії та реальність (чому та звідки беруться “парадокси” і шляхи їх усунення) / І. В. Троцишин // Матеріали V-ї міжнародної науково-технічної конференції “Метрологія та вимірювальна техніка” (Метрологія-2006). – Харків, 2006. – С. 35– 240.
2. Харкевич А. А. Спектри и анализ / А. А. Харкевич; [4-е изд.]. – М.: ГИ ФМЛ, 1962. – 236 с.
3. Финк Л. М. Сигналы, помехи, ошибки / Л. М. Финк; [2-е изд., пере раб. и доп.]. – М.: Радио и связь, 1984. – 256 с.
4. Орнатський П. П. Вступ до метрології науки про вимірювання / Орнатський П. П. – К.: Вища школа. 1994. – 149 с.
5. Кестер У. Аналого-цифровое преобразование / У. Кестер. – М: Техносфера, 2007. – 1019 с.
6. Пивовар О. С. Цифрові фазочастотні вимірювачі девіації частоти із підвищеною швидкодією та точністю: автореф. дис.... канд. техн. наук / ВДТУ. – Вінниця, 2001. – 16 с.
7. Любчик В. Р. Вимірювання частотних характеристик радіосигналами з прямокутною обвідною спектру: автореф. дис.... канд. техн. наук / ВДТУ. – Вінниця, 2001. – 16 с.
8. Петрушак В. С. Розробка фазочастотного методу та засобу для підвищення точності ротаційного віскозиметра: автореф. дис.... канд. техн. наук / КНУТД. – Київ, 2003. – 16 с.

9. Войтюк О. П. Розробка та дослідження перетворення частоти у код методом послідовного наближення: автореф. дис.... канд. техн. наук / НУ "Львівська політехніка". – Львів, 2004. – 16 с.
10. Горященко К.Л. Контроль відстаней до пошкоджень в низькочастотній лінії зв'язку, імпульсним та фазовим методами, що використовуються почергово: автореф. дис.... канд. техн. наук / КНУТД. – Київ, 2005. – 16 с.
11. Полікарівських О. І. Швидкодійні синтезатори секвентності на основі фазочастотних перетворювачів: автореф. дис.... канд. техн. наук / ВДТУ. – Вінниця, 2006. – 16 с.
12. Романюк В. В. Обчислювальний метод побудови базисів ортогональних функцій для системи багатоканального зв'язку з кодовим розділенням каналів: автореф. дис.... канд. техн. наук / ТДТУ ім. Полюя. – Тернопіль, 2006. – 16 с.
13. Троцишин І. В. Вимірювання та перетворення фазочастотних параметрів радіосигналів / І. В. Троцишин. – Хмельницький, ПП Ковальський В.В. – 2002. – 382 с.
14. Троцишин І. В. Теорія фазочастотних вимірювань та перетворень параметрів радіосигналів у процесі дослідження ієрархії ранжирування методів вимірювання частоти / І. В. Троцишин, Л. В. Троцишина // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький. – 2008. – № 3. – Технічні науки. – С. 153–158.
15. Троцишин І. В. Частота, кут фазового зсуву, повний фазовий зсув: ілюзії та реальність / І. В. Троцишин // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – № 2. – С. 193–198.
16. Троцишина Л. В. Вимірювання частоти за методом коінциденції / Л. В. Троцишина, О. П. Войтюк, І. В. Троцишин // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2005. – № 2. С. 198–203.
17. Троцишина Л. В. Фазочастотний підхід к измерению частоты радиосигналов и частотер совпадений // "Молодь та сучасні проблеми радіотехніки та телекомунікацій" "РТ-2006". Матеріали міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів і вчених. – Севастополь, С. 93–97.
18. Троцишин І. В. Вимірювання частоти за методом коінциденції та особливості утворення шкали вимірювального перетворення / І. В. Троцишин І. В., О. П. Войтюк., Л. В. Троцишина // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 3. – Технічні науки. – С. 240–244.

Надійшла 10.3.2011 р.

УДК 681.518.2

О.М. ВОЗНЯК, О.В. ВОЙЦЕХОВСЬКА
Вінницький національний технічний університет

АМПЛІТУДНО-ФАЗОВИЙ МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ ОБМОТОК

В статті показано, що параметри електричних обмоток (добротність, активний опір, індуктивність) можуть бути визначені при вимірюванні кута фазового зсуву між двома напругами на виході вимірювального перетворювача, а також відношення амплітуд цих напруг. Проаналізовано залежність складових похибки вимірювання параметрів електричних обмоток від параметрів вимірювального перетворювача. Розроблено структурну схему вимірювача параметрів електричних обмоток.

In the article it is shown that parameters of electric windings (Q-factor, resistance, inductance) can be defined by phase shift angle measuring between two voltages in a measuring device's terminal, as well as by measuring of a ratio of these voltages amplitudes. A dependence of electric windings parameters metering error components on measuring converter's parameters is analyzed. A circuit of electric windings parameters meter is developed.

Ключові слова: параметри обмоток електричних машин, добротність, індуктивність, вимірювання кута фазового зсуву.

Вступ

Випробування електричних обмоток є складним технологічним процесом, що містить операції контролю різних параметрів виробу. Найбільш суттєвою складовою якості електричної обмотки є відсутність короткозамкнених витків. В зв'язку з цим виникає задача визначення кількості короткозамкнених витків електричних обмоток в процесі їх виготовлення.

В наш час відомі декілька способів визначення інформативного параметра: за величиною активного опору; за величиною індуктивності й т.п. Але кожен з цих способів має невелику чутливість до кількості короткозамкнених витків, а для його реалізації необхідно значні часові витрати. Оскільки ці способи реалізуються на базі мостових схем, то процес вимірювання автоматизувати дуже складно.

Постановка задачі дослідження

Всі відомі методи та засоби вимірювання параметрів електричних обмоток можна поділити на дві групи: параметричні та генераторні. До параметричних слід віднести вимірювання опору, діелектричних втрат, ємності, коефіцієнта абсорбції та добротності обмотки, а до генераторних методів – вимірювання перехідних процесів, метод саморозряду, вимірювання поля розсіювання, спектроімпульсний метод, метод акустичної емісії та метод вимірювання часткових розрядів.

Як відомо, якість електричної машини в першу чергу визначається якістю та станом ізоляції обмоток. З результатів досліджень [1] відомо, що приблизно 90 % всіх відмов електричних машин обумовлені пробоем міжвиткової ізоляції. Тому підвищення ефективності методів контролю ізоляції електричних обмоток є актуальною і важливою задачею.

