

Науковий журнал

5.2010

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки

Хмельницький 2010

ВІСНИК

Хмельницького національного університету

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

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2010, № 5 (170)

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

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

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

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

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

Редактор-коректор Броженко В. О.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 5 від 24.11.2010 р.**

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

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

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

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

© Хмельницький національний університет, 2010
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2010

ЗМІСТ

ТЕХНОЛОГІЇ ХАРЧОВОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Л.В. КРАСНЮК, О.В. ЧОРНА, О.М. ТРОЯН ДОСЛІДЖЕННЯ СПОЖИВЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЖІНОЧИХ УТЕПЛЕНИХ КУРТOK	7
О.М. ЛУШЕВСЬКА, Л.В. КРАСНЮК, О.М. ТРОЯН ВИБІР ПРИБАВОК НА ВІЛЬНЕ ОБЛЯГАННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ СПЕЦОДЯГУ З ВИСОКИМ РІВНЕМ ЕРГОНОМІЧНОЇ ВІДПОВІДНОСТІ	12
О.В. ЗАХАРКЕВИЧ РОЗРОБКА ТИПОЛОГІЧНОГО РЯДУ ЖІНОЧОГО ПЛЕЧОВОГО ОДЯГУ	15
Л.В. БУХАНЦОВА МЕХАНІЗМ ГІДРОДИНАМІЧНОГО ФОРМУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ	19
О.П. БОХОНЬКО, П.В. БЛАЖІЄВСЬКИЙ, Д.І. ПРОЦИК АВТОМАТИЗОВАНЕ КОНСТРУЮВАННЯ ЖІНОЧИХ СПІДНИЦЬ	24
О.П. СИРОТЕНКО РОЗРОБКА РУБРИКАЦІЇ ФРОНТАЛЬНИХ ТА ПРОФІЛЬНИХ ФОРМ ТУЛУБА ЖІНОЧИХ ФІГУР	28
О.Б. ГАЙДАШЕВСЬКА, А.Л. СЛАВІНСЬКА ПЕРЕДУМОВИ РОЗРОБКИ КОМФОРТНОГО ДИТЯЧОГО ОДЯГУ З УРАХУВАННЯМ ІНФОРМАЦІЇ ПРО СТАН ЗДОРОВ'Я ШКОЛЯРІВ	34
І.О. ЗАСОРНОВА ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ХРЕСТОПОДІБНИХ СТІБКІВ ОРНАМЕНТІВ ВИШИВКИ УКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ОДЯГУ	37
К.І. БОНДАР, Ю.А. САРАХМАН ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПОЖИВЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НА ВИБІР ТКАНИН ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЧОЛОВІЧИХ ШТАНІВ	40
О.І. ПЕРЕДРІЙ ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАПОВНЕНИХ СИЛІЦЬОРГАНІЧНИХ ПОКРИТТІВ	44
О.В. ГОЛОВНЯ НАПРУЖЕНИЙ ТРИКОТАЖ ПРЕСОВИХ ПЕРЕПЛЕТЕНЬ	48
Л.В. ДЕНИСЮК, В.П. КОНОВАЛ РОЗРОБКА РАЦІОНАЛЬНОЇ ВНУТРІШНЬОЇ ФОРМИ СПОРТИВНОГО ЧОБОТА ДЛЯ ЗАНЯТЬ КІННИМ СПОРТОМ	54
С.С. ГАРКАВЕНКО ГІПОТЕЗА ЩОДО ВПЛИВУ СОНЯЧНИХ ЦИКЛІВ НА АНТРОПОМЕТРИЧНІ ДАНІ СТОП НАСЕЛЕННЯ	58
Т.А. НАДОПТА, М.П. САВЧУК, Н.С. МАШОВЕЦЬ ПАРАМЕТРИ ОСНОВНИХ АНАТОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТОПИ	62
Л.В. ПЕЛИК ЗМІНА ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ ТЕКСТИЛЬНИХ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ У ПРОЦЕСІ ТЕРМОСТАРИННЯ	67
Л.Г. НІКОЛАЙЧУК ОЦІНКА ЯКОСТІ ФАРБУВАННЯ БАВОВНЯНОКОТОНІНОВИХ БЛИЗНЯНИХ ТКАНИН	70
Л.І. ТЕБЛЯШКІНА, І.Г. БРЮХОВА, І.О. ТКАЧЕНКО ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИДАЛЕННЯ ВОДОРОЗЧИННИХ ЗАБРУДНЕНЬ З ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ (ПОВІДОМЛЕННЯ 3)	74

Т.Г. ШАРАН ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО СКЛАДУ РОЗЧИНУ ПОЛІМЕРНОГО ПОКРИТТЯ ДЛЯ ПІДСИЛЮЮЧИХ НАКЛАДОК СПЕЦОДЯГУ РОБІТНИКІВ МЕТАЛООБРОБНИХ ЦЕХІВ	78
А.В. АНДРУШКЕВИЧ, В.М. ЛИСЮК, В.В. НАЗАРОВА ВПЛИВ КРЕМНІОРГАНІЧНИХ СПОЛУК НА ЗДАТНІСТЬ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДО ЗАБРУДНЕННЯ	82
М.С. МАЛЬОВАНІЙ, Г.В. САКАЛОВА, Н.Ю. ЧОРНОМАЗ ВПЛИВ ТИПУ ПРИРОДНОГО СОРБЕНТУ НА КІНЕТИКУ СОРБЦІЇ ІОНІВ АМОНІУ ІЗ ВОДИ	85
О.В. ЯКИМЧУК ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОСТРУМІННОГО ФОРМУВАННЯ ГОЛОВОК ГОЛОВНИХ УБОРІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЗМІНИ КУТА АТАКИ	88
Г.І. ГОЛОДЮК ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОМПОНЕНТІВ ФАРБУВАЛЬНОЇ КОМПОЗИЦІЇ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ ДЕРЕВИНИ	91
Л.О. НЕСТЕРОВА, Г.С. САРІБЕКОВ РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ СТІЧНИХ ВОД У ПРОЦЕСАХ ФАРБУВАННЯ АКТИВНИМИ БАРВНИКАМИ	94
МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ	
А.К. КАРМАЛІТА, Д.М.ЯКИМЧУК МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО ВИРУБУВАЛЬНОГО ПРЕСА КОНСОЛЬНОГО ТИПУ ..	98
Н.С. СВИРНЕВСКИЙ, Т.К. СКРИПНИК ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ПРИ ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ	103
А.І. ГОРДЕЄВ, Л.Є. БАЙДИЧ ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДИКИ ПРОЕКТУВАННЯ ВІБРАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ОСНОВІ ГІДРОПУЛЬСАТОРА ДЛЯ ВПЛИВУ НА ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ ТА ЇЇ ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ	110
М.В. БАБІЙ ЕВОЛЮЦІЯ КАНАВКОВИХ ТА ВІДРІЗНИХ РІЗЦІВ І ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ РОЗВИТКУ	120
В.В. ВИРИЧ ЭВОЛЮЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДИСКОВЫХ ОТРЕЗНЫХ ФРЕЗ	126
Ю.С. БІКС ПОБУДОВА ФУНКЦІЇ НАЛЕЖНОСТІ НЕЧІТКИХ ОЦІНОК ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ НА ПРОГНОЗОВАНУ МІЦНІСТЬ БЕТОНУ	137
В.В. КОВТУН, О.А. ДОРОФЄЄВ ДЕФОРМАЦІЇ ВЗДОВЖ ПОТЕНЦІАЛЬНИХ ЛІНІЙ КОВЗАННЯ У СИПКОМУ СЕРЕДОВИЩІ	142
В.И. КОНДРАТИУК ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ КАМНЕОБРАБОТКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОБЛИЦОВОЧНЫХ ПЛИТ	150
С.Д. НЕДАЙБОРЩ, С.С. БЫСЬ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ CR-SI-B В УСЛОВИЯХ ГРАНИЧНОЙ СМАЗКИ	154
І.М. ПАСТУХ, М.В. ЛУК'ЯНЮК, О.С. ЗДИБЕЛЬ ЭФЕКТ СТРУКТУРНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ПОВЕРХНІ ТЕРТЯ	158
В.В. РОМАНЮК ВИКОРИСТАННЯ МІНІМАКСНОГО ПРИНЦИПУ У ПРОГНОЗНОМУ КОНТРОЛІ КОРПУСНОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕДУРИ МІНІМІЗАЦІЇ ПОМИЛКИ	161
Ю.І. ШАЛАПКО, А.Л. ГАНЗЮК, М.А. РАЗУВАЄВА ПРИХОВАНІСТЬ ФРЕТТИНГ-ПРОЦЕСІВ У З'ЄДНАННЯХ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ЇХ ВПЛИВ НА БЕЗПЕКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	165

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

Б.Б. ПОСПЕЛОВ, О.Н. ШИНКАРУК, Л.В. КАРПОВА МЕТОДЫ МНОГОАНТЕННОЙ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХОВОЙ СИТУАЦИОННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ	170
В.В. МІШАН, Ю.М. БОЙКО ПИТАННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗВ'ЯЗКУ В CDMA МЕРЕЖАХ	175
І.М. ЛАЗАРОВИЧ, О.П. ПАШКЕВИЧ МОДЕЛЮВАННЯ ЦИФРОВОГО ПРИЙМАЧА СИГНАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ РАНДОМІЗАЦІЇ НА ОСНОВІ БАГАТОРІВНЕВИХ М-ПОСЛІДОВНОСТЕЙ	180
Д.А. МАКАРИШКІН, В.М. КУЛЬЧИЦЬКИЙ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕДАВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ НАДШИРОКОСМУГОВИХ МОБІЛЬНИХ РАДІОЛОКАТОРІВ ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ	184
О.В. СЕМЧИШИН, Ю.З. ЛЕЩИШИН ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДУ ВИДІЛЕННЯ RR-ІНТЕРВАЛІВ ЕЛЕКТРОКАРДІОСИГНАЛІВ ПЛОДУ	187
В.И. МЕЖУЕВ ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МЕТОДОЛОГИЙ	194
В.Т. КОНДРАТОВ ТЕОРИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ: НОВЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ НАРАБОТКИ НА МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ОТКАЗ. СООБЩЕНИЕ 2	200
О.О. ЄФРЕМОВА, В.М. ДЖУЛІЙ, Л.Л. ГРАБОВСЬКА РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ БІОТЕСТУВАННЯ	205
А.Я. КУЛИК ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ В РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ	212
В.Ю. ТІТОВА ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАДІЙНОСТІ АПАРАТНИХ РЕАЛІЗАЦІЙ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ	215
В.С. ХАРЧЕНКО, О.Н. ОДАРУЩЕНКО, О.В. ИВАНЧЕНКО ПРИНЦИПЫ АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ КРИТИЧЕСКИХ ИНФРАСТРУКТУР	218
Т.О. ГОВОРУЩЕНКО, Є.Г. ГНАТЧУК ОСОБЛИВОСТІ ВІДМОВСТІЙКИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ З ПРОГРАМОВАНОЮ ЛОГІКОЮ ЯК ОБ'ЄКТІВ ДІАГНОСТУВАННЯ	222
В.М. ЛОКАЗЮК, Д.М. МЕДЗАТИЙ ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ПРИСТРОЇВ З ПРОГРАМОВАНОЮ ЛОГІКОЮ	226
Г.Г. ЦЕГЕЛИК, Р.О. ОБУХІВСЬКИЙ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОПТИМАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ІНДЕКСО-ПОСЛІДОВНИХ ФАЙЛІВ БАЗ ДАНИХ	232
В. ПАСІЧНИК, Н. ІВАНУЩАК ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОСТУ ЛОКАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ	238
В.І. ВОДОТОВКА, Ф.М. РЕПА РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ ПІДВИЩЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПІДСИЛЕННЯ ЗА ФУНКЦІЯМИ ВІДНОСНОЇ ЧУТЛИВОСТІ	245
С.М. ЛЕВИЦЬКИЙ МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РЕГУЛЯТОРА СИСТЕМИ ПОЗДОВЖНЬО-ПОПЕРЕЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ	248

О.С. ПИВОВАР, Я.О. БОЖОК ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТОПОЛОГІЧНОЇ СТРУКТУРИ ПРОВІДНИКІВ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ІНТЕРФЕЙСІВ БАГАТОШАРОВИХ ПЕЧАТНИХ ПЛАТ	252
М.О. ПРОКОПОВА, Т.І. КОЗЛОВСЬКА, А.М. КОЗАК, К.І. КРАВЦОВ МЕТОДИ ОБРОБЛЕННЯ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФІЧНИХ СИГНАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ФУР'Є ПЕРЕТВОРЕННЯ	256

УДК 687.016.5

Л.В. КРАСНЮК, О.В. ЧОРНА, О.М. ТРОЯН

Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ СПОЖИВЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЖІНОЧИХ УТЕПЛЕНИХ КУРТОК

Визначена область застосування жіночих утеплених курток. Встановлено ступінь відповідності властивостей виробів вимогам споживачів у побутових умовах та під час активного відпочинку.

An application of womanish heat-insulated jackets domain is certain. The degree of accordance of properties of wares is set to the requirements of users in domestic terms and during active rest.

Ключові слова: споживчі властивості жіночих утеплених курток, динамічна відповідність конструкції.

Постановка проблеми

В засобах масової інформації: на телебаченні, радіо, в періодичних виданнях сьогодні відбувається популяризація здорового способу життя та заохочення до занять спортом, що приводить до все ширшого зацікавлення населення активними видами відпочинку. Запорукою комфорту та гарного настрою є зручний, якісний одяг, що має особливе значення в зимовий період. Вагоме місце серед всього різноманіття швейних виробів займає тепलोзахисний одяг, зокрема утеплені куртки. Більшість споживачів не обмежуються лише побутовими умовами і використовують куртки як одяг для активного відпочинку.

Це пояснюється тим, що пересічні громадяни через невисокий рівень достатку не мають можливості придбати високоякісні спортивні вироби, що, зазвичай дорого коштують, а тому змушені використовувати побутовий одяг, зокрема утеплені куртки, і для активного відпочинку. Однак, властивості одягу, орієнтованого на експлуатацію в побутових умовах в межах населеного пункту не завжди можуть забезпечити ефективний захист людини в несприятливих кліматометеорологічних умовах за містом. Отже, і властивості такого одягу не можуть повністю задовольнити споживачів. Такий стан справ можна пояснити тим, що на етапі проектування виробники не завжди враховують фізико-механічні властивості матеріалів, що утворюють пакет утепленого одягу, відсутні рекомендації щодо застосування сучасних матеріалів. Крім того, на сьогодні залишається невирішеним питання по створенню конструкції, яка, завдяки високим показникам ергономічних властивостей, здатна забезпечити відповідність утепленого одягу різноманітним умовам експлуатації.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз наукових досліджень, проведених у МДАЛП, ШТІПО, С-Пб.ДУТД, КНУТД, показав що на сьогодні основними напрямками удосконалення теплозахисного одягу є вибір оптимального складу пакета матеріалів та розробка раціональної конструкції. В роботах [1-8] розглянуті питання підвищення рівня ергономічної відповідності різних видів одягу – побутового, спеціального, спортивного. Проте, рекомендації, щодо підвищення рівня ергономічної відповідності одягу, призначеного як для побутових умов, так і для активного відпочинку відсутні, в той час коли попит на даний вид одягу є досить високим.

Тому дослідження, направлені на удосконалення процесу проектування утепленого жіночого зимового одягу є актуальними.

Формулювання цілі статті

Стаття присвячена питанням удосконалення процесу проектування жіночих утеплених курток, які б задовольняли за своїми властивостями вимоги споживачів як в побутових умовах, так і під час занять різноманітними видами активного зимового відпочинку.

Виклад основного матеріалу

Початковим етапом проектування одягу є визначення області його застосування. В результаті такого аналізу виділені основні види діяльності, для яких характерне використання жіночих утеплених курток в зимовий період року (рис. 1).

Як видно із представленого рисунку, в побуті утеплені жіночі куртки використовують в зимову пору року під час походів на роботу або навчання, по магазинах, під час виконання певних робіт по домашньому господарству на відкритому повітрі (переважно в сільській місцевості), під час прогулянок та інше. Особливістю різноманітних побутових умов є те, що людина знаходиться в межах населеного пункту. Її перебування на вулиці обмежене в часі і при потребі (під час несприятливих погодних умов) вона може зайти в приміщення.

Щодо активного відпочинку, то на сьогодні туристичні секції, клуби, громадські організації, що пропагують здоровий спосіб життя, а також туристи за власної ініціативи займаються організацією різних видів активного відпочинку в зимовий період року. Тобто, утеплені куртки використовують для занять туризмом, а також для інших видів відпочинку, зокрема таких, якими займаються на гірськолижних курортах: катання на лижах, катання на санях, сноубординг, катання на ковзанах тощо.

Відповідно до [9], туризм – тимчасовий виїзд особи з місця постійного проживання в оздоровчих,

пізнавальних, професійно-ділових чи інших цілях без здійснення оплачуваної діяльності в місці перебування.