Теоретичні дослідження

Неруйнівний контроль стану ізоляції здійснюють за величиною активного опору ізоляції, ємності, індуктивності, добротності та інших параметрів обмотки. Вищу достовірність під час виявлення короткозамкнених витків в обмотці має добротність, значення якої більш критично до появи короткозамкнених витків [2]. Як відомо, за визначенням добротність є відношенням реактивної потужності W до потужності активних втрат P в системі. Збільшення кількості k короткозамкнених витків приводить до того, що

$$\frac{dW}{dk} < 0; \frac{dP}{dk} > 0. \tag{1}$$

Перша нерівність виходить з тієї умови, що збільшення кількості короткозамкнених витків призводить до зменшення індуктивності обмотки, а друга – з умови збільшення втрат в системі.

Оскільки добротність Q обмотки зменшується при збільшенні кількості k короткозамкнених витків, то

$$\frac{dQ}{dk} = \frac{d}{dk} \left(\frac{W}{P} \right) = -\frac{1}{P} \left(\left| \frac{dW}{dk} \right| + Q \frac{dP}{dk} \right). \tag{2}$$

З урахуванням того, що $W = Q \cdot P$, отримаємо

$$\frac{\Delta Q}{Q} = - \left(\left| \frac{\Delta W}{W} \right| + \frac{\Delta P}{P} \right). \tag{3}$$

Таким чином, контроль короткозамкнених витків електричної обмотки за величиною добротності має вищу чутливість, ніж контроль за величиною індуктивності.

Для вимірювання добротності використовують такі методи: мостовий, відношення напруг, ударного збудження резонансний та інші. Вони мають різну схемну реалізацію. Однак дані методи вимірювання добротності характеризуються великою кількістю блоків перетворень, невисокими метрологічними характеристиками та складністю реалізації.

Останнім часом на практиці поширені фазовий та амплітудно-фазовий методи вимірювання добротності електричних обмоток. Ці методи прості, в реалізації, мають високу точність вимірювання і легко реалізуються в мікропроцесорному варіанті. Розглянемо еквівалентну схему вимірювального перетворювача, до складу якої входять розподільчий резистор R , прецизійний еталонний елемент з комплексним опором Z_0 та об'єкт вимірювання (комплексний опір досліджуваної обмотки) з невідомим комплексним опором $Z_L = R_X + jX_{L_X}$, де $X_{L_X} = \omega L_X$.

Розглянемо принцип вимірювання добротності Q та параметрів електричної обмотки L_X та R_X за допомогою вимірювального перетворювача, еквівалентну схему якого наведено на рис. 1. Як прецизійний еталонний елемент можна використовувати резистор з активним опором R_0 , конденсатор з комплексним опором $Z_{C_0} = R_{C_0} - jX_{C_0}$ та котушку індуктивності з комплексним опором $Z_{L_0} = R_{L_0} + jX_{L_0}$, де $X_{L_0} = \omega L_0$, $X_{C_0} = \frac{1}{\omega C_0}$. Проаналізуємо таку еквівалентну схему для трьох можливих варіантів прецизійного еталонного елемента.

У випадку використання як прецизійного еталонного активного елемента резистора з активним опором $Z_0 = R_0$ знайдемо комплексні напруги де U_{01} та U_{X1} на виході вимірювального перетворювача:

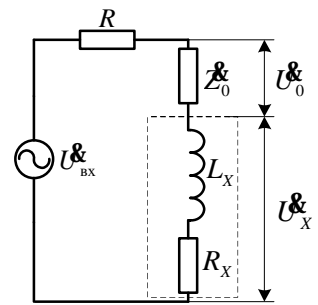


Рис. 1. Еквівалентна схема вимірювального перетворювача для вимірювання параметрів електричних обмоток

$$U_{01} = \frac{U_{BX} R_0}{R_0 + Z_{L_X} + R} = \frac{U_{BX} R_0}{\sqrt{(R_0 + R_X + R)^2 + X_{L_X}^2}} \cdot e^{j \left\{ j_{BX} - \arctg \frac{X_{L_X}}{R_0 + R_X + R} \right\}}; \tag{4}$$

$$U_{X1} = \frac{U_{BX} Z_{L_X}}{R_0 + Z_{L_X} + R} = \frac{U_{BX} \sqrt{R_X^2 + X_{L_X}^2}}{\sqrt{(R_0 + R_X + R)^2 + X_{L_X}^2}} \cdot e^{j \left\{ j_{BX} + \arctg \frac{X_{L_X}}{R_X} - \arctg \frac{X_{L_X}}{R_0 + R_X + R} \right\}}, \tag{5}$$

де $\underline{U}_{\text{BX}} = U_{\text{BX}} \cdot e^{j\omega t}$ – вхідна напруга вимірювального перетворювача в комплексній формі. Фазовий зсув між комплексними напругами \underline{U}_{01} та \underline{U}_{X1} дорівнює

$$j_1 = \arg\{\underline{U}_{X1}\} - \arg\{\underline{U}_{01}\} = \arctg \frac{X_{LX}}{R_X} = \arctg Q_{LX}. \quad (6)$$

Враховуючи, що під знак арктангенса входить значення добротності електричної обмотки, для визначення індуктивності та активного опору обмотки постає необхідність в проведенні ще одного вимірювання

- відношення амплітуд комплексних напруг \underline{U}_{01} та \underline{U}_{X1} , тобто

$$A_1 = \frac{|\underline{U}_{X1}|}{|\underline{U}_{01}|} = \frac{\sqrt{R_X^2 + X_{LX}^2}}{R_0} = \frac{R_X \sqrt{1 + Q_{LX}^2}}{R_0} = \frac{R_X \sqrt{1 + \text{tg}^2 j_1}}{R_0 \cos j_1} = \frac{R_X}{R_0 \cos j_1}. \quad (7)$$

Вирішивши сумісно рівняння (6) та (7), отримаємо співвідношення для визначення складових комплексного опору електричної обмотки:

$$R_X = A_1 R_0 \cos j_1, \quad X_{LX} = \omega L_X = R_X \text{tg} j_1.$$

В цьому випадку індуктивність електричної обмотки визначається співвідношенням

$$L_X = \frac{X_{LX}}{\omega} = \frac{R_X \text{tg} j_1}{\omega} = \frac{A_1 R_0 \cos j_1}{\omega}, \quad (8)$$

де $\omega = 2\pi f$ – циклічна частота коливань вхідної напруги вимірювального перетворювача U_{BX} .

Аналогічно розглянемо принципи вимірювання добротності та основних параметрів електричної обмотки при використанні в якості прецизійного еталонного елемента конденсатора та котушки індуктивності. Так, при використанні в якості прецизійного еталонного елемента конденсатора з комплексним опором $\underline{Z}_0 = \underline{Z}_{C_0} = R_{C_0} - jX_{C_0} \approx jX_{C_0}$, основні співвідношення запишуться таким чином:

$$\underline{U}_{02} = \frac{-\underline{U}_{\text{BX}} jX_{C_0}}{-jX_{C_0} + \underline{Z}_{LX} + R} = \frac{U_{\text{BX}} X_{C_0}}{\sqrt{(R_X + R)^2 + (X_{LX} - X_{C_0})^2}} \cdot e^{j\left\{j_{\text{BX}} - 90^\circ - \arctg \frac{X_{LX} - X_{C_0}}{R_X + R}\right\}}, \quad (9)$$

$$\underline{U}_{X2} = \frac{\underline{U}_{\text{BX}} \underline{Z}_{LX}}{-j\omega X_{C_0} + \underline{Z}_{LX} + R} = \frac{U_{\text{BX}} \sqrt{R_X^2 + X_{LX}^2}}{\sqrt{(R_X + R)^2 + (X_{LX} - X_{C_0})^2}} \cdot e^{j\left\{j_{\text{BX}} + \arctg \frac{X_{LX}}{R_X} - \arctg \frac{X_{LX} - X_{C_0}}{R_X + R}\right\}}, \quad (10)$$

$$j_2 = \arg\{\underline{U}_{X2}\} - \arg\{\underline{U}_{02}\} = \arctg \frac{X_{LX}}{R_X} + 90^\circ = \arctg Q_{LX} + 90^\circ, \quad (11)$$

$$A_2 = \frac{|\underline{U}_{X2}|}{|\underline{U}_{02}|} = \frac{\sqrt{R_X^2 + X_{LX}^2}}{X_{C_0}} = \frac{R_X \sqrt{1 + \text{tg}^2(j_2 - 90^\circ)}}{X_{C_0}} = \frac{R_X}{X_{C_0} \cos(j_2 - 90^\circ)}, \quad (12)$$

$$R_X = A_2 X_{C_0} \cos(j_2 - 90^\circ), \quad (13)$$

$$X_{LX} = R_X \text{tg}(j_2 - 90^\circ) = A_2 X_{C_0} \sin(j_2 - 90^\circ), \quad (14)$$

$$L_X = \frac{A_2 X_{C_0} \cos(j_2 - 90^\circ)}{2\pi f}. \quad (15)$$

Аналогічно, при використанні в якості прецизійного еталонного елемента котушки індуктивності з комплексним опором $\underline{Z}_0 = \underline{Z}_{L_0} = R_{L_0} + jX_{L_0} \approx jX_{L_0}$ основні співвідношення запишуться таким чином:

$$\underline{U}_{03} = \frac{-\underline{U}_{\text{BX}} jX_{L_0}}{-jX_{L_0} + \underline{Z}_{LX} + R} = \frac{U_{\text{BX}} X_{L_0}}{\sqrt{(R_X + R)^2 + (X_{LX} - X_{L_0})^2}} \cdot e^{j\left\{j_{\text{BX}} + 90^\circ - \arctg \frac{X_{LX} - X_{L_0}}{R_X + R}\right\}}, \quad (16)$$

$$U_{X3} = \frac{U_{BX} \cdot Z_{LX}}{-j\omega X_{L0} + Z_{LX} + R} = \frac{U_{BX} \sqrt{R_X^2 + X_{LX}^2}}{\sqrt{(R_X + R)^2 + (X_{LX} - X_{L0})^2}} \cdot e^{j \left\{ j_{BX} + \arctg \frac{X_{LX}}{R_X} - \arctg \frac{X_{LX} - X_{L0}}{R_X + R} \right\}}, \quad (17)$$

$$j_3 = \arg\{U_{X3}\} - \arg\{U_{03}\} = \arctg \frac{X_{LX}}{R_X} - 90^0 = -\arctg Q_{LX}, \quad (18)$$

$$A_3 = \frac{|U_{X3}|}{|U_{03}|} = \frac{\sqrt{R_X^2 + X_{LX}^2}}{X_{L0}} = \frac{R_X \sqrt{1 + \text{ctg}^2 j_3}}{X_{L0} \sin j_3} = \frac{R_X}{X_{L0} \sin j_3}, \quad (19)$$

$$R_X = A_3 X_{L0} \sin j_3, \quad (20)$$

$$X_{LX} = R_X \text{ctg} j_3 = A_3 X_{L0} \cos j_3, \quad (21)$$

$$L_X = \frac{A_3 X_{L0} \cos j_3}{2\pi f}. \quad (22)$$

З співвідношень (6), (11) та (18) можна отримати рівняння перетворення первинного вимірювального перетворювача (при вимірюванні добротності електричних обмоток та різних типах прецизійного еталонного елементу):

$$j_1 = \arctg Q_{LX}, \quad (23)$$

$$j_2 = \arctg Q_{LX} + 90^0, \quad (24)$$

$$j_3 = -\arctg Q_{LX} = \arctg Q_{LX} - 90^0, \quad (25)$$

За співвідношеннями (23)– (25) на рис. 2 побудовано статичні характеристики первинних вимірювальних перетворювачів при різних типах прецизійного еталонного елементу: 1 – резистивного; 2 – ємнісного; 3 – індуктивного.

Різницю фаз між двома електричними напругами можна перетворити у часовий інтервал t_X за допомогою двох формул та тригера. Тоді залежність $j_1 = f(t_X)$ буде визначатися таким співвідношенням:

$$j_i = \omega t_{1i} - \omega t_{2i} = 2\pi f \cdot t_{Xi}. \quad (26)$$

Тривалість часового інтервалу t_X , пропорційного j_i , становить

$$t_{Xi} = \frac{j_i}{2\pi f}. \quad (27)$$

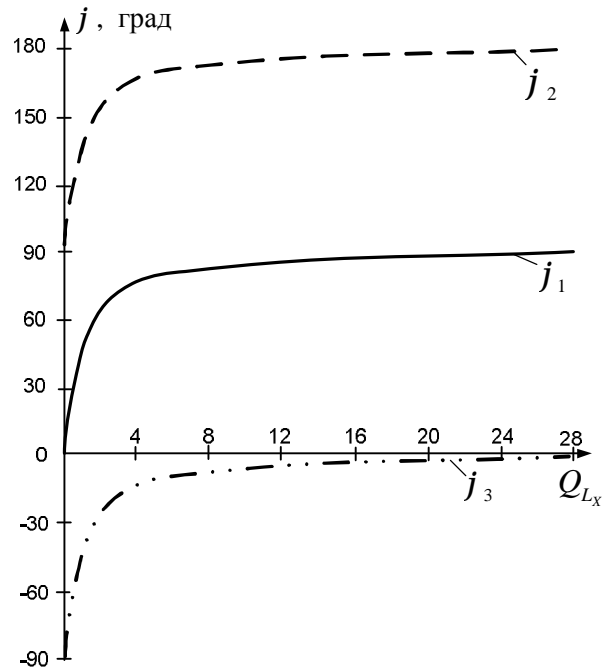


Рис. 2. Статичні характеристики вимірювального перетворювача добротності електричних обмоток при різних типах прецизійного еталонного елементу