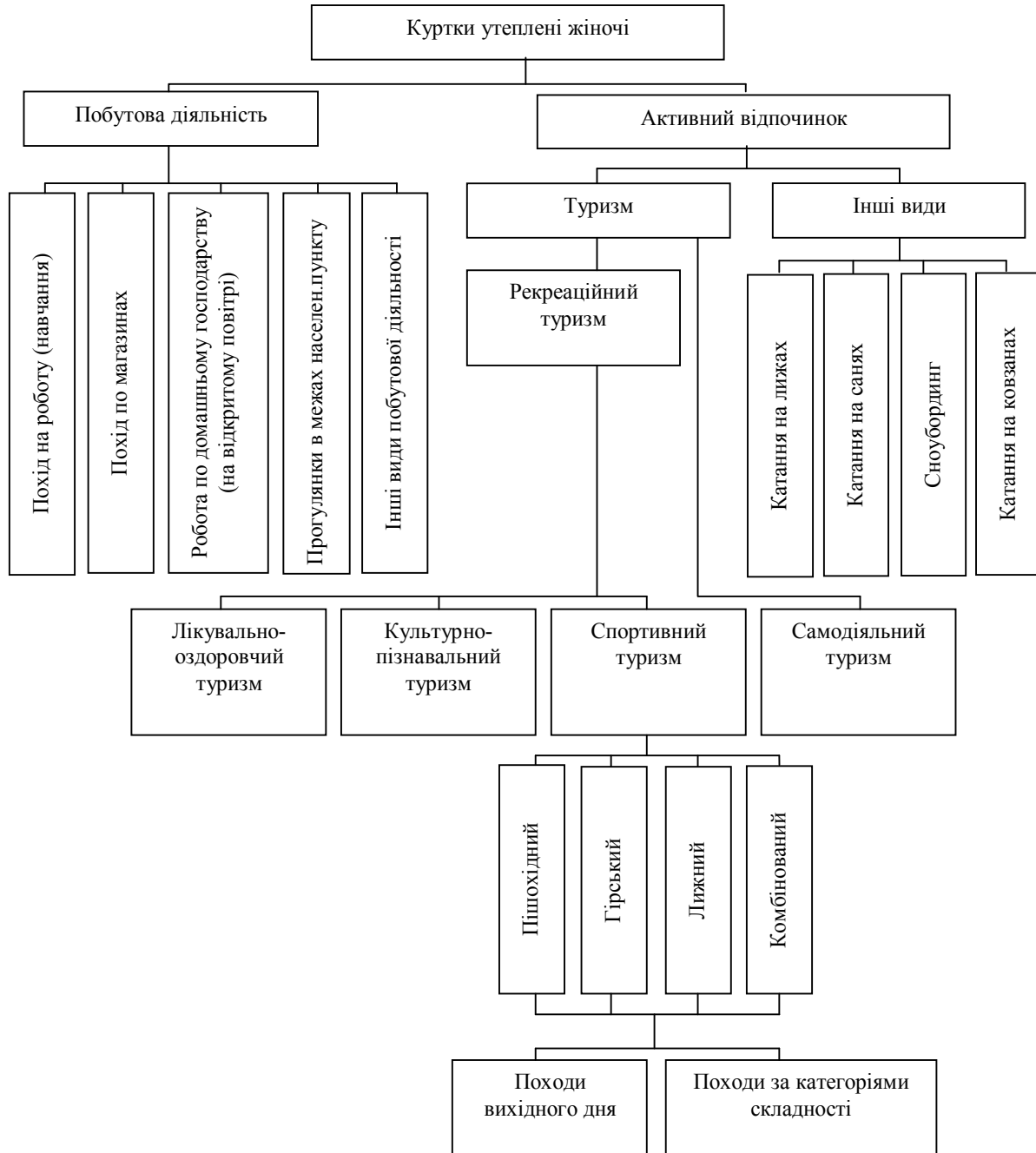


Рис. 1. Види діяльності, при яких використовують жіночі утеплені куртки

Залежно від цілей осіб, які здійснюють туристичні подорожі (поїздки, відвідування), можна виділити два типи туризму: діловий та рекреаційний. В даному випадку варто зупинитися на другому виді.

Рекреаційний туризм – вид туризму, цілями якого є відпочинок, лікування або спорт. Для рекреаційного туризму характерні більша тривалість поїздки, менша кількість відвідуваних місць призначення й, відповідно, більша тривалість перебування в одному місці [10]. Основними видами рекреаційного туризму є лікувально-оздоровчий, культурно-пізнавальний та спортивний туризм.

Лікувально-оздоровчий туризм поєднує у собі фізичні й психоемоційні навантаження; оздоровчі компоненти як фізичної культури, так і тривалого неформального спілкування, розвивають в людині витривалість, вольові якості, дисципліну, уміння працювати в команді. У процесі походу інструктор навчає навичкам техніки туризму, правилам співіснування з навколишнім середовищем і дбайливого ставлення до нього, знайомить із способами виживання в екстремальних ситуаціях і надання першої медичної допомоги потерпілим [11].

Культурно-пізнавальний туризм – це вид туризму, який характеризується цільовим призначенням і забезпеченням туристичного маршруту відповідними програмами обслуговування. Як правило, однією із складових в програму туристичної поїздки включаються екскурсії, відвідування музеїв, визначних місць та пам'яток культури [12].

Спортивний туризм – це вид спорту з подолання протяжного відрізка земної поверхні, що називається маршрутом. До спортивного відносяться наступні види: пішохідний, гірський, лижний, комбінований.

Пішохідний туризм є одним з найбільш розповсюджених видів спортивного туризму. Основною його метою є подолання групою туристів маршруту по слабо пересіченій місцевості за заданій проміжок часу. Категорія складності маршруту визначається за наявності локальних перешкод, географічного показника району, кліматичних умов проходження, автономності, напруженості маршруту та інше.

Гірський туризм – це подорож в горах, пов'язана з проходженням відносно складних ділянок гірського рельєфу, таких як схили, гребені, льодовики, перевали, форсування гірських потоків тощо. Для гірського туризму характерні: великий об'єм фізичних навантажень на організм при зниженому атмосферному тиску і високому рівні сонячної радіації, необхідність подолання перешкод із застосуванням різноманітних засобів і прийомів пересування й страховки, спеціальна тактика проходження маршруту. Головною перешкодою в гірських походах вважаються перевали, їх число й категорії важкості визначають складність усього маршруту. Сучасний рівень розвитку гірського туризму дозволяє здійснювати нескладні в технічному відношенні гірські туристичні походи практично всім здоровим людям незалежно від віку.

Лижний туризм – походи й подорожі по снігу на лижах. Для лижного туризму характерні багатоденні походи як по рівнинній і пересіченій місцевості, так і по середньогірним й високогірним районам (у тому числі лавинонебезпечним) в умовах низької температури з важкими рюкзаками, найчастіше по глибокому снігу, коли день короткий, а погода може різко змінюватись. У зимових походах туристичні лижники набувають навичок діяти в суворих кліматичних умовах, долати складні перешкоди, переносити великі фізичні навантаження, організовувати ночовки й відпочинок у полі, лісі або безліссі. Усе це обумовлює необхідність приділяти особливу увагу складу групи, фізичній, технічній й тактичній підготовленості учасників походу, їх психологічній сумісності, похідному досвіду, навичкам бівуачного життя, кількості і якості спорядження [13].

Комбінований або "мульти- туризм" – це умовна названапрямку, в якому учасники за одну подорож (похід) комбінують елементи різних видів туризму [14]. Залежно від труднощів подоланих перешкод, району походу, автономності, новизни, довжини маршруту й ряду інших його факторів, характерних для різних видів спортивного туризму, по зростаючій складності походи поділяються на: походи вихідного дня і походи за категоріями складності [15].

Походи й тури вихідного дня – найбільш масовий і доступний вид туристичного походу й активного відпочинку на природі. Тривалість походу вихідного дня, як правило, складає від 1 до 3 днів, довжина маршрутів від 10-12 до 40-60 км. Число учасників від 2-3 до 30-50 осіб і більше. Похід вихідного дня зазвичай проводиться в околицях міста, населених пунктів.

Залежно від фізичних навантажень походи вихідного дня умовно підрозділяють на пізнавальні, прогулянкові й тренувальні. У пізнавальних турах вихідного дня туристи знайомляться з історичними й культурними пам'ятниками, природними пам'ятками краю. Прогулянкові походи вихідного дня мають в основному оздоровчий і пізнавальний характер. Ціль тренувальних походів – зміцнити здоров'я туристів, загартувати їх фізично, відпрацювати прийоми подолання природних перешкод, набуті навички орієнтування на місцевості [11].

Окремим видом туризму можна виділити самодіяльний туризм. Самодіяльний (незалежний, вільний) туризм (від англ. backpacking) – самостійна подорож. Усі свої подорожі бекпекер планує й здійснює самостійно: переміщується на всіх видах громадського транспорту (автобуси, потяги), їздить автостопом і ходить пішки. У дорозі бекпекер ночує у готелях, кемпінгах, в наметі. Харчується звичайно там само, де й місцеві мешканці – у їдальнях, кафе і недорогих ресторанах [16].

Таким чином, систематизовані види діяльності, при занятті якими можливо використовувати жіночу утеплену куртку, як основний вид теплозахисного одягу, та виявлені особливості кожного із вищевказаних видів. Дана інформація є підґрунтям для розроблення вимог до теплозахисного одягу, призначеного для носіння у різних умовах в зимовий період року.

Для визначення напрямків удосконалення процесу проектування жіночих утеплених курток проведено анкетне опитування споживачів, щодо якості виробів, які вони експлуатують. Опитування споживачів проведено за анкетною, в якій поставлено ряд питань на предмет задоволення властивостями курток, які вони експлуатують. Склад експертів представлений жінками молодшої вікової групи у віці від 18 до 21 року, які є найактивнішими споживачами утеплених курток, в кількості 25 чоловік. Їм пропонувалось відповісти на ряд питань, щодо умов використання курток та оцінити їх наступні властивості: 1 – теплозахисні в побуті; 2 – теплозахисні під час активного відпочинку; 3 – вітрозахисні в побуті; 4 – вітрозахисні під час активного відпочинку; 5 – водозахисні в побуті; 6 – водозахисні під час активного відпочинку; 7 – маса виробу; 8 – динамічна відповідність в побуті; 9 – динамічна відповідність під час активного відпочинку; 10 – статична відповідність; 11 – зручність одягання та знімання; 12 – зручність користування окремими елементами; 13 – паропроникність матеріалів; 14 – стійкість матеріалів до розривних навантажень; 15 – стійкість матеріалів до стирання; 16 – відповідність сучасному стилю та моді; 17 – кольорове вирішення.

В результаті опитування виявилось, що 100 % експертів використовують утеплені куртки як для побутової діяльності, так і для активного відпочинку. Найбільша кількість споживачів (64 %)

використовують куртки для занять пішохідним туризмом. 48 % опитаних одягають їх під час катання на ковзанах. 36 % експертів як вид активного відпочинку, під час якого вони носять утеплену куртку, вказали катання на санях. На лижах в утеплених куртках катаються 16 % опитаних споживачів. Найменша кількість (по 4 %) займаються гірським туризмом та сноубордингом.

Основною метою проведення анкетування було визначення ступеня відповідності властивостей жіночих утеплених курток вимогам експертів (K_e):

$$K_e = \frac{1}{m} \cdot \sum_{i=1}^m K_i \cdot 100, \quad (1)$$

де K_e – ступінь відповідності властивостей жіночих утеплених курток вимогам експертів, %;
 m – кількість експертів;
 K_i – позитивна оцінка m -го експерта.

Оцінка ступеня відповідності властивостей одягу вимогам окремо кожного експерта (K_e) визначається за формулою:

$$K_e = \frac{1}{n} \cdot \sum_{j=1}^n K_j \cdot 100, \quad (2)$$

де K_e – ступінь відповідності властивостей одягу вимогам окремо кожного експерта, %;
 n – кількість факторів;
 K_j – позитивна оцінка n -ї властивості (фактора) [17].

За результатами анкетного опитування побудовано гістограму оцінки ступеня відповідності (K_e) властивостей жіночих утеплених курток вимогам експертів (рис. 2).



Рис. 2. Гістограма оцінки ступеня відповідності властивостей жіночих утеплених курток вимогам експертів

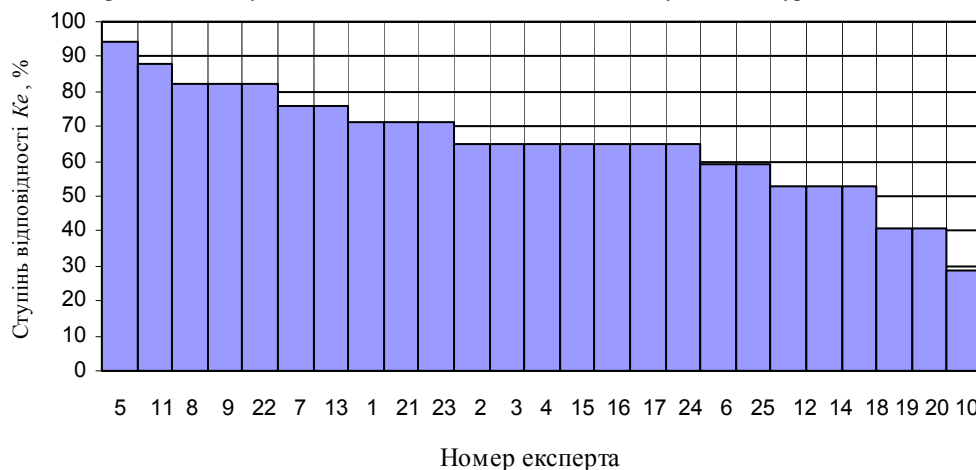


Рис. 3. Оцінка ступеня відповідності властивостей курток вимогам окремо кожного експерта

Як видно із гістограми, найнижчим ступенем відповідності вимогам експертів характеризуються властивості жіночих утеплених курток, коли їх експлуатують під час активного відпочинку. Зокрема, вітрозахисні властивості під час активного відпочинку задовольняють споживачів лише на 24 %; теплозахисні – на 28 %; водозахисні – на 44 %. У той же час ці ж самі властивості в побутових умовах задовольняють експертів відповідно на 40 %, 60 %, 72 %, 72 %.

Такі ергономічні показники як маса куртки, статична відповідність та зручність одягання та знімання куртки мають досить високі показники ступеня відповідності вимогам експертів – 92 %, 84 % і

88 % відповідно.

Ще один ергономічний показник – зручність користування окремими елементами, гігієнічний показник – паропроникність матеріалів куртки, а також експлуатаційні показники стійкість матеріалів до розривних навантажень та стійкість матеріалів до стирання мають дещо нижчі показники ступенів відповідності – по 72 % кожен.

Естетичні показники відповідності сучасному стилю та моді та кольорове вирішення курток відповідають вимогам експертів на 84 % і 92 % відповідно.

На рис. 3 представлено гістограму оцінки ступеня відповідності (K_e) властивостей утеплених курток вимогам окремо кожного експерта.

Як видно з представленої гістограми (рис. 3), 15 експертів, що становить 60 % від їхньої загальної кількості, вважають, що властивості утеплених курток, які вони експлуатують в зимовий період року, відповідають зазначеним вимогам менше, ніж на 70 %. При цьому, лише 20 % експертів оцінили ступінь відповідності виробів комплексу зазначених в анкеті споживчих вимогам, вище 80 %.

Висновки

У результаті проведеного дослідження встановлено, що область застосування жіночих утеплених курток є досить широкою і не обмежується експлуатацією в звичайних побутових умовах. Тому, сьогодні гостро стоїть питання проектування виробів із розширеними можливостями використання – як для побутових умов, так і для активного відпочинку.

Анкетне опитування показало, що жіночі утеплені куртки не в повній мірі задовольняють вимоги споживачів. Основним недоліком існуючих виробів є недостатній рівень захисних властивостей, особливо під час активного відпочинку. Також невисоким є рівень задоволеності динамічною відповідністю конструкції курток, тобто виріб не завжди забезпечує достатньої зручності рухів.

Отже, наукові дослідження щодо удосконалення процесу проектування жіночих утеплених курток повинні бути, в першу чергу, направлені на підвищення їх захисних та ергономічних властивостей, зокрема динамічної відповідності.

Література

1. Сурженко Е.Я. Теоретические основы и методическое обеспечение эргономического проектирования специальной одежды: автореф. дис. на соискание доктора науч. степени д. т. н. наук: 05.19.04. – М., 2001. – 52 с.
2. Бахтина Е.Ю. Эргономические исследования и совершенствование конструкций специальной одежды для женщин / Е.Ю.Бахтина, Е.Я.Сурженко // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. – 2000. – № 3. – С. 87-89.
3. Святкіна А.Є.. Отримання вихідних даних на основі динамічної антропометрії для оптимізації конструктивних параметрів жіночого плечового одягу за ергономічним показником динамічної відповідності // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2003. – № 5, Ч.1. – С. 30-33.
4. Ольшанская Г.Г. Функционально-эргономическое обоснование проектных решений одежды специального назначения: автореф. дис. на соискание доктора науч. степени к. т. н.: 05.19.04. – Л., 1990. – 19 с.
5. Легензова Е.А. Проектирование специальной одежды с заданным уровнем динамического соответствия: дис. канд. техн. наук: 05.19.04. – Л., 1992. – 184 с.
6. Евтодий И.Ю. Биокинематическое исследование взаимодействия элементов системы «человек-спецодежда»: дис. канд. техн. наук: 05.19.04. – СПб., 1996. – 187 с.
7. Сахарова Н.А. Методика конструирования эргономического комбинезона общего назначения для работников автосервиса / Н.А. Сахарова // Известия ВУЗов. Технология текстильной промышленности. – 2006. – № 5. – С. 92–97.
8. Бахтина Е.Ю. Разработка методических принципов эргономического проектирования специальной одежды / Е.Ю. Бахтина, Е.Я. Сурженко // Вестник молодых ученых. Технические науки. – 2002. – № 1. – С. 47–56.
9. Маслов В.В. культурологічний аналіз феноменів сучасного туризму [ел. рес.]. – <http://www.kutep.kiev.ua>.
10. Словарь по туризму [ел. рес.]. – <http://www.actravel.ru>
11. Спортивно-оздоровительный пешеходный туризм [ел. рес.]. – <http://brodyaga.org>
12. Ахматова Л.И. Культурное наследие – как один из элементов туристического интереса [ел. рес.]. – <http://vestnik.ssu.samara.ru>.
13. Лыжный туризм [ел. рес.]. – <http://komanda-46.ru>
14. Комбинированный туризм [ел. рес.]. – <http://protours.ru>.
15. Спортивный туризм [ел. рес.]. – <http://ru.wikipedia.org/wiki/>
16. Самодеятельный туризм [ел. рес.]. – <http://http://ru.wikipedia.org/wiki/>
17. Краснюк Л.В. Удосконалення процесу проектування спортивного теплозахисного одягу для гірських туристів: дис. канд. техн. наук: 05.19.04. – Хмельницький, 2002. – 126 с.

Надійшла 20.11.2010 р.

ВИБІР ПРИБАВОК НА ВІЛЬНЕ ОБЛЯГАННЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ СПЕЦОДЯГУ З ВИСОКИМ РІВНЕМ ЕРГОНОМІЧНОЇ ВІДПОВІДНОСТІ

У статті розглядається дослідження з вибору прибавок на вільне облягання для побудови конструкції спеціального одягу для перукарів з високим рівнем ергономічної відповідності.

In the article research on the choice of increases is examined on the free fitting snugly for the construction of construction of the special clothes for hairdressers with the high level of ergonomics accordance.

Ключові слова: спецодяг для перукарів, прибавки, ергономічна відповідність конструкції одягу.

Постановка проблеми

Сьогодні одяг спеціального призначення присутній в усіх областях людської діяльності. Він відіграє важливу роль у створенні безпечних умов праці робітників на виробництві та профілактики профзахворювань. Створення спеціального одягу необхідної якості залежить як від властивостей матеріалів, що застосовуються, так і від його конструктивного вирішення. Процес проектування та вибір конструктивних форм спецодягу має ряд особливостей, пов'язаних, головним чином, із захисними функціями одягу і потребує врахування захисних, експлуатаційних, ергономічних, гігієнічних, естетичних вимог, а також показників економічності та технологічності виробу. Проте, серед цих показників для спеціального одягу деяких виробництв найважливішим є відповідність ергономічним вимогам. На сьогодні особливо гостро відчувається проблема цілеспрямованого забезпечення працівників таким спецодягом, який би відповідав умовам експлуатації, зокрема характеру виконуваних рухів. Так, специфіка експлуатації спецодягу для перукарів вимагає, щоб його конструкція забезпечувала достатню свободу рухів рук при наданні перукарської послуги. Проте існує невизначеність масиву вхідної проектною інформації щодо конструктивного рішення спецодягу типу халата для перукарів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проектування спецодягу, який би відповідав всьому спектру рухів працівників являє собою досить складну задачу. В основу її розв'язання науковці покладають комплексний підхід [1, 2], заснований на таких принципах: виборі прибавок на вільне облягання, величини яких визначають на основі величин динамічних пріоритетних ознак тіла людини; використанні еластичних матеріалів; пошуку раціональних членувань і способів їх з'єднання, які можуть бути частково, чи повністю рухливими. Сьогодні швидкими темпами ведуться роботи з проектування спецодягу, що адресований для конкретних галузей промисловості [3-5]. При цьому нові, удосконалені конструкції спецодягу проектують на базі раніше розроблених, з внесенням коректив у певні конструктивні параметри [6]. Проте, поряд із зазначеними розробками, спостерігається обмежена кількість досліджень, присвячених розробці спецодягу для перукарів.

Формулювання цілі статті

Стаття присвячена проблемі забезпечення ергономічної відповідності конструкції спеціального одягу для перукарів умовам його експлуатації.

Виклад основного матеріалу

Однією із умов створення спеціального одягу високої якості є ергономічна конструкція, що максимально відповідає характеру та умовам праці. На сьогодні розроблені конструкції спецодягу для захисту від загальних виробничих забруднень, проте ці вироби виготовляють за спрощеними технічними умовами, не прив'язаними до конкретного виробництва, тому не повною мірою враховують умови праці при наданні перукарських послуг, внаслідок чого не задовольняють вимоги споживачів. Зважаючи на те, що під час роботи одяг перукаря піддається різноманітним динамічним навантаженням, особливо на ділянці плечового поясу, важливим є створення такого одягу, який би забезпечував свободу рухів рук перукаря. Реалізація цього завдання можлива за рахунок створення конструкції спецодягу з високим рівнем ергономічної відповідності.

Основними засобами створення ергономічної конструкції спеціального одягу є прибавки на вільне облягання та конструктивне вирішення вузла «пройма-рукав» [7, 8]. Так як конструкції спеціального одягу є модифікаціями базових основ побутового одягу з внесенням змін у величини прибавок, то доцільно виконати аналіз методик конструювання плечового жіночого одягу напівприлеглої силуету з метою виявлення розподілу прибавки до півобхвату грудей (P_r) по конструктивних ділянках спинки, пройми і грудей.

Результати аналізу величин прибавок, що пропонуються різними методиками конструювання жіночого одягу напівприлеглої силуету приведено в табл. 1.

Дослідженням встановлено, що конструкції спецодягу, побудовані за різними методиками відрізняються величинами прибавок до певних ділянок конструкції, розподілом прибавок на вільне облягання по ширині грудей. Аналіз результатів дослідження (табл. 1) показав, що найбільша частина прибавки P_r в розглянутих методиках йде на ділянку пройми ($P_{ш.пр}$), залишена частина прибавки по ділянках спинки ($P_{ш.с}$) і пілочки ($P_{ш.п}$) розподіляється порівну (методика 3), або ж на ділянку спинки виділяється більша частина порівняно з пілочкою (методики 1, 2, 4, 5).

Аналіз методик конструювання жіночого плечового одягу напівприлеглого силуету

Методика побудови конструкції, автор методики	P_r (прибавка до півобхвату грудей III)				Прибавка на свободу пройми (по глибині), см	Прибавка до півобхвату талії, см	Прибавка до півобхвату сегоні, см	Прибавка до обхвату плеча, см
	Загальна величина P_r , см	Розподіл P_r по ділянках, %						
		спинки ($P_{ш.с}$)	пройми ($P_{ш.пр}$)	пілочки ($P_{ш.п}$)				
1. ЦОТШЛ	6-7	20-30	60	10-20	1-2,5	4-5	2-3	5-7
2. ЦНДШП	5-6	33	50	17	1-2	8-10	від 1,5	5-7
3. ЄМКО РЕВ	4,5	25	50	25	3,5	-	-	4,5
4. Коблякова Є.Б [9]	4	30	50	20	-	-	-	-
5. Козлова О.В [10]	5-7	13-22	55-84	0-20	-	-	-	-

З метою розробки конструкції спецодягу з високим рівнем динамічної відповідності проведено аналіз конструкцій спецодягу, що розроблені за методикою ЦНДШП в різні роки. Для виявлення закономірності розподілу прибавки P_r проаналізовано конструкції різних видів плечового спецодягу, рекомендовані прибавки $P_{ш.с}$, $P_{ш.пр}$, $P_{ш.п}$ та їх розподіл по ділянках конструкції (табл. 2).

Таблиця 2

Аналіз розподілу прибавки до півобхвату грудей P_r по ділянках конструкції

Вид спецодягу	Величина P_r , см	Розподіл прибавки P_r по ділянках, %		
		$P_{ш.с}$	$P_{ш.пр}$	$P_{ш.п}$
1. Куртка [2]	18	33	30	37
2. Комбінезон [5]	6,8-16	45	30	25
3. Куртка для автоспортсменів [7]	12	-	60	-
4. Халат [11]	14,4	30,5	27,1	42,4
5. Плащ [12]	12,8	38,3	25	36,7
6. Халат [12]	13	20,8	50	29,2
7. Куртка [8]	10	39,6	23,1	37,3

У результаті проведеного аналізу (табл. 2) встановлено, що в розглянутих конструкціях спеціального одягу величина прибавки P_r , коливається в широкому діапазоні (від 6,8 см до 16 см), величини прибавок по основних конструктивних ділянках також суттєво відрізняються, а закономірностей розподілу прибавок $P_{ш.с}$, $P_{ш.пр}$, $P_{ш.п}$ не виявлено. Це пояснюється різними видами спецодягу, величинами прибавок і адресного призначення спецодягу.

Зважаючи на те, що найбільших навантажень під час роботи спецодяг перукарів зазнає на ділянках ширини спинки та пройми, необхідним є внесенням коректив в певні конструктивні параметри вихідної конструкції. Такими параметрами є прибавки на вільне облягання. Тому наступний етап дослідження присвячено вибору прибавок для побудови конструкції спецодягу для перукарів у відповідності до умов їх праці, а також оцінці ергономічної відповідності створеної конструкції.

Вихідною конструктивною основою спецодягу для перукарів обрано конструкцію халата з рекомендованим ЦНДШП розподілом прибавки P_r , см (2,2; 1,9; 2,9). Ця методика обрана за базову з огляду на те, що ЦНДШП тривалий час займається розробкою базових основ конструкцій спецодягу, крім того в даній методиці використовують розрахунково-графічні методи побудови, де до складу розрахункових формул входить величина розмірної ознаки і прибавки на свободу (прибавки динамічної). Проте, рекомендовані величини прибавок використовувати недоцільно, тому що надлишкова ширина виробу по лінії грудей заважатиме при роботі перукарів. Тому, враховуючи умови праці перукарів, потрібно вибрати такі величини прибавок, які б забезпечували необхідну свободу рухів, тобто робили конструкцію більш ергономічною. Для цього необхідно розширити прийму за рахунок перерозподілу загальної величини прибавки P_r між основними ділянками конструкції до ширини пройми (3,5-4,5 см), ширини спинки (2-3 см) і до ширини пілочки (0,5 см), а також за рахунок зміни конструктивної прибавки до півобхвату грудей у порівнянні з величиною, яка використовується при проектуванні спецодягу загального призначення. Загальна величина прибавки P_r становить 7 см.

Отже, на основі базової конструкції ЦНДШП розроблено три конструкції дослідних моделей з різним розподілом прибавки P_r до ширини спинки ($P_{ш.с}$), пройми ($P_{ш.пр}$) та пілочки ($P_{ш.п}$) (табл. 3).

Таким чином, створено дослідні моделі одягу, конструкції яких побудовані з різними значеннями розподілу прибавки P_r по ділянках конструкції. Конструкція дослідної моделі № 1 побудована з розподілом прибавки P_r , що рекомендується сьогодні для конструкції халату жіночого, призначеного для захисту від загальних виробничих забруднень [13], а дослідних моделей № 2-4 побудована за запропонованим авторами розподілом прибавки P_r . З метою підвищення динамічної відповідності конструкції збільшена прибавка до

ширини спинки ($P_{ш,с}$) і пройми ($P_{ш,пр}$), зменшена прибавка до ширини пілочки ($P_{ш,п}$).

Таблиця 3

Конструктивні параметри дослідних моделей

Номер дослідної моделі	Розподіл прибавки P_r по ділянках конструкції					
	$P_{ш,с}$		$P_{ш,пр}$		$P_{ш,п}$	
	см	%	см	%	см	%
Модель № 1	2,90	42,4	1,90	27,1	2,20	30,5
Модель № 2	3,00	42,86	3,50	50,00	0,50	7,14
Модель № 3	2,50	35,71	4,00	57,14	0,50	7,14
Модель № 4	2,00	28,57	4,50	64,29	0,50	7,14

З метою виявлення серед дослідних моделей виробів з найвищим рівнем ергономічної відповідності проведено їхнє ергономічне оцінювання. Для ергономічного оцінювання конструкцій спецодягу для перукарів використано відомий комплексний метод [14], що включає виявлення одиничних показників ергономічної відповідності, визначення коефіцієнтів їх вагомості, вибір методів диференційованої оцінки одиничних показників і розрахунку комплексного показника ергономічної відповідності спецодягу. Схема послідовності етапів оцінювання ергономічної відповідності спецодягу для перукарів зображена на рис. 1.

Аналіз результатів дослідження ергономічної відповідності дозволив встановити, що дослідний зразок № 3 має найвищі показники, як динамічної, так і статичної відповідності, тому параметри його конструкції можуть бути рекомендовані для розробки спецодягу для перукарів.

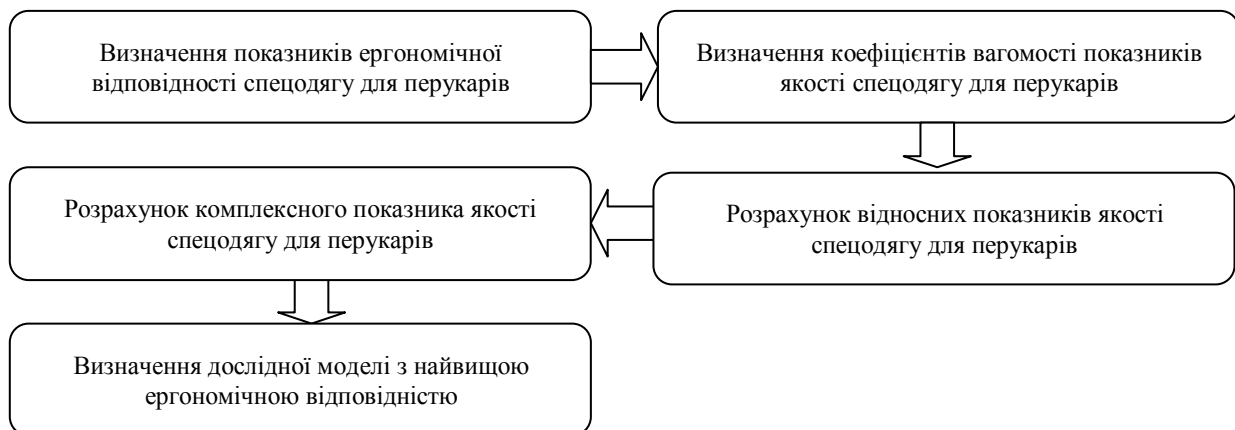


Рис. 1. Схема основних етапів оцінювання ергономічної відповідності спецодягу для перукарів

Висновки

Проведене дослідження дозволило оцінити рівень якості розроблених дослідних моделей, визначити величини основних параметрів, які впливають на рівень ергономічної відповідності спецодягу для перукарів, виділити конструкцію спецодягу для перукарів з найкращою ергономічною відповідністю.

Література

1. Шершнева Л.П. Современные подходы к проектированию динамически комфортных конструкций детской одежды / Шершнева Л.П // Швейная промышленность. – 2004. – № 5. – С. 43-45.
2. Бахтина Е.Ю. Разработка методических принципов эргономического проектирования специальной одежды / Е.Ю. Бахтина // Вестник молодых ученых. Серия: Технические науки. – 2002. – № 1. – С.47-56.
3. Байжанова Ж.Б. Разработка конструкции специальной одежды для промышленного строительства с использованием компьютерной технологии / Ж.Б. Байжанова // Швейная пром-сть. – 2007. – № 4. – С. 45-46.
4. Мачинская Ю.В. Разработка эргономически рациональной конструкции женского комбинезона / Ю.В. Мачинская // Швейная промышленность. – 2007. – № 5. – С. 38-39.
5. Сахарова Н.А. Исследования в области оптимизации конструкции мужского комбинезона / Н.А. Сахарова, В.Е. Солдатов // Рабочая одежда. – 2006. – № 4. – С.87- 92.
6. Чубарова З.С. Новые базовые конструкции мужской специальной одежды / З.С. Чубарова, Т.Е. Ливанова, С.Г. Пальянова // Швейная промышленность. – 1983. – № 3,- С.12-14.
7. Ольшанская Г.Г. Функционально-эргономическое обоснование проектных решений одежды специального назначения: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: 05.19.04 / Ленинградский ордена Трудового Красного Знамени институт текстильной и легкой промышленности имени С.М. Кирова. – 1990. – 20 с.

8. Некоторые принципы разработки конструктивной основы спецодежды / А.Д. Сироткина, П.П. Кокеткин, К.И. Рябова, М.И. Барабанова, К.А. Гуревич // Швейная промышленность. – 1971. – № 5. – С.20-23.
9. Коблякова Е.Б. Зависимость деформации в деталях женского легкого платья от величины и распределения припуска на свободное облегание и длины рукава / Е.Б. Коблякова // Швейная промышленность. – 1974. – № 6. – С.18-19.
10. Козлова Е.В. Оптимизация параметров участков конструкции женских изделий, изготавливаемых по индивидуальным заказам / Е.В. Козлова, Е.В. Коваленко // Швейная промышленность. – 2005. – № 4. – С.47-48.
11. Романов В.Е. Системный подход к проектированию специальной одежды / В.Е. Романов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 128 с.
12. Чубарова З.С. Методы оценки качества специальной одежды. – М.: Легпромбытиздат, . 1988. – 160 с.
13. Русинова А.М. Производственная одежда / А.М. Русинова. – М.: Легкая индустрия, 1974. – 160 с.
14. Коблякова Е.Б. Основы проектирования рациональных размеров и форм одежды. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 208 с.

Надійшла 4.11.2010 р.

УДК 687. 016.5: 515.1

О.В. ЗАХАРКЕВИЧ

Хмельницький національний університет

РОЗРОБКА ТИПОЛОГІЧНОГО РЯДУ ЖІНОЧОГО ПЛЕЧОВОГО ОДЯГУ

Розроблено типологічний ряд жіночого плечового одягу, який показує ієрархічну підпорядкованість виробів жіночого плечового одягу та дозволяє визначити послідовність їх трансформації із вихідного виду виробу в будь-який інший.

This article is devoted to developing of the typological range of the woman's garments, which shows the hierarchical subordination of the woman's garments. The range determines the sequence of their transformation from the original type of product in any other.

Ключові слова: типологічний ряд, трансформація, виріб-трансформер, трансформуючий елемент, матриця взаємозв'язків, структурно-логічна модель.

Постановка проблеми

Сьогодні, коли ринок України насичений різними видами одягу, сучасні вимоги до швейної промисловості диктують необхідність інтенсивного оновлення асортименту. Одним із напрямків розширення асортименту та підвищення конкурентоспроможності швейних виробів є розробка виробів-трансформерів.

Проте, технологія виготовлення таких виробів та конструкторсько-технологічні рішення (КТР) їх трансформуючих елементів часто існують лише як «ноу-хау» авторів колекцій одягу. При цьому кожен варіант трансформації залежить від виду вихідного та трансформованого виробів. Тому вибір конкретного варіанту КТР тісно пов'язаний із шляхом перетворення із одного виду виробу в інший.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз літературних джерел [1-3] вказує, що у виробках-трансформерах здійснюється розширення функціональних і експлуатаційних можливостей одягу шляхом трансформації елементів, які є видозмінними або взаємозамінними складовими частинами одиниці виробу. Тому створення одягу можна здійснювати за принципом варіювання та вільного комплектування одиничних частин за допомогою процесу трансформації.

Проте у літературі відсутні рекомендації щодо загальноприйнятих шляхів перетворення виробів. У багатьох випадках автори описують лише окремі випадки трансформації певного виду виробів [1, 3].

У галузі конструювання швейних виробів використовують різні види трансформації: силуетна, геометрична, гомеоморфна [4], морфологічна [3]. Однак саме проектування моделей і конструкції одягу з використанням принципу морфологічної трансформації [1-2] дає можливість створити виріб із видозмінною структурою. Згідно з літературними даними цей принцип дає практично невичерпні можливості в плані пошуків творчих рішень багатофункціональних форм.

Таким чином, морфологічна трансформація (МТ) обрана як засіб для розробки структурно-логічної схеми перетворення жіночого плечового одягу.

Постановка мети та задач досліджень

Мета дослідження – розробити типологічний ряд (ТР) жіночого плечового одягу, що дозволяє виділити логічні шляхи перетворень із одного виду виробу в інший.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- визначити основні композиційно-конструктивні рішення (ОККР) вихідної моделі типологічного ряду;
- побудувати структурно-логічну модель типологічного ряду у ярусно-паралельній формі.

Виклад основного матеріалу

Сам процес морфологічної трансформації визначається динамікою, рухом перетворення або невеликою зміною. Цей процес у [1-3] представлено так: найменування вихідної трансформи, її зникнення, перетворення в нову трансформу. Отже трансформації швейного виробу можна представити у вигляді ланцюга перетворення: вихідний виріб-трансформер (ВТ) – процес трансформації – трансформований ВТ.

Тоді вихідним можна назвати ВТ, який ще не підлягав процесу МТ, а трансформований той, що утворюється в результаті трансформації вихідного.

Ланцюг перетворення може містити декілька перетворень. В цьому випадку кожний трансформований виріб може бути вихідним для наступного. Такий ланцюг перетворення містить ряд моделей, які трансформуються з однієї в іншу.

Тоді ряд, що містить сукупність моделей виробів зі спільною ознакою (жіночий плечовий) та передбачає можливість перетворення від вихідної моделі до останньої моделі ряду носить ознаки **типологічного**. Для такого ряду характерні зміна форми, силуету, виду виробу, зовнішнього вигляду, при збереженні ознаки належності до асортименту жіночого плечового одягу. При цьому ланцюг перетворення є частиною типологічного ряду (ТР).

На першому етапі виконане визначення вихідної моделі типологічного ряду. ТР відображає ланцюг перетворення процесу трансформації, а отже містить вихідну модель, яка здійснює трансформацію в інші моделі ряду. Таким чином, відповідно до одного із принципів евристичного проектування, а саме принципу аналогії, вихідний виріб повинен визначатися спільними ознаками моделей, які входять в ТР. Тому вихідна модельна конструкція (ВМК) має об'єднувати максимальну кількість основних композиційно-конструктивних рішень (ОККР) усіх моделей ТР.