Якщо проквантувати часовий інтервал імпульсами зразкової частоти від кварцового генератора, то кількість імпульсів, яку підрахає двійковий лічильник, буде визначатися такими співвідношеннями (для різних типів прецизійного еталонного елементу):

$$N_{X1} = \frac{t_{X1}}{T_0} = t_{X1} f_0 = f_0 \frac{j_1}{2\pi f} = f_0 \frac{\arctg Q_{LX}}{2\pi f}, \quad (28)$$

$$N_{X2} = f_0 \frac{\arctg Q_{LX} + \frac{\pi}{2}}{2\pi f}, \quad (29)$$

$$N_{X3} = f_0 \frac{\arctg Q_{LX} - \frac{\pi}{2}}{2\pi f} = -f_0 \frac{\arctg Q_{LX}}{2\pi f}. \quad (30)$$

За співвідношеннями (28)– (30) на рис. 3 побудовано статичні характеристики засобу вимірювання добротності електричних обмоток при різних типах прецизійного еталонного елементу (при $f_0 = 2$ МГц та $f = 50$ Гц).

З розгляду залежностей рис. 2 та рис. 3 можна зробити висновок, що:

$$N_{X1\max} = f_0 \frac{(\arctg Q_{Lx})_{\max}}{2pf} = f_0 \frac{\frac{p}{2}}{2pf} = \frac{f_0}{4f}, \quad (31)$$

$$N_{X2\max} = f_0 \frac{(\arctg Q_{Lx})_{\max} + \frac{p}{2}}{2pf} = f_0 \frac{\frac{p}{2} + \frac{p}{2}}{2pf} = \frac{f_0}{2f}. \quad (32)$$

Рівняння похибки квантування такого засобу вимірювання має такий вигляд:

$$d_{Q_{Li}} = \frac{100\%}{N_{Xi}} = \frac{2pf}{f_0 j_i} \cdot 100\%. \quad (33)$$

Визначимо похибки квантування для кожного засобу вимірювання (з різним типом прецизійного еталонного елемента):

$$d_{Q_{L1}} = \frac{2pf}{f_0 \arctg Q_{Lx}} \cdot 100\%, \quad (34)$$

$$d_{Q_{L2}} = \frac{2pf}{f_0 \left(\arctg Q_{Lx} + \frac{p}{2} \right)} \cdot 100\%, \quad (35)$$

$$d_{Q_{L3}} = \frac{2pf}{f_0 \left(\arctg Q_{Lx} - \frac{p}{2} \right)} \cdot 100\%. \quad (36)$$

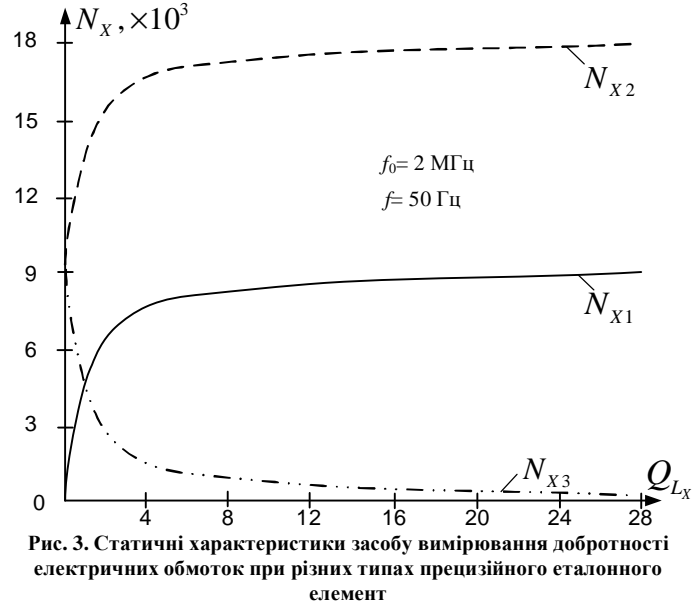


Рис. 3. Статичні характеристики засобу вимірювання добротності електричних обмоток при різних типах прецизійного еталонного елемента

За співвідношеннями (34) – (36) на рис. 4 побудовано залежності похибки квантування засобу вимірювання добротності електричних обмоток при різних типах прецизійного еталонного елемента (при $f_0 = 2$ МГц та $f = 50$ Гц).

З розгляду залежностей рис. 2 та рис. 4 можна зробити висновок, що:

$$(d_{Q_{L1}})_{\min} = \frac{2pf}{f_0 \frac{p}{2}} \cdot 100\% = \frac{4f}{f_0} \cdot 100\% = \frac{100\%}{N_{X1\max}}, \quad (37)$$

$$(d_{Q_{L2}})_{\min} = \frac{2pf}{f_0 \left(\frac{p}{2} + \frac{p}{2} \right)} \cdot 100\% = \frac{2f}{f_0} \cdot 100\% = \frac{100\%}{N_{X2\max}}. \quad (38)$$

Таким чином, з аналізу залежностей рис. 2, рис. 3 та рис. 4 можна зробити висновок, що найкращі метрологічні характеристики засіб вимірювання добротності електричних обмоток має при використанні в якості прецизійного еталонного елемента зразкового резистора та зразкового конденсатора. Однак переважним є все ж таки використання резистивного прецизійного еталонного елемента, тому що розглянуті моделі не враховують активного опору зразкового конденсатора (що може значно погіршити розглянуті характеристики).