Крім того, КТР функціональних вузлів вихідного ВТ повинні забезпечувати його трансформацію у інші моделі ТР за мінімальну кількість прийомів, що спростить його використання в процесі експлуатації.

Аналіз існуючого асортименту ВТ свідчить, що на даний момент часу трансформація рукава одного крою в інший на експлуатаційному рівні не досягнута, тому усі моделі ТР повинні мати однаковий крій.

Довжина вихідного ВТ повинна відповідати максимальній довжині, що характерна для однієї із моделей ТР. Такий підхід забезпечує прямий порядок багатопредметної трансформації при перетворенні довгого виробу у виріб меншої довжини або у декілька виробів.

Отже, сформульовані вимоги дають вихідну інформацію для визначення вихідної модельної конструкції методом аналізу моделей-аналогів [8].

Для аналізу моделей-аналогів обрано асортимент жіночого верхнього плечового одягу.

Оцінка зовнішньої форми та окремих конструктивно-композиційних рішень (ОККР) проводилась не для конкретних моделей, а за їх визначеннями відповідно до ГОСТів, спеціальних та енциклопедичних словників [9-11] та іншої спеціальної літератури [5-7].

Кількісний аналіз ОККР дозволив вибрати наступні ознаки та характеристики ВМК ТР: прямий силует, вшивний рукав, наявність розрізу посередині переду, виключення коміра, кишень, пояса, застібки.

На другому етапі виконане формування структурно-логічної моделі типологічного ряду.

Побудову структурно-логічної моделі типологічного ряду виконано за принципом перетворення графа понять у ярусно-паралельну форму [12]. Такий принцип є найбільш ефективним з точки зору аналізу та визначення логічного ланцюга перетворень видів виробів у межах ряду.

У даній роботі використані основні припущення цього принципу:

- усередині типологічного ряду не може бути ізольованих видів виробів, тобто таких, що не можуть бути одержані із хоча б одного виду виробу, що входить до ТР;
- зв'язок між видами при вивченні послідовності побудови ТР відображується тільки відношенням наслідування конструктивних елементів;
- при раціональній структурі ТР між будь-якими видами одягу не можуть існувати замкнені шляхи перетворень;
- переведення графа у ярусно-паралельну форму призводить до того, що граф подається у вигляді ярусів взаємно не пов'язаних видів виробів.

Тоді, відповідно до послідовності обраного методу побудови, структурно-логічна модель ТР формується наступним чином:

- побудова графа понять і матриці взаємозв'язків;
- аналіз графа на предмет виявлення «контурів» і «автономних» вершин;
- розкладання графа на шари і на їх основі переведення графа у ярусно-паралельну форму;
- аналіз графа з метою формування логічних ланцюгів перетворення.

Для побудови графу понять і матриці взаємозв'язків сформовано множину основних видів жіночого верхнього плечового одягу. Кожен вид виробу закодовано цифровими позначеннями, що відповідають порядковому номеру виду виробу в спеціально складеному переліку (табл. 1).

Аналізуючи взаємозв'язки між виділеними видами одягу побудовано вихідний граф усього ТР (рис. 1). Крім того, окремо представлено вихідні графи взаємозв'язків між різновидами традиційного виду одягу, а саме між різновидами пальта, напівпальта, плаща, куртки, жакета, піджака.

Таблиця 1
Фрагмент номенклатури асортименту жіночого плечового одягу

№	Вид виробу
1	Анорак
2	Дафлкот
3	Макінтош
4	«Міське» пальто
5	Ольстер
6	Пальто
7	Пальто реглан
8	Пальто халат
9	Пильник
10	Півпальто
...
27	Кардиган
28	Куртка
29	Мандарин
30	Норфолк
31	Смокінг
32	Груакар
33	Болеро
34	Фрак
35	Френч

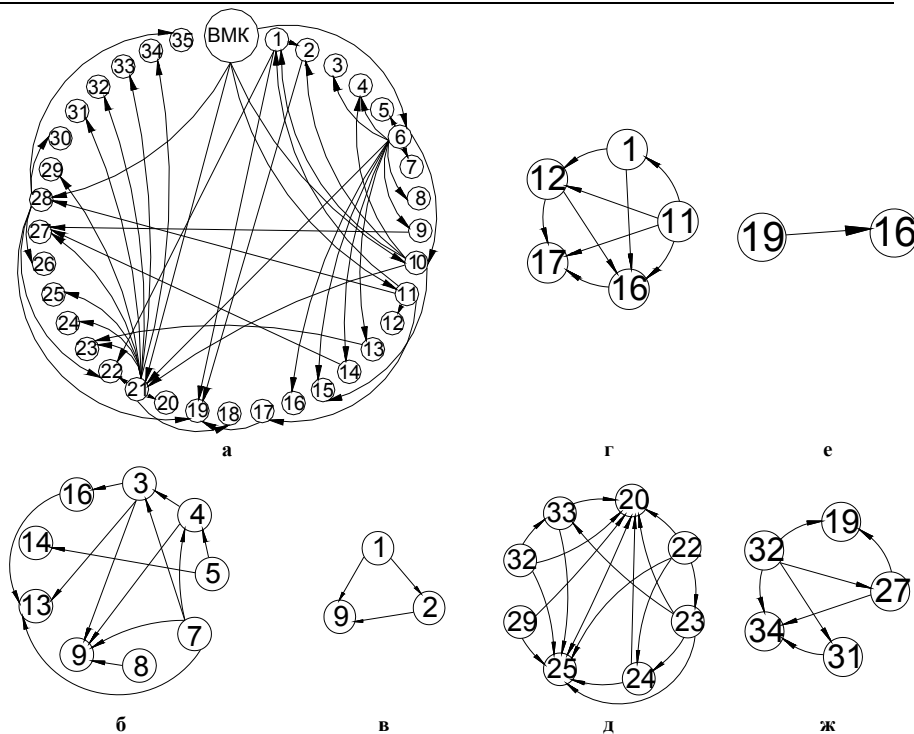


Рис. 1. Вихідний граф асортименту верхнього жіночого плечового одягу з урахуванням можливості їх трансформації усього ТР (а) та підграфи різновидів типових виробів: жіночого пальта (б), напівпальта (в), плаща (г), жакета (д), куртки (е), піджака (ж)

Оскільки «Автономних вершин» і «Автономних контурів» на графі не виявлено, то наступним етапом досліджень є побудова матриці взаємозв'язків між видами одягу (таблиця 2). Розмірність матриці 35x35, оскільки досліджується зв'язок між 35-а видами жіночого плечового одягу. Заповнення комірок виконувалось наступним чином: якщо різновид одягу № *n* може бути отриманий із № *v* (ВМК), то навпроти нього у стовпці *n* ставиться «1». Кожен рядок і кожен стовпчик сумується. Ці суми показують для кожної вершини графа кількість зв'язків відповідно які входять і виходять. Самі отримані рядки і стовпці утворюють вектори, розмірність яких дорівнює кількості стовпців матриці взаємозв'язків, у нашому випадку – 35.

Таблиця 2

Фрагмент матриці взаємозв'язків різновидів жіночого плечового одягу

	в	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35			
в							1				1	1										1																	
1			1										1				1				1																		
2																1					1																		
...
35																																							
1ш	0	2	2	3	4	1	1	1	1	5	2	1	2	4	2	4	5	3	3	5	8	3	2	3	3	6	1	3	2	1	1	2	1	3	4	1			
2ш		2	2	3	4	1	0	1	1	5	1	0	2	4	2	4	5	3	3	5	8	2	2	3	3	6	1	3	1	1	1	1	2	1	3	4	1		
3ш		1	2	2	3	0		0	0	4	0		1	3	1	3	3	2	3	5	8	1	2	3	3	6	1	3	0	1	1	2	1	3	4	1			
4ш		0	1	1	0					2			1	2	0	2	3	2	3	4	8	0	2	3	3	6	0	3		1	0	2	1	3	4	0			
5ш			0	0						1			0	2		1	2	2	2	2	7		0	2	2	5		1		0		1	0	2	3				
6ш										0			1	0	0	1	1	1	1	4				1	1	2		0		0		1	2						
7ш												0	0	0	1	4				4			1	1	2														
8ш																				0	4			0	1	2									1	0			
9ш																					3			0	1														
10ш																					1			0															
11ш																					0																		

Наступним етапом побудови графа понять у ярусно-паралельну форму є розкладання вектора рядка на шари за методикою [12].

Така систематизація дозволила розбити всю множину видів виробів на 11 шарів та отримати оптимальну послідовність зв'язків різних видів верхнього жіночого одягу (рисунок 2).

Розроблена модель показує ієрархічну підпорядкованість виробів жіночого плечового одягу та дозволяє визначити послідовність їх трансформації з одного виду виробу в інший. Логічно вибудований граф можна розділити на окремі ланцюги, враховуючи можливість послідовного перетворення з одного виду виробу в інший.

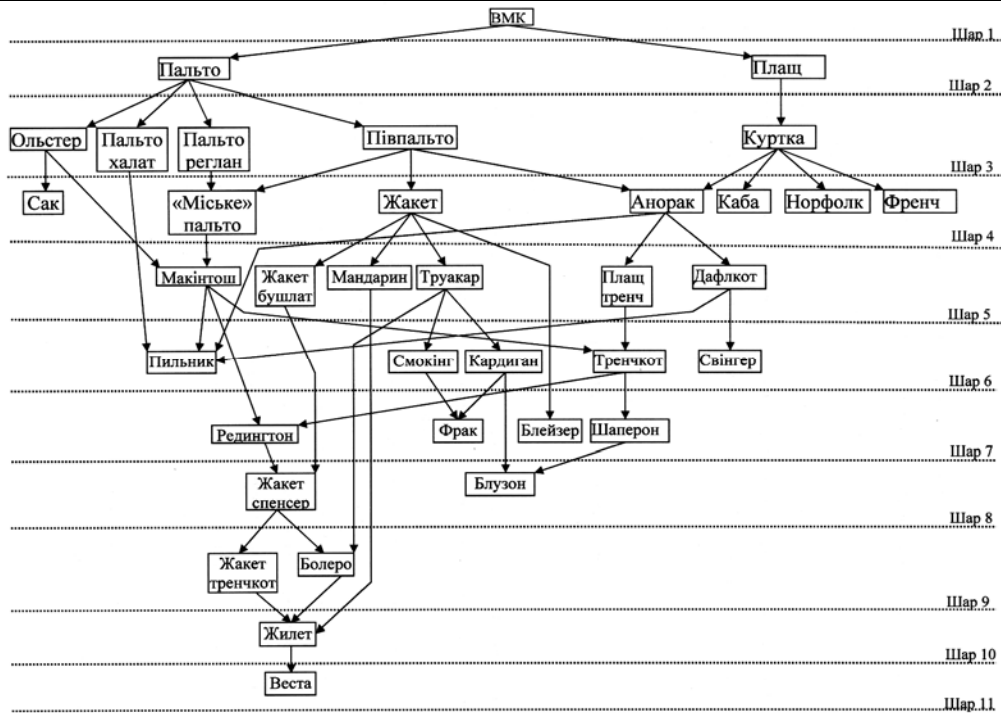


Рис. 2. Структурно-смысловая модель ассортимента жіночого плечового одягу

Висновки

Розроблення типологічного ряду жіночого плечового одягу у вигляді структурно-логічної моделі, забезпечує відображення зв'язку між видами одягу за принципом наслідування конструктивних елементів, у формі логічних ланцюгів перетворення, що створює передумови для алгоритмізації процесів трансформації.

Література

1. Безкорвайная Г.П. Проектирование детской одежды [Учеб. пособие для студ. высших учеб. заведений] / Г.П. Безкорвайная, С.В. Куренова; под общей ред. Безкорвайная Г.П. – М.: Мастерство, 2000. – 96 с.
2. Шамухитдинов Л.Ш. Классификация и кодирование конструктивных решений трансформируемых элементов одежды / Шамухитдинов Л.Ш., Коблякова Е.Б., Смирнова Т.В // Швейная промышленность. – 1991. – № 6. – С. 36-37.
3. Морфологическая трансформация при проектировании детской одежды // Швейная промышленность. – 1998. – № 4. – С. 34-35.
4. Славінська А.Л. Основи модульного проектування одягу: [монографія] / А.Л. Славінська. – Хмельницький: ХНУ, 2007. – 167 с.
5. Бердник Т.О. Дизайн костюма / Бердник Т.О., Неклюдова Т.П. – Ростов н/Д: изд-во «Феникс», 2000 – 448 с.
6. Бланк А.Ф. Практическая книга по моделированию женской одежды / Бланк А.Ф., Фомина З.М. – [2-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Легпромбытиздат, 1991. – 256 с.
7. Черемных А.И. Основы художественного конструирования женской одежды / Черемных А.И [2-е изд.]. – М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1983. – 192 с.
8. Конструирование одежды с элементами САПР: Учеб. для вузов / [под ред. Е.Б. Кобляковой]. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Легпромбытиздат, 1988. – 464 с.
9. Великий тлумачний словник сучасної української мови / уклад. і гол. ред. В.Т. Бусел. – К.: ВТФ «Перун», 2003. – 1440 с.
10. Большая советская энциклопедия. 1917-1967: Энциклопедический справочник / [гл. ред. Б.А. Введенский]. – М.: Советская энциклопедия, 1967. – 648 с.
11. Слізков А.М. Тлумачний словник з матеріалознавства та текстильних виробництв / Слізков А.М., Луцик Р.В. – К.: Арістей, 2004. – 304 с.
12. Ящур Т.В. Структурирование учебного материала дисциплин компьютерного цикла / Ящур Т.В., Сажко Г.И // Проблеми інженерно-педагогічної освіти: збірник наукових праць. – Харків: УПА, 2004. № 8. – С. 140-147.

Надійшла 5.11.2010 р.

МЕХАНІЗМ ГІДРОДИНАМІЧНОГО ФОРМУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ШВЕЙНИХ ВИРОБІВ

Автором викладено механізм формування деталей швейних виробів гідродинамічним способом із використанням рідинно-активного робочого середовища (РАРС). Сутність даного способу полягає у деформуванні структурних елементів тканин під впливом навантажень РАРС та кінцевому формуванні деталей у процесі евакуації РАРС із зони формування.

An author has expounded the theoretical base of the process of forming of details of sewings wares by a hydrodynamic method with the use of liquid-active working environment (LAWЕ). Essence of this method is deformation of structural elements of fabrics under act of forces of LAWЕ and final forming of details in the process of evacuation of LAWЕ from the area of forming.

Ключові слова: рідинно-активне робоче середовище, гідродинамічне формування.

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими практичними завданнями

Створення об'ємної форми деталей швейних виробів із тканин виконують шляхом механічної, фізико-механічної та фізико-хімічної дії на них. Виділяють три методи формотворення: конструктивний та методи впливу на грубу і тонку структуру тканин. Використання двох останніх методів дозволяє часткового чи повністю виключити шви при виготовленні швейних виробів, що дозволяє суттєвою мірою зменшити трудові та енергетичні витрати виробничого процесу [1].

Вплив на грубу і тонку структуру тканин здійснюють статичними та динамічними методами формування. Недоліками статичних методів є неоднаковий тиск поверхні подушок на текстильні матеріали при їхньому зближенні та складність у дотриманні умов еквідистантності робочих поверхонь пуансона (верхньої формувальної подушки) та матриці (нижньої подушки) [2].

У зв'язку з цим, при формуванні швейних виробів перспективними напрямками формування є динамічні методи [2-4], які дозволяють більш ефективно трансформувати плоский текстильний матеріал у об'ємну деталь. Особливістю таких методів є їхній істотний вплив на зміну грубої структури матеріалів у зв'язку зі зміною напрямку дії сил і площі контактів між волокнами та нитками. Серед динамічних методів вартими уваги є ті, що передбачають використання матриці та рідини як РАРС (замість пуансона) [3, 4]. Однак, процес формування деталей швейних виробів у РАРС є недостатньо дослідженим.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Процес формування деталей у РАРС має складний характер. На відміну від пружних (твердих) тіл РАРС є текучим [5, 6], завдяки чому воно не опирається зміні форми, забезпечує заповнення простору робочої зони і прилягання РАРС до поверхні матриці без пустот та проміжків.

У той же час, існує поняття гідростатичного тиску рідини, тобто тиску РАРС, викликаного його масою. Однак, при незначній висоті шару рідини та невеликих значеннях гідростатичного тиску останнім нехтують. У такому випадку тиск у всіх точках всередині РАРС приймають однаковим і таким, що передається без змін у кожен точку рідини, діючи з однаковим формувальним навантаженням на весь об'єм матриці [5, 6].

РАРС дозволяє зменшити коефіцієнт тертя між волокнами ниток та нитками в тканинах. Його проникання всередину волокон приводить до зменшення сил внутрішньої взаємодії між ланцюгами їхніх молекул і відповідно до зменшення їхнього опору формувальним зусиллям.

Залежно від способу створення формувальних зусиль розрізняють вакуумне, пневматичне, гідравлічне, механічне та комбіноване формування [7]. Виходячи з цього, у роботі [4] досліджено можливості формотворення деталей швейних виробів гідромеханічним, гідродинамічним та гідропневматичним способами. Результати цих експериментів підтверджують ефективність застосування цих способів формування об'ємних деталей із тканин у РАРС. Проте, незважаючи на це, аналіз останніх досліджень [3, 4] вказує на відсутність теоретично описаного механізму процесу формування деталей швейних виробів зазначеними способами.

Формулювання цілей

Нестандартність підходу до використання РАРС як середовища формування та досить вузьке дослідження його впливу на процес формотворення [3, 4] обумовлює необхідність теоретичного обґрунтування механізму процесу формування деталей швейних виробів гідродинамічним способом.

Виклад основного матеріалу досліджень

Процес створення об'ємної форми деталей швейних виробів у РАРС гідродинамічним способом містить такі операції: розміщення деталі на перфорованій матриці, їхнє закріплення в камері, нагрівання та пластифікацію, віброформування, сушіння та стабілізацію [3, 4]. Сутність цього способу формування полягає у використанні сумарного впливу РАРС як пластифікатора, теплоносія та джерела навантаження на текстильний матеріал [4].

Процес гідродинамічного формування складається з двох стадій:

- формування структурних елементів тканини під впливом динамічних сил РАРС;
- відсмоктування РАРС через тканину та перфоровану матрицю.

Однією з умов проведення процесу формування об'ємних деталей є створення в камері циклічного зусилля тиску, що спричиняє періодичні гідравлічні удари середовища на матеріал [5, 6].

У момент удару кінетична енергія поверхневого шару РАРС переходить у роботу стиснення з миттєвим підвищенням тиску над матрицею P_1 (рис. 1). Підвищення тиску передається наступному шару, в результаті чого зростання тиску поширюється хвилею вздовж камери зі швидкістю поширення звуку в пружному середовищі [5, 6].

Перша стадія процесу гідродинамічного формування деталей швейних виробів характеризується циклічністю. Кожен цикл є повторенням попереднього та складається з двох етапів. Перший етап відбувається під час гідравлічного удару, коли $P_1 > P_2$, тобто до часу, коли ударна хвиля РАРС не пройшла через порову структуру тканини та отвори у матриці.

Другий етап характеризується зниженням тиску в камері, починаючи від поверхневого шару робочого середовища. Відповідно до цього $P_1 < P_2$, поки тиск у камері не вирівняється.

Значення тисків зовні та всередині матриці під час гідродинамічного формування можна розрахувати за формулою:

$$P_1 = P_{ампл} \cdot r \cdot \sin \frac{\pi \cdot f}{30} \cdot t,$$

де P_1 – тиск зовні матриці, МПа; $P_{ампл}$ – амплітудне значення тиску в камері, МПа; r – поправочний коефіцієнт обладнання; f – частота, Гц; t – час, с.

Значення $\sin \frac{\pi \cdot f}{30} \cdot t$ змінюється в межах [1; -1], що характеризує коливання середовища та періодичну зміну тиску в ньому. В першому випадку при $\sin \frac{\pi \cdot f}{30} \cdot t = 1$ відбувається стиснення матриці та тканини, в другому при $\sin \frac{\pi \cdot f}{30} \cdot t = -1$ – на них діють зусилля розтягнення.

Варто зауважити, що вимушені коливання, надані цій системі, є незатухаючими і характеризуються постійною амплітудою та частотою. При цьому завжди має місце зсув фаз коливань у порівнянні з фазою збуджуючої сили, так званий ефект пульсацій та вібрацій. Величина кута зсуву фаз впливає на рух пульсуючого в'язкого середовища таким чином, що при куті зсуву 90° відношення витрат енергії наближається до нуля [8].

Сказане дозволяє детальніше розглянути особливості формування тиску P_1 та P_2 . Останні містять статичну $P_{ст}$ та динамічну складові $P_{дин}$. Статична складова відповідає тиску, який створюється в формувальній камері до початку формування. У свою чергу динамічною складовою є значення тиску рівне:

$$P_{дин} = P_{ст} \pm P_{ампл},$$

де $P_{дин}$ – динамічна складова тиску в камері, МПа; $P_{ст}$ – статична складова тиску в камері, МПа; $P_{ампл}$ – амплітудне значення тиску в камері, МПа.

Формувальним зусиллям процесу є величина перепаду тиску в камері, тобто різниця між максимальним та мінімальним значеннями динамічної складової тиску під час формування:

$$\Delta p = 2 \cdot P_{ампл} = P_{1дин} - P_{1дин}' = P_{2дин} - P_{2дин}'$$

де Δp – перепад тиску в камері, МПа; $P_{1дин}$, $P_{1дин}'$ – відповідно максимальне та мінімальне значення динамічної складової тиску P_1 , МПа; $P_{2дин}$, $P_{2дин}'$ – відповідно максимальне та мінімальне значення динамічної складової тиску P_2 , МПа.

Зміна тиску в камері є періодичною, тобто має синусоїдний характер [9-11] (рис. 2).

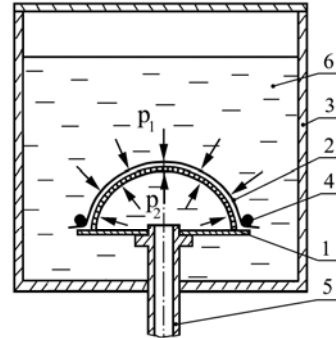


Рис. 1. Схема корпусу камери для гідродинамічного формування:

1 – матриця; 2 – текстильний матеріал; 3 – корпус камери для формування; 4 – підпружинене кільце; 5 – штуцер для відсмоктування робочого середовища; 6 – робоче середовище

Із синусоїди зовнішнього тиску P_1 (рис. 2) видно, що у випадку, коли динамічна складова тиску P_1 по відношенню до статичної зростає, спостерігається стиснення структурних елементів тканини. Далі зі зменшенням динамічної складової на тканину діють деформації розтягнення.

Стосовно синусоїди внутрішнього тиску P_2 , то у РАРС спостерігається відставання синусоїди тиску P_2 від синусоїди тиску P_1 на π (рис. 2).

Значення статичної та динамічної складових тисків є вхідними параметрами процесу гідродинамічного формування, які задаються за допомогою установки. Відповідно до цього регульованими є амплітудні значення тиску та перепад тиску в камері.

Важливим моментом технології гідродинамічного формування деталей є взаємодія систем ниток тканини між собою та з поверхнею матриці під впливом коливань РАРС. На рис. 3 показано елементарну ділянку півсферичної поверхні матриці радіусом R із розміщенням на ній системи взаємно перпендикулярних ниток основи 1 та утку 2. Тиск у всіх точках елементарної ділянки камери однаковий і, відповідно, однаковим є формувальне зусилля F_1 або F_2 , що діє на систему ниток, тобто на структурні елементи тканини.

Виходячи із властивостей РАРС маємо, що формувальні зусилля F_1 та F_2 завжди направлені по нормалі до поверхні матриці, тобто перпендикулярно до неї [6, 12].

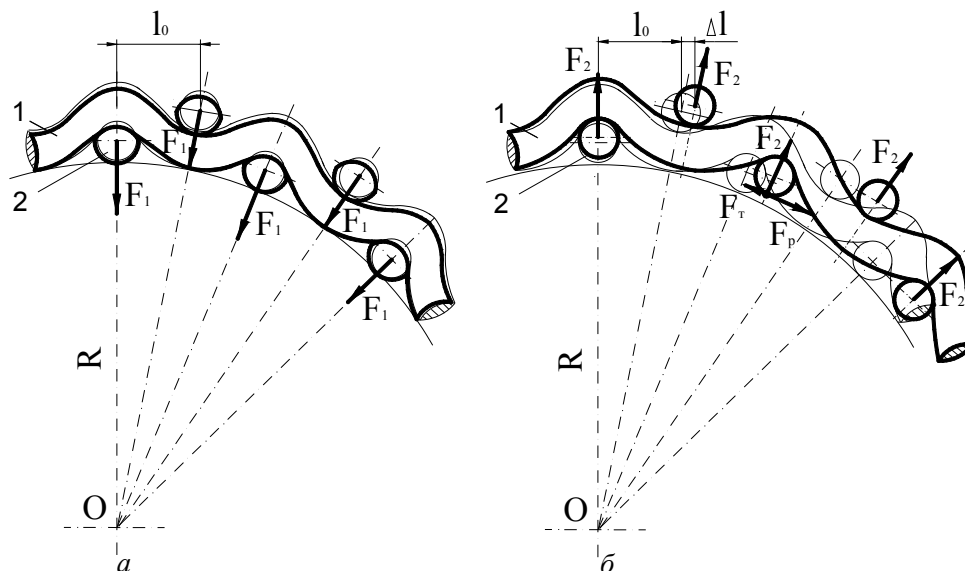


Рис. 3. Схема дії формувальних зусиль на структурні елементи тканини під час першої стадії гідродинамічного формування деталі:

а) на тканину діють сили стиснення (1 етап); б) на тканину діють сили розтягнення (2 етап);

1, 2 – системи ниток; O – центр півсферичної матриці; l_0 – відстань між нитками основи чи утку до формування;

Δl – приріст відстані між нитками основи чи утку після формування; R – радіус півсфери; F_1 – зусилля РАРС, яке викликає деформації стиснення матеріалу; F_2 – зусилля РАРС, яке викликає деформації розтягнення матеріалу; F_p – сила розтягнення; F_m – сила опору ниток розтягуючим зусиллям.

Оскільки формування є циклічним процесом, детально зупинимося на розгляді сутності циклу деформування ниток тканини. Під час першого етапу першої стадії формування (рис. 3, а) у результаті

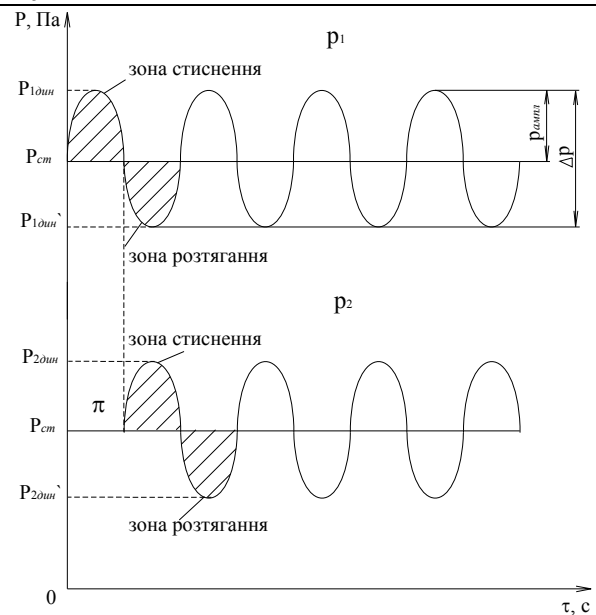


Рис. 2. Синусоїдний процес гідродинамічного формування:

P_1 – зовнішній тиск, МПа; P_2 – внутрішній тиск у матриці, МПа;

$P_{1дин}$, $P_{1дин}'$ – максимальне та мінімальне значення динамічної

складової зовнішнього тиску, МПа; $P_{2дин}$, $P_{2дин}'$ –

максимальне та мінімальне значення динамічної складової

внутрішнього тиску в матриці, МПа; $P_{ст}$ – статична складова

тиску, МПа; $P_{ампл}$ – амплітудне значення тиску, МПа; ΔP –

перепад тиску в камері, МПа; π – кут зсуву фаз, °.

гідралічного удару $p_1 > p_2$ і, відповідно $F_1 > F_2$. Здійснення тиску зовнішнього зусилля F_1 на тканину викликає лише деформації стиснення матеріалу. Силу опору тканини (тертя) F_δ розраховують за формулою:

$$F_m = p_1 \cdot f_m, \quad (1)$$

де f_m – коефіцієнт тертя.

З формули (1) видно, що при зовнішньому зусиллі тиск δ_1 на поверхню є максимальним і, відповідно, максимальною є сила опору тканини до розтягуючих зусиль. Звідси, сила розтягнення F_δ , яка є протилежною силі тертя F_δ , рівна нулю.

На другому етапі першої стадії формування внаслідок розрідження повітря, починаючи від поверхневого шару РАРС, у камері відбувається спад тиску $p_1 < p_2$. Хвиля розрідження викликає збільшення формувального зусилля, направлено від центру матриці F_2 – і, як наслідок, відривання тканини від матриці та її розтягнення на величину Δl (рис. 3, б). При цьому сила розтягнення F_p направлена по дотичній до поверхні тканини, а сила опору F_m є мінімальною тому, що даний момент часу характеризується послабленням зовнішнього тиску p_1 на тканину та відривом останньої від матриці.

Вирівнювання робочого тиску в камері відзначає початок нового циклу першого етапу гідродинамічного формування деталі швейного виробу. Знову в результаті гідралічного удару зростає зовнішній тиск на поверхню тканини p_1 та зусилля F_1 , що супроводжується виникненням деформації стиснення. Стиснення попередньо розтягнутих ниток викликає їх зміщення в системі за рахунок зміни сітчастих кутів. Як раніше зазначалось, за цих умов сила опору тканини F_m є максимальною, що перешкоджає матеріалу відновити свої розміри.

Варто зазначити, що саме циклічність процесу деформування тканини приводить до «розхитування» грубої структури матеріалу, і як наслідок, до більшої формостійкості формованої деталі. Після певної кількості циклів деформування встановлюється стаціонарний режим деформування, який характеризується виникненням стабільної для даних умов надмолекулярної структури [9, 10].

Друга стадія процесу гідродинамічного формування – відсмоктування (евакуація) РАРС через тканину та перфоровану матрицю, здійснюється відразу після завершення першої стадії. При цьому процес евакуації РАРС із зони формування супроводжується створенням тиску на матеріал, направленим на кінцеве формування деталі.

Рух РАРС супроводжується сумарними втратами тиску. Сумарні втрати тиску складаються із втрат тиску РАРС під час виходу із зони формування Δp_1 , а також втрати напору РАРС Δp_2 . Розрахунок таких втрат тиску є досить складним. При цьому значення втрат тиску Δp_1 , що безпосередньо витрачається на кінцеве деформування структурних елементів тканини, визначають як різницю між сумарними втратами тиску під час витікання РАРС та втратами його напору:

$$\Delta p_1 = \sum \Delta p - \Delta p_2 = (P_1 - P_3) - \Delta p_2, \quad (2)$$

де P_3 – тиск РАРС на виході із зони формування, МПа.

На значення Δp_1 впливає ряд факторів, серед яких структурні характеристики тканин, конфігурація поверхні перфорованої матриці та сумарна площа її отворів.

Сумарними втратами тиску під час витікання РАРС згідно формули (2) є різниця тисків P_1 та P_3 . Значення тиску РАРС у камері P_1 та тиску РАРС при витіканні з камери P_3 визначають експериментально.

Розрахунок втрат напору Δp_2 проводять так. Основною величиною, яка характеризує процес евакуації РАРС є її швидкість [5, 6], яка залежить від величини перепаду тиску, температури та тривалості процесу, діаметру отворів матриці, в'язкості рідини тощо.

Відповідно до [5] витрати РАРС у процесі евакуації із зони формування складають:

$$Q = \frac{V}{t}, \quad (3)$$

де Q – витрата РАРС, м³/с; V – об'єм РАРС, м³; t – час евакуації РАРС, с.

Швидкість витікання РАРС через трубу розраховують як відношення загальних витрат до площі труби:

$$v_{mp} = \frac{Q}{S_{mp}}, \quad (4)$$

де v_{mp} – швидкість витікання РАРС через трубу, м/с; S_{mp} – площа отвору у трубі, м².

Для визначення тиску РАРС на виході із зони формування Δp_2 враховують те, що при русі робочого середовища частина енергії потоку витрачається на подолання гідравлічного опору. Тому втрати тиску під час витікання РАРС складають [5]:

$$\Delta p_2 = \rho \cdot g \cdot h_{1-2} = \rho \cdot g \cdot \left(\frac{v_{mp}^2}{2g} \cdot \left(1 + \frac{\lambda \cdot l}{d} + \Sigma \zeta \right) \right), \quad (5)$$

де h_{1-2} – висота труби, м; g – сила тяжіння, Н; λ – коефіцієнт опору в'язкого тертя; l – довжина труби, м; d – діаметр труби, м²; $\Sigma \zeta$ – сумарні втрати тиску в трубі, МПа.

Під час гідравлічних навантажень визначення втрат напору РАРС необхідно урахувати коефіцієнт опору в'язкого тертя, який розраховують за формулою Альтшуля [5]:

$$\lambda = 0,11 \cdot \left(\frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}, \quad (6)$$

де Δ – шорсткість труби, м; Re – число Рейнольдса; η – в'язкість РАРС, м²/с.

Число Рейнольдса Re визначають [5]:

$$Re = \frac{v_{mp} \cdot d}{\eta}. \quad (7)$$

Складовою формули (7) є в'язкість РАРС η , яка залежить від температури середовища. Для даного РАРС ця залежність описується формулою [5, 6]:

$$\eta = \frac{0,0176}{1 + 0,0337 \cdot T + 0,000221 \cdot T^2}, \quad (8)$$

де T – температура РАРС, °С.

Приведені розрахунки дозволяють визначити значення тиску РАРС під час виходу із зони формування Δp_1 , що безпосередньо витрачається на кінцеве деформування структурних елементів тканини деталі швейного виробу.

Висновки

Підводячи підсумок, слід відмітити, що у роботі викладено теорію механізму формування деталей швейних виробів гідродинамічним способом із використанням рідинно-активного робочого середовища, яка дозволяє розрахунковим шляхом визначити основні параметри даного процесу: тиск зовні та всередині матриці, амплітудне значення тиску в камері та тиск, що витрачається кінцеве деформування структурних елементів тканини. При цьому сутністю процесу гідродинамічного формування є деформування структурних елементів тканин під впливом навантажень рідинно-активного робочого середовища, які викликають зміни грубої структури тканини, та кінцеве формування деталей у процесі евакуації середовища із зони формування.

Література

1. Рогова А.П. Изготовление одежды повышенной формоустойчивости / Рогова А.П., Табакова А.И. – М.: Легкая индустрия, 1979. – 184 с.
2. Пашаев Н.П. Оптимизация технологических процессов производства одежды по критериям качества и энергозатрат: дис. канд. техн. наук / Пашаев Н.П.: 05.19.04. – К., 1988. – 234 с.
3. Пат. 14333 UA, МПК D06 F 73/00 A41 N5/00. Спосіб формування деталей швейних виробів об'ємно-просторової форми в рідинно-активному середовищі / Буханцова Л.В., Кушевський М.О. – № 200510447; заявлено 07.11.2005; опубл. 15.05.2006, Бюл. № 5. – 3 с.
4. Буханцова Л.В. Формування об'ємно-просторової форми текстильних матеріалів в рідинно-активному середовищі / Буханцова Л.В., Кушевський М.О. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2005. – № 5. – С.96-100.
5. Башта Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы / Башта Т.М., Рудиев С.С., Некрасов Б.Б. – М.: Машиностроение, 1982. – 424 с.
6. Лайтхилл Дж. Волны в жидкостях / Лайтхилл Дж.: пер.с англ. – М.: Мир, 1979. – 603 с.
7. Шерышев М.А. Переработка листов из полимерных материалов / Шерышев М.А. – Л.: Химия, 1984. – 214 с.
8. Березненко С.М. Основи теорії ресурсозберігаючих технологічних процесів формування та формозакріплення деталей швейних виробів з врахуванням анізотропії текстильних матеріалів / Березненко С.М.: дис.... докт. техн. наук: 05.19.04. – К., 2002. – 372 с.
9. Анохин В.В. Химия и физико-химия полимеров / Анохин В.В. – К.: Вища школа, 1987. – 399 с.
10. Кулезнев В.Н. Химия и физика полимеров / Кулезнев В.Н., Шершнев В.А. – М.: Высшая школа, 1988. – 312 с.

11. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле / Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У. – М.: Наука, 1978. – 436 с.

12. Исследование гидродинамики бытовых стиральных активаторных машин / Отчет о НИР (заключит.), № 0188.0018966. – Хмельницький: ХТИБО, 1988. – 105 с.

Надійшла 17.11.2010 р.

УДК 687.016: 658.512

О.П. БОХОНЬКО, П.В. БЛАЖІЄВСЬКИЙ, Д.І. ПРОЦИК
Хмельницький національний університет

АВТОМАТИЗОВАНЕ КОНСТРУЮВАННЯ ЖІНОЧИХ СПІДНИЦЬ

На основі модифікованої класифікації конструкцій спідниць розроблена структура адаптованої САПР і відповідне меню універсального графічного редактора з вбудованим середовищем програмування. Сформовані пакети алгоритмів і програм для побудови параметричних креслень базових конструкцій та їх геометричних перетворень в процесі моделювання.