Аналізуючи співвідношення (6), (8), (11), (13), (15), (18), (20) та (22), за якими визначаються значення добротності, активного опору та індуктивності електричних обмоток за допомогою еквівалентної схеми вимірювального перетворювача (рис. 1), можна зробити висновок, що точність таких

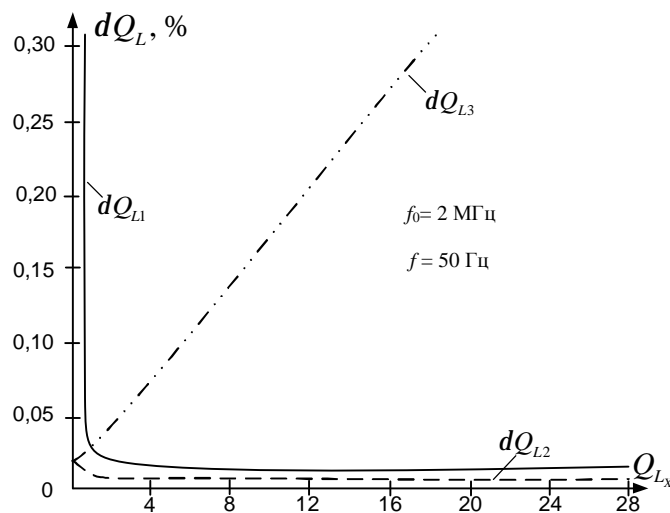


Рис. 4. Залежності похибки квантування засобу вимірювання добротності електричних обмоток при різних типах прецизійного еталонного елемента

вимірювань залежить від чотирьох факторів: точності прецизійного еталонного активного опору R_0 , точності задавання або вимірювання циклічної частоти f (частоти генератора вхідного сигналу), точності вимірювання фазового зсуву між вихідними сигналами вимірювального перетворювача, а також точності

вимірювання відношення амплітуд вихідних сигналів вимірювального перетворювача.

На сучасній прецизійній елементній базі забезпечення необхідної точності опору R_0 є можливим, тому що існують прецизійні резистори, точність яких складає 0,01 % та вище. Тому деяка неточність прецизійного еталонного активного опору R_0 фактично не призводить до виникнення помилки при визначенні параметрів електричних обмоток.

Інший параметр, який впливає на точність визначення параметрів електричних обмоток – циклічна частота W генератора вхідного сигналу (або частота мережі). Враховуючи, що $w = 2\pi f$, частоту W можна виміряти, перетворивши її у часовий інтервал, вимірювання якого здійснюється з досить високою точністю (для сучасних частотомірів відносна похибка вимірювання не перевищує 0,005 %). Отже, точність в даному випадку теж забезпечується.

При вірному виборі параметрів засобу вимірювання на результат вимірювання параметрів електричних обмоток, як вже було розглянуто, практично не впливає й точність вимірювання кута фазового зсуву між вихідними сигналами вимірювального перетворювача.

Тому основною проблемою, з точки зору забезпечення точності вимірювання параметрів електричних обмоток, є забезпечення точності вимірювання відношення амплітуд вихідних сигналів вимірювального перетворювача. Це призводить до необхідності використання сучасних цифрових вимірювачів відношення амплітуд, відносна похибка яких має порядок десятих або навіть сотих часток відсотка.

На основі розробленого вимірювального перетворювача для вимірювання параметрів електричних обмоток пропонується структурна схема вимірювача параметрів обмоток, наведена на рис. 5.

Вимірювач параметрів електричних обмоток складається з генератора гармонічних коливань 1 (або мережі змінного струму), вимірювального перетворювача (ВП) 2 (рис. 1), цифрового фазометра 3, цифрового вимірювача відношення амплітуд 4 та пристрою обчислення (ПО) 5.

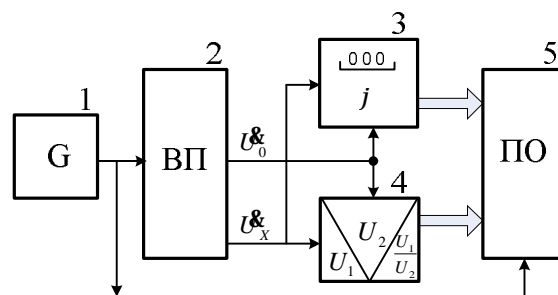


Рис. 5. Структурна схема вимірювача параметрів електричних обмоток

Генератор гармонічних коливань 1 виробляє сигнал з частотою f , який потрапляє на вхід вимірювального перетворювача 2. Виходи вимірювального перетворювача підключені до входів цифрового фазометра 3 та цифрового вимірювача відношення амплітуд 4. Цифровий фазометр вимірює кут фазового зсуву між напругами U_0 та U_X , а цифровий вимірювач відношення амплітуд – відношення амплітуд цих напруг. Результати вимірювання кута фазового зсуву та відношення амплітуд в цифровій формі потрапляють на входи пристрою обчислення 5, де і відбувається обчислення результату вимірювання параметрів електричних обмоток.

Висновки

Показано, що параметри електричних обмоток (добротність, активний опір, індуктивність) можуть бути визначені при вимірюванні кута фазового зсуву між двома напругами на виході вимірювального перетворювача, а також при вимірюванні відношення амплітуд цих напруг.

Проаналізовано залежність складових похибки вимірювання параметрів електричних обмоток від параметрів вимірювального перетворювача.

3. На основі запропонованого вимірювального перетворювача розроблено структурну схему вимірювача параметрів електричних обмоток.

Література

1. Гринберг Ю. М. Анализ методов контроля изоляции асинхронных электродвигателей / Ю. М. Гринберг, Г. М. Лебедев, В. С. Волканов // Электротехника. – 1987. – № 6. – С. 64– 71.
2. Русин Ю.С. Влияние короткозамкнутых витков на параметры индуктивных элементов / Ю. С. Русин, Ю. С. Лобеев // Электромеханика. – 1984. – № 4. – С. 106– 107.

Надійшла 2.3.2011 р.

АПАРАТ ФУНКЦІОНУВАННЯ СТРАТЕГІЧНОГО УПРАВЛІННЯ В КОРПОРАТИВНІЙ АВТОМАТИЗОВАНІЙ СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ РЕГІОНАЛЬНИХ ОСВІТНІХ ЦЕНТРІВ

Детально розглянуто апарат функціонування стратегічного управління в корпоративній автоматизованій системі управління регіональних освітніх центрів. Деталізовано порядок інформаційних дій, які реалізуються центральними блоками стратегічного управління: стратегічного планування і контролінгу.

The article gives detailed analysis on the functional apparatus of the Strategic Management in the Corporate Automated Control System for regional educational centers. Provided detalization for the order of information actions implemented by the central blocks of the Strategic Management: Strategic Planning and Controlling.

Ключові слова: стратегічне управління, стратегічне планування, контролінг, корпоративні автоматизована система управління.

Вступ

З позицій функціонування регіональних освітніх центрів виникає нова проблемна задача створення корпоративних автоматизованих систем управління їх стратегічним розвитком. При цьому процес стратегічного управління передбачає розвиток навчального, технічного, комунікаційного, наукового та виробничого потенціалів за рахунок прибуткової діяльності регіональних освітніх центрів.