On the basis of modified classification of designs of skirts the frame of the adapted CAD and conforming menu of the universal graphic editor with a built-in programming environment is designed. The packages of algorithms and programs for construction of parametric delineations of base designs and their geometrical transformations are formed during simulation

Ключові слова: спідниця, автоматизоване конструювання, базова конструкція, параметричне креслення

Постановка проблеми

Значне розмаїття конструкцій спідниць вимагає подальшої їх структуризації і класифікації для ширшого інформаційного забезпечення САПР [1]. Висока вартість програмного забезпечення спеціалізованих систем і необхідність додаткового навчання персоналу обмежує їх використання на малих підприємствах, тому вдосконалення процесу розробки конструкцій з допомогою САПР на базі універсальних графічних редакторів залишається актуальним.

Мета і завдання дослідження

Змінюючись з плином часу і моди, спідниця, як основний елемент жіночого гардеробу, постійно зберігала привабливість. Ефективні конструкторсько-технологічні рішення завжди необхідні в процесі виготовлення спідниць, а застосування САПР є одним з визнаних і пріоритетним напрямком дослідження.

Метою даної роботи є виявлення та розробка модифікованої класифікації конструкцій спідниць, структуризація інформації для автоматизованого проектування та на їх основі розробка САПР, яка дозволить автоматично будувати базові конструкції (БК) прямих спідниць за різними методиками конструювання з урахуванням індивідуальних особливостей фігури, а також закласти можливості автоматичного формування параметричних креслень конічних і клинових спідниць, комбінованих конструкцій типу спідниця – штани та інших.

Аналіз досліджень та публікацій

За останні роки виконувались роботи де встановлено, що послідовність і зміст основних етапів автоматизованого конструювання майже не відрізняється від «ручного» [2]. Ескізного проектуванню відповідають технічні рисунки моделей спідниць і засоби їх редагування, а результатом технічного і робочого проектування є креслення модельних конструкцій (МК) і лекал деталей.

Виклад основного матеріалу

Формування вказаних документів в САПР проходить традиційні 4 стадії, але за різними траєкторіями, як показано на рис. 1, на якому виділено три блоки введення вхідної інформації.

Базовими предметами для оперування є лекала, деталі конструкцій в готовому вигляді, або їх 3-D моделі.

Лекала вводять в систему двома способами: 1) конвертація, як програмне перетворення інформації про комплект лекал з формату зовнішньої САПР у внутрішній формат системи; 2) оцифровка, як апаратно-програмне формування графічної інформації про контури лекал одним з методів: пряме введення векторного контуру дигітайзером, або опосередковане – розпізнанням контуру (векторизацією) растрового електронного фото.

На стадії розробки БК „плоскі” системи працюють з відповідними кресленнями, а об’ємна модель БК формується по аналогії з макетним методом на 3-D манекені. Вихідними даними для побудови БК, на площині і в просторі служать розмірні ознаки типової фігури або споживача та система прибавок. Розмірні ознаки читаються автоматично з бази даних системи, або вводяться боді-сканером чи індивідуально оператором.

Креслення БК автоматично будується САПР за обраною методикою конструювання, яка формалізується шляхом алгоритмічного або візуального програмування. В першому випадку розробляють всю послідовність дій графічного редактора з формування параметричного креслення БК до його побудови. При візуальному програмуванні відповідні дії виконуються в інтерактивному режимі, а система самостійно записує сценарій з наступним редагуванням оператором.

На стадії розробки МК деякі САПР виконують моделювання лекал БК, інші працюють із самою

конструкцією чи її 3-D моделлю. Геометричні перетворення здійснюють у таких режимах: діалоговий, комбінований з макросами, записом сценарію.

Моделювання конструкції в діалоговому режимі виконується за безпосередніми командами оператора, тому цей режим найбільш гнучкий, але трудомісткий і рекомендується для нових прийомів моделювання, або для таких, які важко параметризувати чи недоцільно автоматизувати. Комбінований режим включає макроси реалізації поширених прийомів моделювання, як перенос виточки, паралельне і кінцеве розширення та інші. Моделювання конструкції в режимі запису сценарію відбувається за описаною технологією візуального програмування.

Редагування об'ємної моделі БК виконується безпосередньо на 3-D манекені. А плоскі креслення модельної конструкції або лекала отримують розгортанням відповідної 3-D моделі.

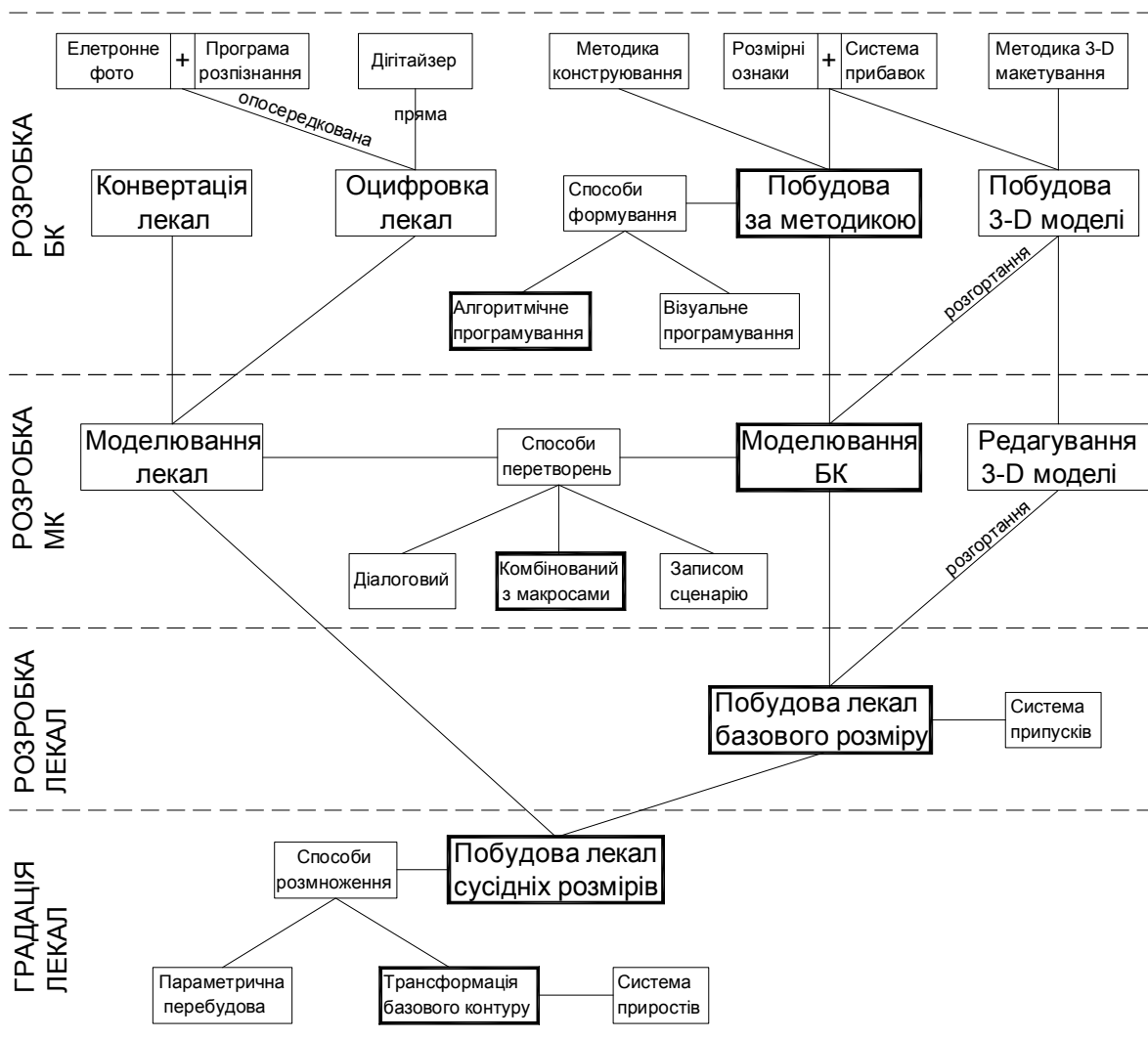


Рис. 1. Схема процесу автоматизованого конструювання

На стадії побудови лекал базового розміру їх контур формується як еквідистантний відповідним деталям модельної конструкції з урахуванням системи припусків на шви. У випадку застосування лекал в якості предмета оперування САПР цю стадію пропускають.

Побудову лекал сусідніх розмірів на завершальній стадії проектування реалізують одним із методів: трансформацією базового контуру, або параметричною перебудовою.

Контур лекала базового розміру трансформується в контур лекала іншого розміру шляхом переміщення його окремих вершин, що розмножуються, на задані величини приростів. Для САПР, які формують БК та МК способом візуального програмування або запису сценарію характерна повна перебудова контуру лекал за новими розмірними параметрами.

Виконаний аналіз і представлена графічно схема процесу автоматизованого конструювання дозволяє аргументовано і наглядно обрати його траєкторію. Для розробленої нами системи ця траєкторія виділена „жирними” лініями і здається нам більш доцільною для впровадження САПР в умовах, насамперед, малих підприємств, індустрії і навчального процесу.

Система базується на універсальному графічному редакторі AutoCAD з відкритою архітектурою меню і вбудованим середовищем програмування [3]. Це сприяє адаптації до об'єкту проектування і надає

більші можливості програмного формування параметричних креслень базових конструкцій спідниць та їх геометричних перетворень в процесі моделювання. Широке застосування обраного редактора в промисловості і його вивчення студентами технологічних спеціальностей забезпечує доступність впровадження розробок користувачами з обмеженими ресурсами.

Інформаційне забезпечення системи включає модифіковану класифікацію конструкцій спідниць, представлену на рис. 2. За основу при групуванні вибрано спільність геометричних характеристик конструкцій і відповідних прийомів побудови їх креслень. Поглиблено деталізацію елементів конструкцій, виділено підгрупу клинових спідниць, які займають проміжне положення між прямими і конічними за силуетом і споріднені за методикою формування. Окрім звичайних спідниць та спідниць-штанів можлива поява інших комбінацій крою, тому запропонована класифікація має перспективи розширення груп і доповнення новими.

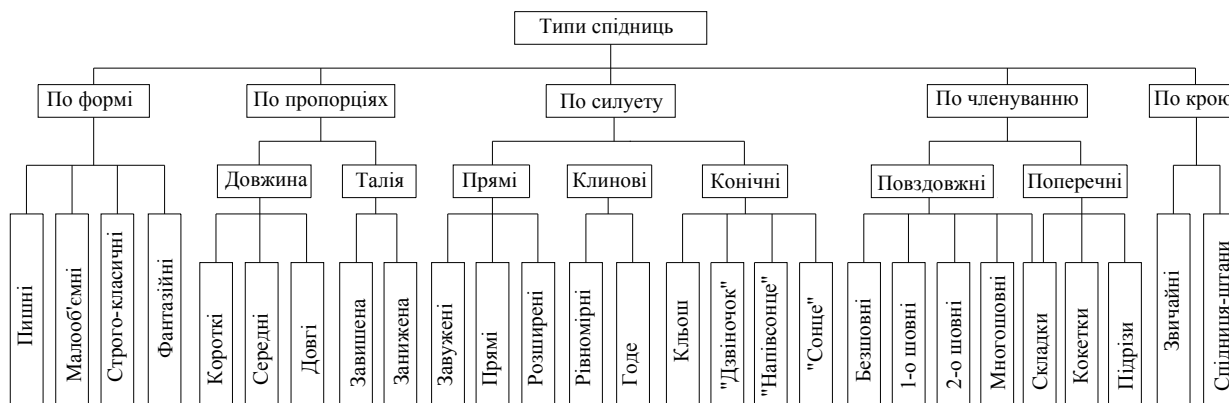


Рис. 2. Модифікована класифікація конструкцій спідниць

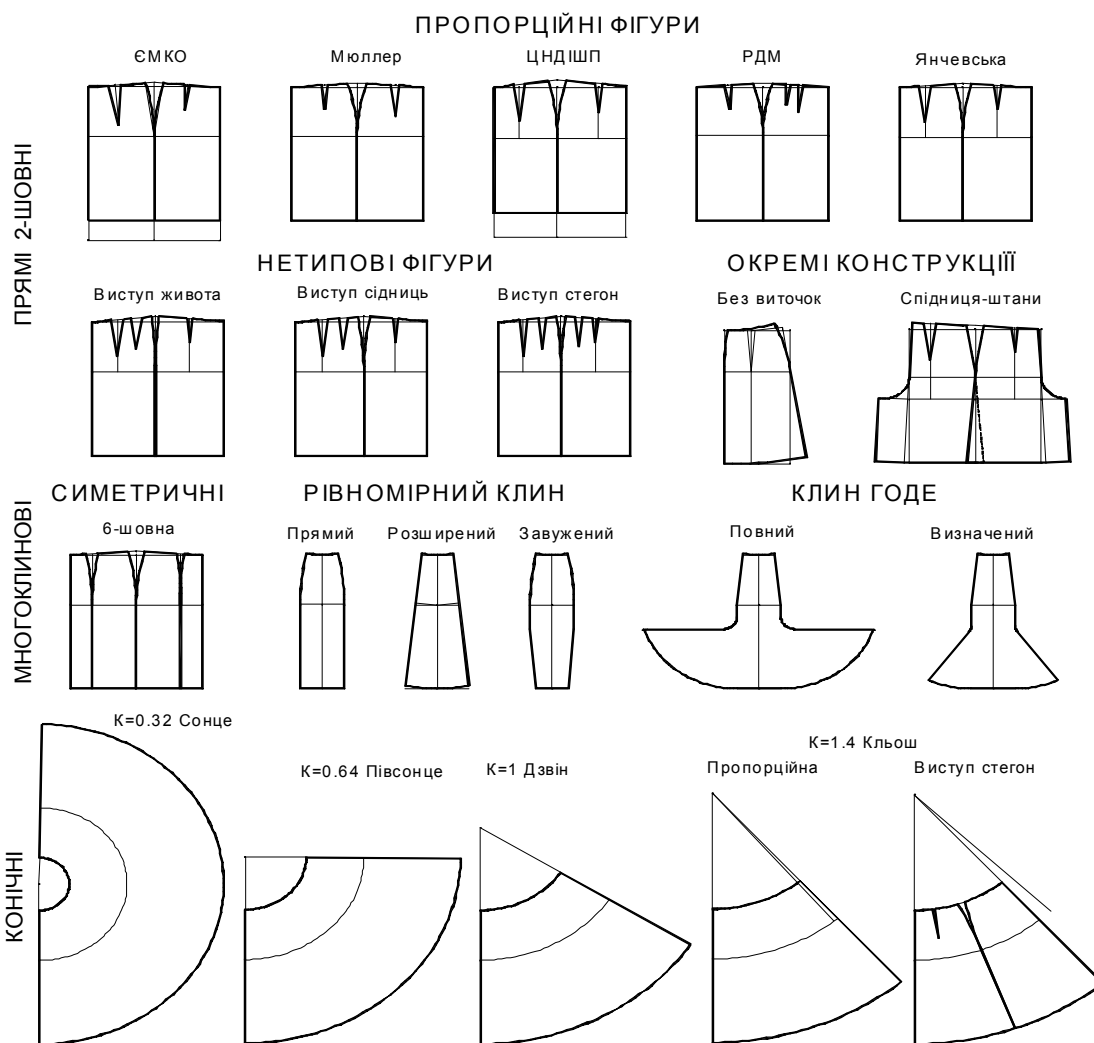


Рис. 3. Структуризація інформації для адаптованої САПР «Спідниця»

На основі модифікованої класифікації розроблена структуризація інформації для адаптованої САПР, яка представлена на рис. 3, а відповідне структурі та об'єкту проектування меню користувача системи – на рис 4.

Програмне забезпечення системи містить пакет алгоритмів і програм формування БК усіх вказаних типів спідниць. Програми написані на мові AutoLISP у середовищі VisualLisp, які інтегровані в редактор AutoCad.

Алгоритми автоматизованої побудови параметричних креслень різних конструкцій складаються з кількох подібних етапів. Перші – забезпечують введення розмірних ознак конкретної фігури споживача, визначення типу фігури, бажаної форми і силуету виробу та відповідної системи прибавок. Наступні – виконують автоматичне обчислення конструктивних відрізків і координат вершин контуру БК. Відповідно до методик конструювання, особливо для нетипових фігур, певні алгоритми передбачають розрахунок додаткових виточок і перерозподіл основних. Завершальним етапом, звичайно, є побудова контуру БК і, при необхідності, вивід результатів розрахунку конструктивних відрізків та прийнятих в розрахунках значень прибавок для аналізу проектних рішень.

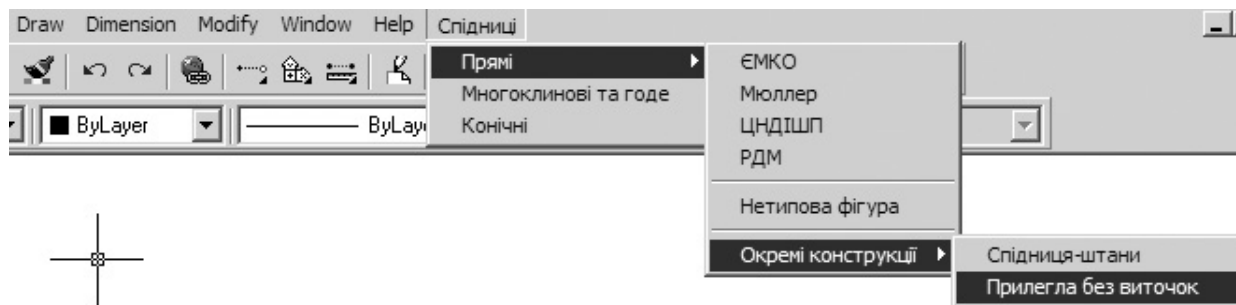


Рис. 4. Фрагмент меню графічного редактора

Відпрацьовані в діалоговому режимі графічного редактора поширені прийоми конструктивного моделювання: перенесення виточок, проектування складок, кінчне і паралельне розширення для програмно створених БК.

Отримані креслення модельних конструкції (МК) є одночасно результатом етапу технічного проектування і вихідними даними для розробки робочих креслень лекал деталей. Контур лекала автоматично формується ділянками, що рівновіддалені від контуру МК на величину технологічних припусків. Розмноження або градація лекал виконується пропорційно-розрахунковим способом з трансформацією контуру лекал базового розміру, при цьому вершини лекал переміщуються у відповідності із схемами градації для обраної методики конструювання. Механізувати цей процес і позначити, при необхідності, величини і напрямки переміщень вузлів градації дозволяє відповідний програмний модуль системи.

Висновки

Сучасні засоби автоматизації конструювання одягу базуються, як на універсальних графічних редакторах, так і на спеціалізованих конструкторських системах. В останніх продуктивніше реалізовувати проектні рішення, але обмежена здатність самостійно їх синтезувати. На основі модифікованої класифікації конструкцій спідниць розроблена структура адаптованої САПР і відповідне меню універсального графічного редактора з вбудованим середовищем програмування. Сформовані пакети алгоритмів і програм для побудови параметричних креслень базових конструкцій та їх геометричних перетворень в процесі моделювання. Широке застосування базового редактора системи сприяє впровадженню розробок користувачами з обмеженими ресурсами.

Література

1. Янчевская Е.А., Тимашева З.Н. Конструирование и особенности изготовления легкой одежды сложных форм. – М.: легкая и пищевая промышленность. 1981. – 176с.,ил.
2. Процик К.Л. Этапы разработки новых моделей одежды в современных САПР // Легкая промышленность. – 2007, № 3. – С. 46
3. Auto Cad. Практическое руководство / Э.Т. Романьчева, Т.М. Сидоров, С.Ю. Сидоров. – М.: ДМК., Радио и связь, 1997-480.,ил.

Надійшла 13.11.2010 р.

РОЗРОБКА РУБРИКАЦІЇ ФРОНТАЛЬНИХ ТА ПРОФІЛЬНИХ ФОРМ ТУЛУБА ЖІНОЧИХ ФІГУР

Розраховані відхилення проєкційних розмірів тулуба типових жіночих фігур від гармонійних; встановлені величин часткових інтервалів, що характеризують різні ступені розвитку основних анатомічних поясів тулуба. Розроблена рубрикація форм тулуба типових жіночих фігур та встановлена частота їх зустрічності в обраній сукупності типових фігур.

Calculated the deflection of the projection size of the torso model of female figures from harmonious, set the value of the partial intervals, that characterize the different degrees of development of the main body of anatomical zones. Categorization was developed forms of the torso model of female figures and set the frequency of their occurrence in the selected set of model shapes.

Ключові слова: поперечний діаметр, передньо-задній діаметр, фронтальна проєкція, профільна проєкція, тип форми тулуба.

Постановка проблеми

Сьогодні в умовах масового виробництва проєктують одяг на фігури (I– IV повноти), які в переважній більшості є фігурами гармонійної тілобудови. Форма їхнього тіла відповідає класичним канонам будови тіла [1]. При проєктуванні одягу на фігури гармонійного типу, спостерігається тотожність його форми з формою тіла. Проєктування одягу для таких фігур не викликає суттєвих ускладнень і підпорядковується залежностям, що виражені системою розрахункових формул, прийнятих в різних методиках конструювання [2].

Відповідно до розмірних стандартів [3, 4] сукупність типових фігур, систематизовано в 11 повнотних рядів [1] з інтервалом $Ost-Og_{III} = 4$ см. Серед них для фігур (– III) – 0 та V – VII повнотного ряду, рідко виготовляють одяг в умовах масового виробництва. Це вимагає внесення додаткових корегувань при розробці конструкції одягу. Як правило, форму одягу для таких фігур не рекомендують точно відтворювати у відповідності з контурами фігури, що потребує окремих досліджень.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Дослідження різновидів форм тулуба жіночих фігур, а також параметрів їх відхилень від гармонійно складених не систематизовані, їх чітка параметрична характеристика відсутня або розроблена лише частково.

Форма тулуба характеризується формою та розмірами трьох її основних поясів: грудного, талієвого та стегового. Ступінь розвитку кожного з них характеризується відповідними морфологічними ознаками, які виражаються наступними параметрами: поперечним діаметром грудей ($dp_{гIII}$), талії ($dp_{т}$), стегон ($dp_{ст}$) на вигляді в фас та передньо– заднім діаметром грудей ($dp-3_{гIII}$), талії ($dp-3_{т}$), стегон ($dp-3_{ст}$) на вигляді в профіль. Характеристика різних форм тулуба, виражається у їх взаємному співвідношенні, які характеризують форму грудної клітини та тип тілобудови; у величині прогину тулуба по лінії талії, які характеризують форму тулуба, як на вигляді в фас, так і на вигляді в профіль [5, 6].

Найбільш поширеною класифікацією форм тулуба, що ґрунтується на параметричних характеристиках тулуба є класифікація Шершньової Л.П [5]. Цю систему визнано більш досконалою, оскільки вона заснована на співвідношенні поперечних проєкційних вимірів тулуба, що дозволяє охарактеризувати фігури однієї форми тулуба однаковими показниками. Також відома класифікація Коблякової Є.Б [6], згідно з якою до уваги приймають абсолютні значення різниці проєкційних розмірів тулуба, що не дозволяє встановити типи форм тулуба крайніх фігур. Близькою до класифікації Коблякової Є.Б. є класифікація наведена в ДСТУ ISO/TR 10652– 2001 [7]. Отже, форма жіночого тіла характеризується наступним розподілом повнотних рядів трьох типів: А – фігури III, IV, V, VI та VII повнотного ряду, в яких $Ost-Og_{III} \leq 3$ см; М – фігури I та II повнотного ряду, в яких $Ost-Og_{III} = 4-8$ см; Н – фігури – III, – II, – I, 0 повнотного ряду, в яких $Ost-Og_{III} \geq 9$ см. Вказані типи відповідають верхньому, середньому та нижньому типам, запропонованим в [5], та верхньому, рівноважному, нижньому типам, запропонованим в [6].

Щодо характеристики талієвого відділу тулуба, то його форма досліджена не досить повно. Лише в класифікації Шершньової Л.П. надана характеристика величини прогину бічного контуру тіла по лінії талії, який може бути: значним $Kg.f.t < 0,8$, середнім $Kg.f.t = 0,8-0,9$, незначним $Kg.f. > 0,9$, і розраховується за коефіцієнтом горизонтальних пропорцій тіла в фас по лінії талії $Kg.f.t = dp_{т}/dp_{гIII}$ [5].

Постановка завдання

Таким чином, доцільним є дослідження відхилень проєкційних розмірів тулуба типових жіночих фігур від гармонійних; встановлення величин частотних інтервалів, що характеризують різні ступені розвитку основних анатомічних поясів тулуба. На основі досліджень слід розробити рубрикацію фронтальних та профільних форм тулуба жіночих фігур та визначити частоту їх зустрічності в загальній сукупності типових фігур.

Виклад основного матеріалу

Ступінь розвитку морфологічних ознак (ширини грудей, талії та стегон) на проєкції в фас та

профіль, може бути недостатньою, нормальною та надмірною і виражається величиною їх відхилення від гармонійної.

У відповідності з результатами попередніх досліджень [7] в кожній групі зростів обрано по одній гармонійній типовій фігурі: 152– 80– 88, 164– 88– 92, 176– 96– 100. Параметрична характеристика проєкційних розмірів їх тулуба наведена в табл. 1.

Таблиця 1

Параметрична характеристика типових фігур жінок, що обрані для дослідження

Ведучі розміри гармонійних фігур	Значення проєкційних розмірів тулуба гармонійних типових фігур			Параметрична характеристика типових фігур жінок, що обрані для дослідження		
	дп.г.ш	дп.г.	дп.ст	Група зростів	Група розмірів	Повнотні ряди
152– 80– 88	23,9	21,6	29,8	152	76 ÷ 128	– III ÷ VII
164– 88– 92	26,2	22,6	31,9	164	76 ÷ 132	– III ÷ VII
176– 96– 100	27,4	24,6	34,7	176	80 ÷ 124	– II ÷ VI

Величини відхилення проєкційних розмірів типових фігур від гармонійних характеризуються коефіцієнтом співвідношення проєкційних розмірів тулуба, що розраховується за формулою:

$$k = \frac{T}{T_{\text{гарм}}}, \quad (1)$$

де k – коефіцієнт проєкційного розміру тулуба типової фігури;

T – параметр розмірної ознаки типової фігури, см;

$T_{\text{гарм}}$ – параметр розмірної ознаки гармонійної фігури, см.

Відповідно до ГОСТ 17522 – 72 [3] та ОСТ 17– 497– 83 [9] для досліджень було обрано сукупність 257 типових фігур: 97 фігур малого зросту (152 см); 98 фігур середнього зросту (164 см); 62 фігури великого зросту (176 см). Сукупність цих фігур була перевірена за коефіцієнтом співвідношення проєкційних розмірів тулуба типової та гармонійної фігури. Результати обчислень наведені на прикладі розрахунку коефіцієнтів відхилень передньо– заднього діаметру стегон типових фігур зросту 164см (табл. 2).

Таблиця 2

Характеристика коефіцієнтів передньо– задніх діаметрів стегон типових фігур зросту 164см

Роз–мір	Повнотний ряд										
	– III	– II	– I	0	I	II	III	IV	V	VI	VII
88			0,89	0,95	1	1,06	1,11	1,18	1,22	1,29	1,34
92			0,95	1,02	1,06	1,13	1,18	1,25	1,29	1,34	
96			1,02	1,09	1,13	1,21	1,25	1,32	1,36	1,43	1,48
100			1,09	1,16	1,21	1,27	1,32	1,39	1,43	1,48	
104		1,05	1,16	1,23	1,27	1,35	1,39	1,46	1,50	1,55	
108			1,26	1,30	1,37	1,42	1,46	1,53	1,57	1,62	
112			1,33	1,37	1,44	1,49	1,56	1,60	1,64	1,68	
116	1,28	1,35	1,40	1,47	1,51	1,56	1,62	1,67	1,71		

Враховуючи, зазначені вище обсяги вибірок, для кожного зросту було встановлено кількість часткових інтервалів [8], знайдено їх величини (табл. 3) та межі (табл. 4).

Таблиця 3

Характеристика основних параметрів вибірки

Ознаки вибірки		Обсяг вибірки n	Кількість часткових інтервалів K	Мінімальне значення коефіцієнту	Максимальне значення коефіцієнту	Загальний інтервал вибірки R	Частковий інтервал вибірки ΔX
Зріст	проєкційний вимір тулуба						
1	2	3	4	5	6	7	8
152	дп.г.ш	97	10	0,94	1,60	0,66	0,066
	дп.г.	97	10	0,95	1,63	0,68	0,068
	дп.ст	97	10	0,95	1,41	0,46	0,046
164	дп.г.ш	98	10	0,87	1,58	0,71	0,071
	дп.г.	98	10	0,92	1,59	0,67	0,067
	дп.ст	98	10	0,94	1,37	0,43	0,043
176	дп.г.ш	62	7	0,87	1,31	0,44	0,062
	дп.г.	62	7	0,87	1,29	0,42	0,060
	дп.ст	62	7	0,92	1,23	0,31	0,044

1	2	3	4	5	6	7	8
152	дп– з.гIII	97	10	0,77	1,41	0,64	0,064
	дп– з.т.	97	10	0,89	2,09	1,20	0,120
	дп– з.ст	97	10	0,88	2,09	1,21	0,121
164	дп– з.гIII	98	10	0,74	1,56	0,82	0,082
	дп– з.т.	98	10	0,83	2,13	1,3	0,130
	дп– з.ст	98	10	0,86	1,91	1,05	0,105
176	дп– з.гIII	62	7	0,72	1,19	0,47	0,067
	дп– з.т.	62	7	0,85	1,64	0,79	0,113
	дп– з.ст	62	7	0,87	1,61	0,74	0,106

Таблиця 4

Характеристика меж часткових інтервалів вибірки (фрагмент)

№ меж часткових інтервалів	Зріст 152см			Зріст 164см			Зріст 176см		
	дп.гIII	дп.т.	дп.ст	дп.гIII	дп.т.	дп.ст	дп.гIII	дп.т.	дп.ст
	ΔX =0,066	ΔX = 0,068	ΔX =0,046	ΔX =0,072	ΔX = 0,067	ΔX =0,043	ΔX =0,062	ΔX = 0,060	ΔX = 0,045
Межі часткових інтервалів									
1	0,941	0,949	0,946	0,866	0,920	0,940	0,872	0,874	0,919
2	1,007	1,017	0,992	0,938	0,987	0,984	0,934	0,934	0,964
3	1,072	1,084	1,038	1,010	1,054	1,027	0,996	0,995	1,009
4	1,138	1,152	1,084	1,082	1,121	1,070	1,058	1,055	1,054
5	1,204	1,219	1,130	1,153	1,188	1,113	1,120	1,116	1,099
6	1,269	1,287	1,176	1,225	1,254	1,157	1,182	1,176	1,144
7	1,335	1,355	1,222	1,297	1,321	1,2	1,244	1,236	1,189
8	1,401	1,422	1,268	1,369	1,388	1,243	1,306	1,297	1,233
9	1,467	1,489	1,314	1,440	1,455	1,287			
10	1,533	1,557	1,360	1,512	1,522	1,330			
11	1,598	1,625	1,406	1,584	1,588	1,373			
	дп– з.гIII	дп– з.т.	дп– з.ст	дп– з.гIII	дп– з.т.	дп– з.ст	дп– з.гIII	дп– з.т.	дп– з.ст
	ΔX =0,064	ΔX = 0,120	ΔX =0,121	ΔX =0,082	ΔX = 0,130	ΔX =0,105	ΔX =0,067	ΔX = 0,112	ΔX = 0,106
1	0,77	0,89	0,88	0,74	0,83	0,86	0,72	0,84	0,87
2	0,83	1,01	1,00	0,82	0,96	0,97	0,78	0,96	0,98
3	0,90	1,13	1,12	0,90	1,09	1,07	0,85	1,07	1,08
4	0,96	1,25	1,24	0,99	1,22	1,17	0,92	1,19	1,19
5	1,03	1,37	1,36	1,07	1,35	1,28	0,99	1,3	1,29
6	1,09	1,49	1,48	1,15	1,48	1,38	1,05	1,42	1,40
7	1,16	1,62	1,61	1,23	1,61	1,49	1,12	1,53	1,51
8	1,22	1,73	1,73	1,32	1,74	1,59	1,19	1,64	1,61
9	1,28	1,85	1,85	1,40	1,87	1,69			
10	1,35	1,97	1,97	1,48	2,00	1,80			
13	1,41	2,09	2,09	1,56	2,13	1,91			

Відповідно до класифікації жіночих фігур, запропонованої Шершньовою Л.П [5], тип пропорцій тілобудови жінок розраховують за коефіцієнтом пропорцій тотальних розмірних ознак $K_{т.п.} = \text{ОгрIII/P}$. Згідно з цим коефіцієнтом до фігур вузькоскладеного типу належать фігури з $K_{т.п.} < 0,56$, до фігур середньоскладеного типу – фігури з $K_{т.п.} = 0,57– 0,63$, до фігур ширококладеного типу – фігури з $K_{т.п.} = 0,64– 0,68$, до громіздких – фігури з $K_{т.п.} = 0,69– 0,79$, до фігур типу богатир – фігури з $K_{т.п.} > 0,79$ [5]. Враховуючи межі $K_{т.п.}$, були визначені групи розмірів, що характеризують різні ступені розвитку грудного поясу тулуба, який є визначальним при встановленні розміру для обраних зростів (табл. 5).

При співставленні визначених груп розмірів з коефіцієнтами проєкційних розмірів тулуба дп.гIII та дп– з.гIII було встановлено, що до вузько складеного типу належать фігури зросту 152см та 164см, що охоплюють 1– 3 межу часткового інтервалу (див. табл. 4); фігури зросту 176 см, що охоплюють 1– 4 межу. До групи середньоскладеного типу належать фігури зросту 152 см та 164 см, що охоплюють 4– 5 межу часткового інтервалу; фігури зросту 176 см, що охоплюють 5– 6 межу. До групи широко складеного типу належать фігури зросту 152 см та 164 см, що охоплюють 6– 7 межу часткового інтервалу; фігури зросту 176см, що охоплюють 7 межу. До групи громіздких належать фігури зросту 152 см та 164 см, що охоплюють

8– 10 межу часткового інтервалу; фігури зросту 176 см, що охоплюють 8 межу. До групи із богатирів належать фігури зросту 152 см та 164 см, що охоплюють 11 межу часткового інтервалу, і не належать жодна з фігур зросту 176см.

Таблиця 5

Характеристика ступенів розвитку грудного поясу тулуба жінок відповідно до їх розміру

Тип фігури	Ступінь розвитку грудного відділу тулуба	Значення Кт.п.	Значення ведучих розмірних ознак, см	
			P	OgIII
Вузькоскладений	недостатній	< 0,56	152	72 – 84
			164	76 – 92
			176	80 – 96
Середньоскладений	нормальний	0,57 – 0,63	152	88 – 96
			164	96 – 104
			176	100 – 108
Широкоскладений	помірно збільшений	0,64 – 0,68	152	100 – 104
			164	108 – 112
			176	112 – 116
Громіздкий	значний	0,69 – 0,79	152	108 – 116
			164	116 – 128
			176	120 – 136
Богатир	надмірний	> 0,79	152	120 – 128
			164	132 – 136
			176	140 – 144

Фігури вузькоскладеного типу характеризуються недостатнім, середньоскладеного – нормальним, широкоскладеного – помірно збільшеним, громіздкі – значним, а богатири – надмірним розвитком анатомічних відділів тулуба. Використовуючи запропонований вище принцип об'єднання меж часткових інтервалів в кожному із типів фігур, було встановлено діапазони інтервалів, що характеризують різні ступені розвитку грудного, талієвого та стегнового поясів тулуба (табл. 6).

Таблиця 6

Характеристика діапазонів часткових інтервалів, що характеризують ступінь розвитку анатомічних поясів тулуба

Ступінь розвитку анатомічного відділу тулуба	Зріст 152 см			Зріст 164 см			Зріст 176 см		
	проекційні виміри тулуба								
	дп.гIII	дп.т.	дп.ст	дп.гIII	дп.т.	дп.ст	дп.гIII	дп.т.	дп.ст
	Значення діапазонів часткових інтервалів								
недостатній	0,94– 1,11	0,95– 1,12	0,95– 1,06	0,87– 1,05	0,92– 1,09	0,94– 1,05	0,87– 1,09	0,87– 1,09	0,92– 1,08
нормальний	1,11– 1,24	1,12– 1,25	1,06– 1,15	1,05– 1,19	1,09– 1,22	1,05– 1,14	1,09– 1,21	1,09– 1,21	1,08– 1,17
помірно збільшений	1,24– 1,37	1,25– 1,39	1,15– 1,25	1,19– 1,33	1,22– 1,35	1,14– 1,22	1,21– 1,28	1,21– 1,27	1,17– 1,21
значний	1,37– 1,57	1,39– 1,59	1,25– 1,38	1,33– 1,55	1,35– 1,55	1,22– 1,35	1,28– 1,31	1,27– 1,30	1,21– 1,23
надмірний	1,57– 1,60	1,59– 1,63	1,38– 1,41	1,55– 1,58	1,55– 1,59	1,35– 1,37			
проекційні виміри тулуба	дп– з.гIII	дп– з.т.	дп– з.ст	дп– з.гIII	дп– з.т.	дп– з.ст	дп– з.гIII	дп– з.т.	дп– з.ст
недостатній	0,76– 0,93	0,88– 1,19	0,88– 1,18	0,74– 0,94	0,83– 1,15	0,86– 1,12	0,72– 0,95	0,86– 1,25	1,87– 1,24
нормальний	0,93– 1,06	1,19– 1,42	1,18– 1,42	0,94– 1,11	1,15– 1,42	1,12– 1,33	0,95– 1,09	1,25– 1,47	1,24– 1,45
помірно збільшений	1,06– 1,19	1,42– 1,67	1,42– 1,67	1,11– 1,27	1,42– 1,68	1,33– 1,54	1,09– 1,15	1,47– 1,58	1,45– 1,56
значний	1,19– 1,38	1,67– 2,03	1,67– 2,03	1,27– 1,52	1,68– 2,07	1,54– 1,85	1,15– 1,19	1,58– 1,64	1,56– 1,61
надмірний	1,38– 1,41	2,03– 2,09	2,03– 2,09	1,52– 1,56	2,07– 2,13	1,85– 1,91			

Враховуючи встановлені діапазони відносних відхилень проекційних розмірів типових фігур від гармонійних, визначено варіанти розвитку їх грудного, талієвого та стегнового поясів на фронтальній та профільній проекції фігури (табл. 7). Для наочності зображення ступінь розвитку морфологічної ознаки, що характеризує недостатній розвиток позначено літерою М, нормальний – Н, помірно збільшений – В, значний – Г, надмірний – Б. Першою літерою позначено розвиток тулуба на рівні лінії грудей, другою – на рівні лінії талії, третьою – на рівні лінії стегон.