В такій постановці є актуальною системна задача розробки моделей, методів та інформаційних технологій управління інтелектуальними і виробничими ресурсами регіональних освітніх центрів за умов впровадження ефективних стратегій його розвитку. Передумовою успішного розв'язання цієї системної задачі є існуючі наукові розробки щодо теорії і методів побудови інформаційних систем і технологій управління організаційними, інтелектуальними і соціально-економічними процесами, а також впровадження новітніх навчальних проектів і програм з орієнтацією на традиційні форми організації проведення навчального і наукового процесів.

Основна частина

Інформаційно-логічна схема дії стратегічного управління однозначно визначає послідовність інформаційних, обчислювальних та логічних дій, які реалізуються його центральними блоками – стратегічного планування й контролінгу. Формалізуємо їх інформаційне забезпечення.

Основу стратегічного управління складає взаємодія блоків стратегічного планування й контролінгу, яка наведена на функціонально-структурній схемі (рис. 1).

Технологічно робота блоків стратегічного планування й контролінгу відбувається самостійно. Блок стратегічного планування є «стартовим» щодо блоку контролінгу й забезпечує його такою вхідною інформацією:

- перший потік інформації для блоку контролінгу утворюють планові (нормативні) характеристики цілей і засобів їхнього досягнення керованою системою і сукупність характеристик стану зовнішнього й внутрішнього середовищ керованої системи, під які приймалися дані рішення;
- другий потік інформації утворюють дані про фактичний стан зовнішнього й внутрішнього середовищ керованої системи у момент прийняття рішення; рівень розбіжності між передбачуваним станом зовнішнього й внутрішнього середовищ керованої системи в процесі стратегічного планування й фактичним, установленим контролінгом. Рівень розбіжності визначає необхідність внесення відповідних корегувань на певному кроці стратегічного планування.

Аналітичною характеристикою взаємодії розглядуваних блоків є неузгодженість наступних двох пар оцінок: пари рішень (запланованих на період $t+t_i$, $i=1, m$ результатів R_{t+t_i} і фактично досягнутих (прогнозованих) результатів багатоальтернативного рішення $R_{t+t_i}^{\phi}$); пари станів зовнішнього й внутрішнього середовищ керованої системи (прогнозованого в момент прийняття багатоальтернативного рішення $S_{t+t_i}^{\phi}$ і скорегованого (уточнюється безперервно на обраному дискретному інтервалі часу $t+t_i$) S_t .

Контролінг як складову частину стратегічного управління слід розглядати як неперервне корегування норми (цілей і засобів), враховуючи постійну зміну внутрішнього та зовнішнього середовищ керованої системи. Контролінг є дієвим інструментом в реальному масштабі часу, оскільки корегування (регулювання) здійснюється на підставі інформації, опрацьованої моніторингом.

Інформаційною основою для функціонування контролінгу є такі змістовно різні види інформації: нормативна інформація, до якої відносять вихідні та скореговані рішення стратегічного планування як за цілями діяльності керованої системи (нормо-цілі), так і за засобами їхньої реалізації (нормо-засоби), а також умови стану зовнішнього та внутрішнього середовищ керованої системи, при яких рішення, критеріально обрані з безлічі альтернативних рішень, реальні (нормо-стани); поточна (фактична) інформація, до якої відносять конкретні характеристики (кількісні і якісні) цілей діяльності керованої системи, засоби реалізації та стану внутрішнього й зовнішнього середовищ у момент їхньої оцінки (виміряні в різних системах шкал з

наступним їхнім приведенням до єдиної шкали вимірів) у процесі дії моніторингу; сценарна інформація (очікуваних можливостей), до якої відносять сценарії можливих станів невизначеності зовнішнього та внутрішнього середовищ керованої системи і програм дій в ризикових, кризових ситуаціях тощо. Блок-схема алгоритму контролінгу наведена на рис. 2.

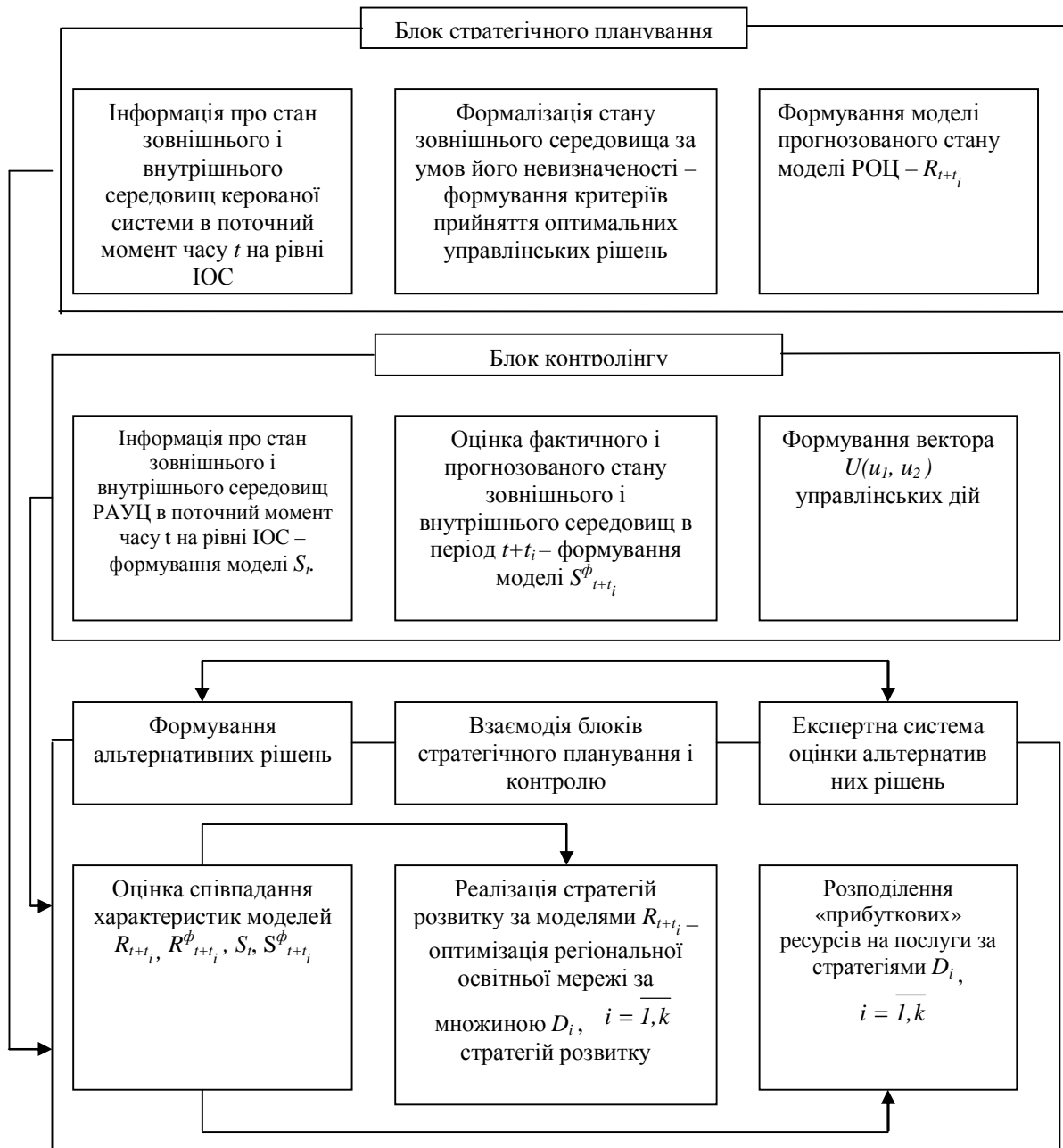


Рис. 1. Інформаційно-логічна блок-схема роботи стратегічного управління

Блок контролінгу включає базу даних (БД), яка структурно містить інформацію про нормо-цілі і нормо-засоби стратегічного плану, нормо-стани зовнішнього середовища для стратегічного плану; базу знань (БЗ), яка містить інформацію про прогнозні сценарії можливих станів зовнішнього середовища і керованої системи; інформацію про динамічну модель поведінки керованої системи в умовах стохастичного впливу зовнішнього середовища; набір програм оптимального поведіння керованої системи в ризикових ситуаціях.

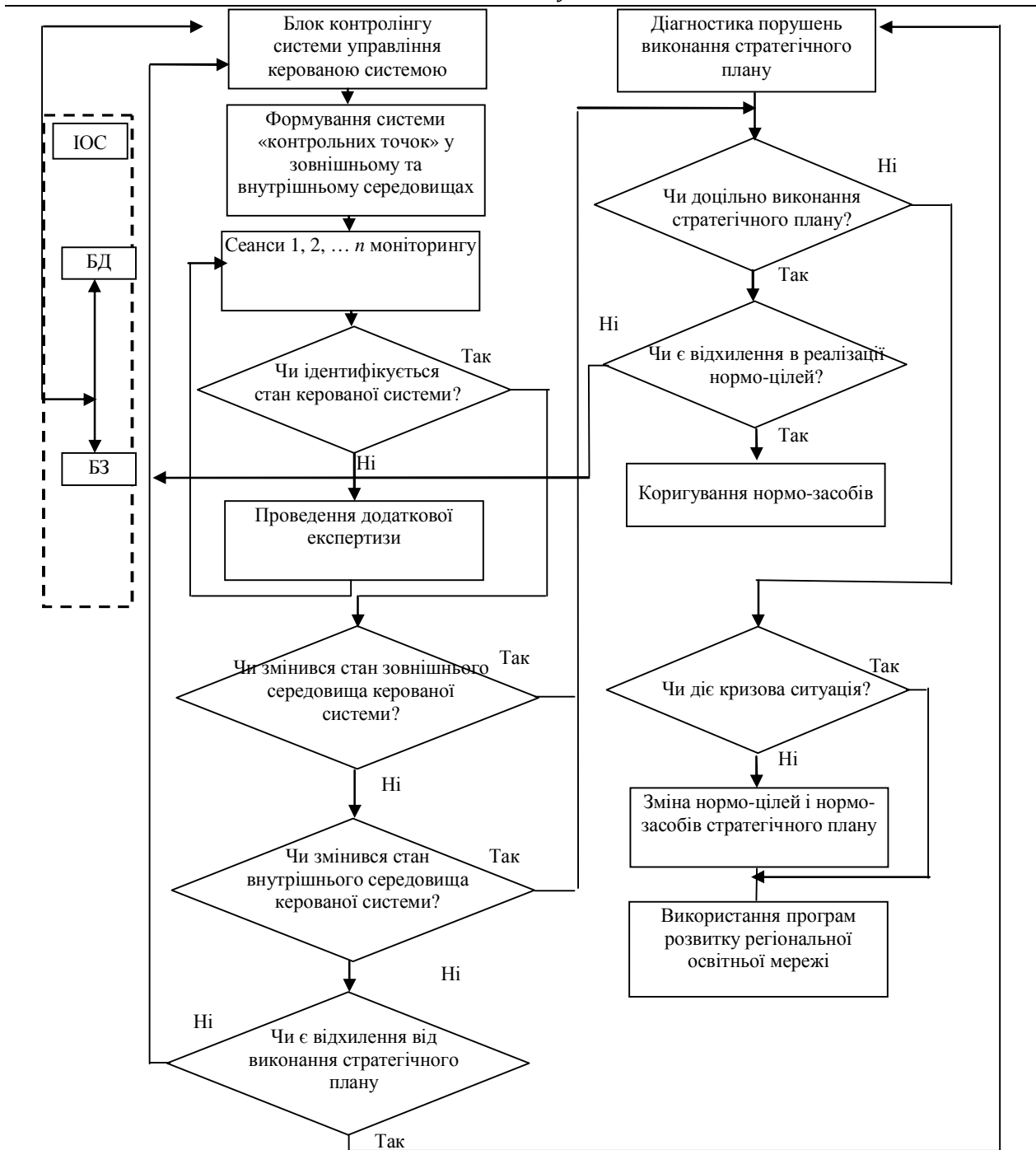


Рис. 2. Блок-схема алгоритму контролінгу

Робота блоку контролінгу характеризується: структуризацією як простору діяльності контролінгу (розташуванням в зовнішньому та внутрішньому середовищах) за допомогою встановлення контрольних точок (тобто чутливих до змін середовища характеристик, показників, факторів і т. ін.), так і часу (ідентифікацією періодичності сканування, контрольних точок моніторингом); засобами управлінського втручання в процес реалізації стратегічного плану при встановленні розбіжності в контрольних точках між нормативною й фактичною інформацією; шаблоном набором різноманітних підсумкових рішень, які аналітично обчислюються і оцінюються ОПР з різних видів їхнього прийняття (наприклад, внесення резервних і «прибуткових» запасів у керовану систему, зміни цілей і, відповідно, засобів реалізації стратегічного плану щодо впровадження інновацій в навчальний процес, вкладання інвестицій в розвиток наукового і виробничого потенціалів); наявністю ефективного аналітичного та програмного апарату, який забезпечує не тільки сеанс моніторингу, але й здійснює діагностику (прогнозування), ідентифікацію, оптимальний вибір в умовах багатоальтернативних рішень, багатфакторний аналіз.

Розглянемо на формальному рівні аналітичний апарат забезпечення задач стратегічного менеджменту з позицій інфологічної схеми корпоративної автоматизованої системи управління (КАСУ) (рис. 3).

Фактографічне прогнозування базується на динамічних рядах і матрицях оцінок і застосовує такі

методи: модифікований метод найменших квадратів при побудові авторегресійних моделей; метод рідж-регресії при усуненні мультиколінеарності для багатофакторних моделей.

Сценарний аналіз здійснюється на основі прогнозової експертної оцінки наборів можливих станів регіональних освітніх центрів та його зовнішнього середовища. При цьому сценарії формуються як гіпотетичні стани, які сприймаються і визначаються експертами за допомогою припущень щодо попереднього та наступного станів за визначеною стратегією розвитку.

Вибір оптимальної альтернативи здійснюється в межах класичних задач щодо побудови систем підтримки прийняття рішень шляхом експертного відбору оптимального альтернативного варіанта рішення мовою як числової, так і словесної інформації за умов невизначеності і ризику.

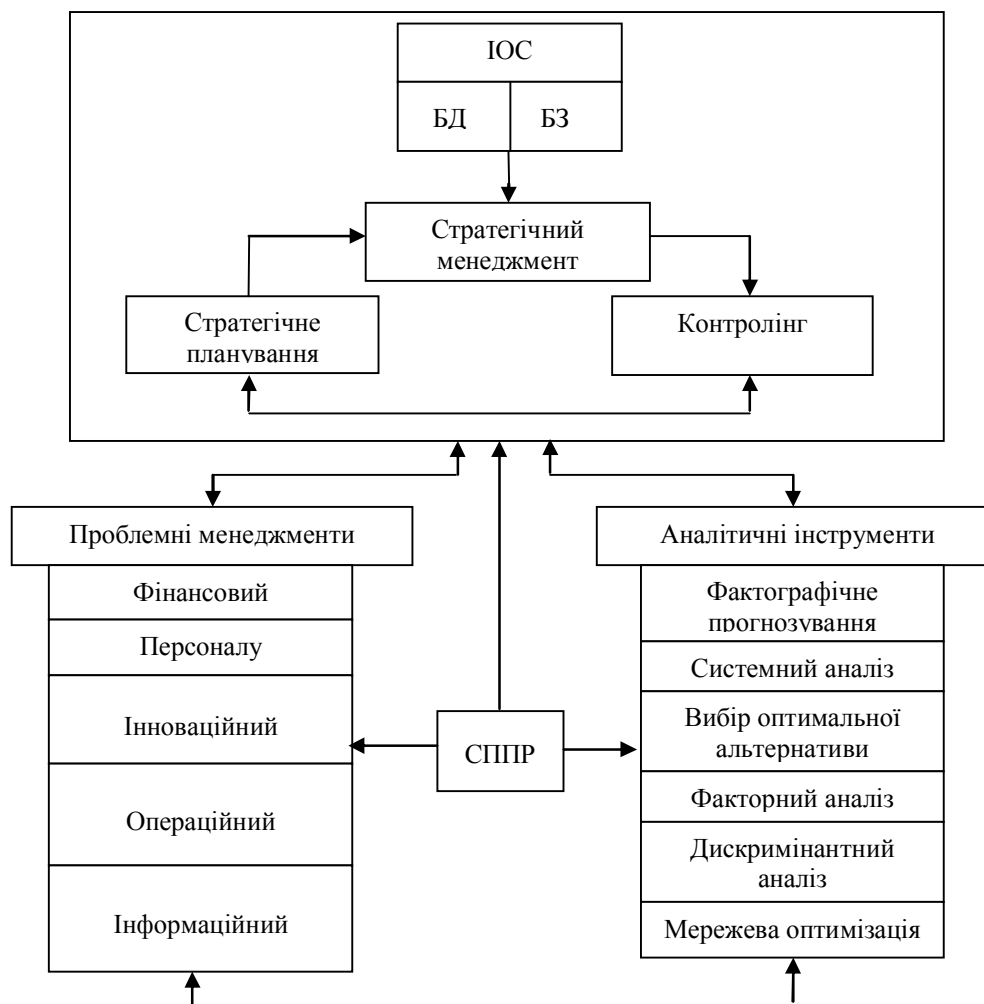


Рис. 3. Інфологічна схема КАСУ

Факторний аналіз здійснює вибір і формування суттєвих для управління факторів проблемних менеджментів, тобто отримання синтезованих (агрегованих) факторів із сукупності вхідних факторів; отримання нових факторів-характеристик (інструментальних змінних), які відображають, як правило, якісні характеристики надання послуг.

Дискримінантний аналіз здійснює розпізнавання образів (прототипів) складових інформаційно-освітніх систем (ІОС) з метою формування однотипних у функціональному плані груп інформаційних подань ІОС.

Мережева оптимізація здійснюється на розподіленій регіональній освітній мережі як задача формування оптимально-прибуткових стратегій розвитку регіональних освітніх центрів та оптимального розподілення «прибуткових» ресурсів на розвиток їх освітнього, наукового та виробничого потенціалів.

Висновки

Запропонований зміст (з ухилом на стандартні програмні продукти та стандартне математичне забезпечення) аналітичного апарату функціонування стратегічного управління КАСУ регіональних освітніх центрів може бути покладений в основу програми стратегічного розвитку та управління розвитком освітніх мереж та комплексів.

Література

1. Згуровський М. З. Вступ до комп'ютерних інформаційних технологій: [навч. посіб. для студ.

екон. спец. вищ. навч. закл.] / Згуровський М. З., Коваленко І. І., Міхайленко В. М. – [2-е вид.]. – К.: Європейський ун-т, 2003. – 265 с.

2. Лізунов П. П. Моделі та засоби формування комплексного інформаційно-освітнього середовища навчального закладу / П. П. Лізунов, А. О. Білошицький // Системи обробки інформації. – 2007. – Вип. 5 (63). – С. 2–7.

3. Міхайленко В. М. Управління проектами розвитку складних інженерних комунікаційних систем / В. М. Міхайленко, Ю. В. Кошарна // Інформаційні технології в економіці, техніці, бізнесі і освіті: XI Міжнар. конф., 2005 р.: матеріали. – К., 2005. – С. 33–36.

4. Останина Н. В. Развитие менеджмента в корпоративных системах на базе информационных технологий / Останина Н. В. – К.: Европ. ун-т финансов, информ. систем, менеджм. и бизнеса, 2000. – 161 с.

Надійшла 15.3.2011 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 № 10 від 30.03.2011 р.**

Підп. до друку 30.03.2011 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