Таблиця 7

Профільні форми тулуба типових фігур зросту 164см (фрагмент)

ОрШ	Повнотний ряд										
	– III	– II	– I	0	I	II	III	IV	V	VI	VII
88			88–84 М–М–М	88–88 М–М–М	88–92 М–М–М	88–96 М–М–М	88–100 М–М–М	88–104 М–Н–Н	88–108 М–Н–Н	88–112 М–Н–Н	88–116 М–Н–В
92			92–88 М–М–М	92–92 М–М–М	92–96 М–М–М	92–100 М–Н–Н	92–104 М–Н–Н	92–108 М–Н–Н	92–112 М–Н–Н	92–116 М–Н–В	
96			96–92 Н–Н–М	96–96 Н–Н–М	96–100 Н–Н–Н	96–104 Н–Н–Н	96–108 Н–Н–Н	96–112 Н–Н–В	96–116 Н–Н–В	96–120 Н–В–В	96–124 Н–В–В
100			100–96 Н–Н–М	100–100 Н–Н–Н	100–104 Н–Н–Н	100–108 Н–Н–Н	100–112 Н–Н–В	100–116 Н–Н–В	100–120 Н–В–В	100–124 Н–В–В	
104		104–96 Н–Н–М	104–100 Н–Н–Н	104–104 Н–Н–Н	104–108 Н–Н–Н	104–112 Н–Н–В	104–116 Н–Н–В	104–120 Н–В–В	104–124 Н–В–В	104–128 Н–В–Г	
108			108–104 В–Н–Н	108–108 В–В–Н	108–112 В–В–В	108–116 В–В–В	108–120 В–В–В	108–124 В–В–В	108–128 В–В–Г	108–132 В–В–Г	
112			112–108 В–В–В	112–112 В–В–В	112–116 В–В–В	112–120 В–В–В	112–124 В–В–Г	112–128 В–В–Г	112–132 В–Г–Г	112–136 В–Г–Г	
116	116–104 Г–В–Н	116–108 Г–В–В	116–112 Г–В–В	116–116 Г–В–В	116–120 Г–В–Г	116–124 Г–Г–Г	116–128 Г–Г–Г	116–132 Г–Г–Г	116–136 Г–Г–Б		

Комбінація ступенів розвитку анатомічних поясів фігури на вигляді в фас та в профіль обумовлює формування фронтальних та профільних типів форм тулуба. Аналіз варіантів розвитку морфологічних ознак тулуба (ширини грудей, талії та стегон) та принципу їх комбінації в типових жіночих фігурах дозволив розробити рубрикацію фронтальних та профільних типів форм тулуба (табл. 8). В основу рубрикації покладено інтервал байдужості (4 см) за повнотою для жіночого населення [3].

Таблиця 8

Рубрикація профільних типів жіночих фігур (фрагмент)

Тип фігури	Ширина грудей					Ширина талії					Ширина стегон				
	ступінь розвитку анатомічного відділу тулуба														
	недостатній	нормальний	помірно збільшений	значний	надмірний	недостатній	нормальний	помірно збільшений	значний	надмірний	недостатній	нормальний	помірно збільшений	значний	надмірний
М–М–М	*					*					*				
М–Н–Н	*						*				*				
М–Н–В	*						*					*			
Н–Н–М		*					*				*				
Н–Н–Н		*					*				*				
Н–В–В		*						*				*			
В–Н–Н			*					*				*			
В–В–В			*					*				*			
В–В–Г			*					*					*		
В–Г–Г			*						*					*	
Г–В–Н				*				*				*			
Г–В–Г				*				*					*		
Г–В–В				*				*				*			
Г–Г–Б				*					*					*	

Шляхом побудови технічних ескізів тулуба, розглянутих вище типових фігур, було встановлено, що фігури різних розмірів, але однакового повнотного ряду мають подібну форму тулуба. Відповідно всю

сукупність фігур 152, 164, 176 зросту було умовно розділено на 5 груп з урахуванням їх зорової подібності (табл. 9). Фігури верхнього типу характеризуються подібністю проекції їх тулуба до трапеції розширеної вверху, нижнього – до трапеції розширеної внизу, рівноважного – до прямокутника.

Таблиця 9

Характеристика груп форм тулуба типових жіночих фігур

Тип пропорцій тілобудови	Група форм тулуба				
	Верхнього типу	Суміжного з верхнім	Рівноважного типу	Суміжного з нижнім	Нижнього типу
Вузькоскладений	-	-	М- М- М	М- М- Н	М- Н- Н, М- Н- В
Середньоскладений	Н- М- М	Н- Н- М	Н- Н- Н	Н- Н- В, Н- В- Н	Н- В- В, Н- В- Г
Ширококладений	В- Н- Н	В- В- Н	В- В- В	В- В- Г	В- Г- Г
Громіздкий	Г- В- В, Г- В- Н	Г- Г- В, Г- В- Г	Г- Г- Г	Г- Г- Б, Г- Б- Г	Г- Б- Б
Богатир	Б- Г- Г, Б- Г- В	Б- Б- Г	Б- Б- Б	-	-

Для визначення частоти зустрічності, розроблених типів фігур, в загальній сукупності вибірки їх було об'єднано в три групи: в групу верхнього типу – верхній та суміжний з верхнім тип тулуба, у групу нижнього типу – відповідно нижній та суміжний з нижнім. За результатами розрахунків встановлено, що частота зустрічності фігур верхнього типу на фронтальній проекції становить 18,45 %, рівноважного – 53,75 %, нижнього – 27,85 %; на профільній проекції, відповідно, верхнього – 24,42 %, рівноважного – 57,31 %, нижнього – 18,27 %.

Висновки

Запропонована рубрикація форм тулуба жіночих фігур дозволяє розробити систему рекомендацій по підбору раціональних моделей одягу різного асортименту для фігур кожної групи. Дослідження закономірностей зміни величин їхніх розмірів, дозволить розробити математичні моделі і на їх основі встановити єдині принципи побудови базових конструкцій або корегування відповідних їм типових основ.

Література

1. Сиротенко О.П. Удосконалення способу гармонізації конструктивно-композиційних рішень жіночого легкого одягу / Сиротенко О.П.: дис... канд. техн. наук. – Хм., 2005 – 145 с.
2. Единая методика конструирования одежды СЭВ (ЕМКО СЭВ). Базовые конструкции женской одежды: Т. 2. – М.: ЦНИИТЭИлегпром, 1988. – 116 с.
3. ГОСТ 17522– 72 Типовые фигуры женщин. Размерные признаки для проектирования одежды. – [Введ. 01.01.73; измен. 19.12.86]. – М.: Издательство госстандартов, 1988. – 91 с.
4. Основні розміри людського тіла, застосовані для інженерного проектування: ДСТУ ISO/TR 10652– 2001. – Взамін: ISO 7250– 1996.01.01.2003. – К.: Державний споживчий стандарт України, 2003. – 22 с.
5. Шершнева Л.П. Проектирование и производство женского платья / Шершнева Л.П., Рогова А.П. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1983. – 224с.
6. Лашина И.В. Рекомендации по модификации основных параметров конструкции верхней женской одежды в зависимости от типа телосложения фигуры / Лашина И.В., Коблякова Е.Б., Бахмутская Е.А // Швейная промышленность. – 1992. – № 4. – С.32– 34.
7. Гладун О.П. Розробка параметричної характеристики гармонійної фігури жінки / Гладун О.П., Славінська А.Л // Вісник Технологічного університету Поділля – 2002. – № 1. – Ч.1. Технічні науки. – С. 81– 85.
8. Проблемы размерной антропологической стандартизации для конструирования одежды – М.: Легкая индустрия, 1978. – 256 с.
9. Изделия швейные. Типовые фигуры женщин для проектирования корсетных изделий: ОСТ 17– 497– 83. – М.: Изд. стандартов, 1983. – 110 с.

Надійшла 9.11.2010 р.

ПЕРЕДУМОВИ РОЗРОБКИ КОМФОРТНОГО ДИТЯЧОГО ОДЯГУ З УРАХУВАННЯМ ІНФОРМАЦІЇ ПРО СТАН ЗДОРОВ'Я ШКОЛЯРІВ

В статті проаналізовані фактори, які впливають на комфортність дитячого одягу. Проаналізовано сучасний стан здоров'я 1066 школярів м. Хмельницького. Поміж виявлених відхилень перше місце посідають хвороби верхніх дихальних шляхів, друге – хвороби опорно-рухового апарату, третє – органів травлення. Важливий вплив на здоров'я школярів мають порушення режимних моментів та психоемоційні перевантаження.

The paper analyzed the factors affecting the comfort of children's clothing. The modern state of health of 1066 schoolchildren in Khmelnytsky. Among the detected deviations first occupy the upper respiratory tract disease, the second – diseases of musculoskeletal system, the third – the digestive system. Important impact on health of schoolchildren has moments of regime violations and psychoemotional overload.

Ключові слова: школярі, адаптація, комфортний одяг, фізичне здоров'я, захворюваність.

Постановка проблеми

Політичні й економічні перетворення, що відбуваються в Україні, викликають потребу в соціальній адаптації молодого покоління до життя в сучасних умовах, у тому числі актуальною задачею для швейного виробництва є проектування дитячого одягу, яке максимально відповідає розмірам та формі дитячої фігури. У цьому плані важливим є виховання гармонійно розвинутих та здорових дітей. Але протягом останніх років у нашій країні склалася негативна ситуація зі станом здоров'я дітей усіх вікових груп [1, 2].

Теперішня ситуація – це наслідок соціально-економічної перебудови суспільства, незадовільних умов життя великої частки населення, екологічного несприятливого стану оточуючого середовища, що знижує компенсаторно – пристосувальні можливості дитячого організму та його опірності до дії різних шкідливих факторів [3]. Особливої уваги в наш час заслуговують діти шкільного віку, стан здоров'я яких значно погіршується протягом шкільного навчання [4].

Важливу роль відіграють психологічні і морально-естетичні аспекти при підборі одягу для дітей з різними захворюваннями. Важлива тут реабілітаційна функція одягу, яка дозволяє підвищити якість життя хворих дітей [9].

Тому аналіз відхилень з позиції у стані здоров'я дітей шкільного віку є актуальним як для медиків, так й для виробників з позиції комфортності одягу для дітей.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Велика кількість наукових робіт, присвячених здоров'ю школярів, звертає увагу на те, що сьогодні школа пред'являє значні вимоги до дитини, що нерідко не відповідають її фізіологічним можливостям [5]. В результаті цього збільшується емоційне й нервово-психічне навантаження на центральну нервову систему. Поряд із цим спостерігається зниження фізичної активності дітей та порушення режиму їх праці та відпочинку [6,7]. Слід, також, відзначити послаблення медичного забезпечення освітянських установ, особливо мало уваги приділяється питанням попередження захворювань та оздоровлення дітей [8]. На підставі багаторічного вивчення проблем здоров'я дітей шкільного віку було досягнуто висновку, що ці питання можуть бути вирішені лише за умов спільної зацікавленості батьків, школи та суспільства.

Для оцінки стану здоров'я школярів та факторів, що впливають на нього, була обрана загальноосвітня школа № 18 м. Хмельницького.

Виклад основного матеріалу досліджень

З метою отримання об'єктивної інформації щодо стану здоров'я школярів було проведено поглиблений огляд дітей, який проводився за участю лікарів – педіатрів, невролога, отоларинголога, ендокринолога, офтальмолога, хірурга, гастроентеролога, кардіолога, стоматолога, дерматолога, психолога.

Для уточнення діагнозів використовувалися методи ультразвукової діагностики та електрокардіограми. Показники здоров'я дітей були занесені до електронної бази даних, за результатами статистичної обробки визначались групи здоров'я дітей певних вікових категорій та відхилення в стані їх здоров'я. Поряд із цим вивчались умови проживання та виховання дітей у сім'ї за методом інтерв'ю та шляхом анкетування.

Групою спеціалістів дитячої міської поліклініки були обстежені 1066 школярів, з них молодшого шкільного віку – 416 дітей, середнього – 520 дітей, старшого – 130 дитини.

За результатами медичного обстеження школярі були розподілені за групами здоров'я (рис. 1).

З рис. 1 видно, що до групи здорових було віднесено 24,3 % школярів, до другої групи здоров'я – 30,2 %, у третю групу входили 45,1 % школярів.

Поширеність відхилень у стані здоров'я дітей школи подано на рис. 2.

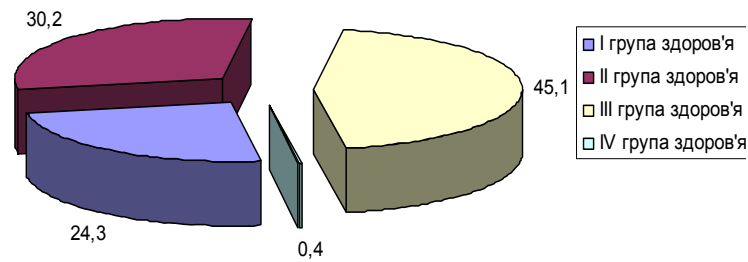


Рис. 1. Розподіл учнів загальноосвітньої школи № 18 м. Хмельницького за групами здоров'я (%)

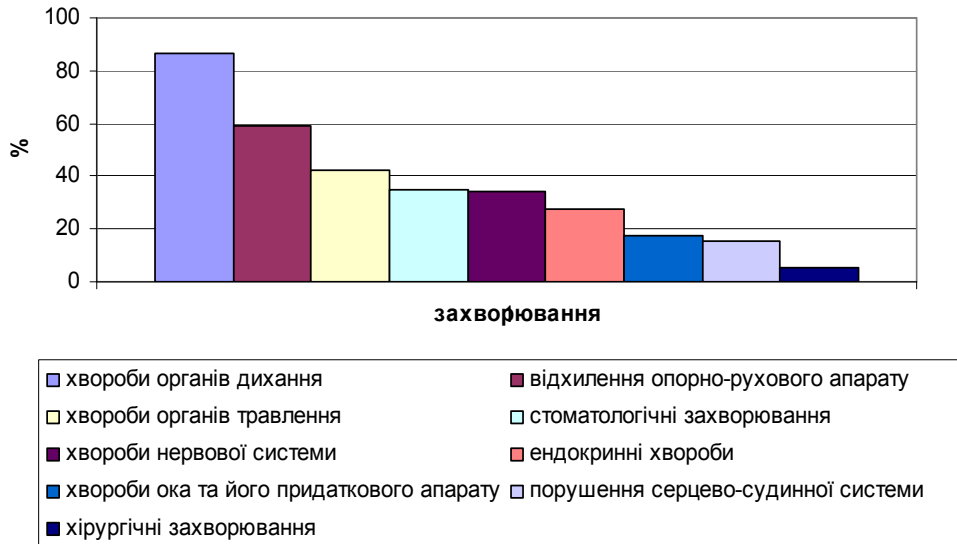


Рис. 2. Поширеність відхилень у стані здоров'я дітей загальноосвітньої школи № 18 м. Хмельницького

Перше місце серед виявлених відхилень у стані здоров'я дітей посідають захворювання верхніх дихальних шляхів – 86,7 %, до якого входять хронічні тонзиліти – 36,7 %, викривлення перегородки носа – 43,4 %, аденоїдні вегетації – 18,5 %.

На другому місці знаходяться відхилення опорно-рухового апарату: у 59 % дітей спостерігаються порушення постави, у тому числі 16,2 % виявлено плоскостопість, у 14,4 % – сколіози, у 9,8 % – деформація грудної клітки. Це свідчить, що розробка та випуск побутових виробів, які формують нормальну осанку є актуальним.

Третє місце посідають хвороби органів травлення – 42,2 %, серед яких 30,4 % становлять дискінезії жовчовивідних шляхів (ЖВХ), 18,4 % – функціональні порушення шлунково-кишкового тракту (ЖКТ), 14,4 % – хронічний гастродуоденіт, 10,3 % – хронічний холецистит, 10,7 % у структурі гастроентерологічної патології займав реактивний панкреатит.

Стоматологічна патологія становила 34,8 %. Слід відзначити високий рівень порушень нервової системи – 34,4 %. Серед школярів, як видно з рис. 2 – 27,8 % мають ендокринну патологію. Офтальмологічну патологію виявлено в 17,6 % дітей. Серед порушень серцево-судинної системи, що відмічені у 15,4 % дітей. Хірургом у 5,3 % дітей була виявлена патологія, що потребує хірургічного лікування.

За річний період протягом навчання в школі число дітей I групи здоров'я збільшилося лише на 2,6 %, а III групи здоров'я – на 8,2 %. Це свідчить про те, що здоров'я школярів не має тенденції до покращення. Важливим, крім шкільних факторів, є вивчення впливу на показники здоров'я школярів умов їх проживання та виховання в сім'ї.

Аналізуючи анкети, що заповнювали батьки дітей, було визначено значне порушення дитьми режимних моментів. Найбільш серйозним порушенням є ігнорування фізичних вправ – тільки 24 % дітей займалися фізкультурою в домашніх умовах, до 39 % дітей понад дві години переглядає телепередачі та більш ніж 45 % проводять до 3 годин за комп'ютером. Підготовка домашніх завдань займає три години в 18,8 % дітей молодших класів, 38,7 % – у школярів середніх класів і понад три години – у 33,8 % дітей старших класів. Ці дані свідчать про значний напружений робочий день учнів шкіл.

За спостереженнями батьків, у 38,7 % дітей молодших класів та в 46,7 % дітей старших класів відмічено знижену працездатність, поряд із цим батьки вказують на підвищену захворюваність дітей.

Аналіз результатів анкетування показав, що батьками до групи дітей, що часто хворіють, зараховано 23,6 % школярів молодших класів, 32,4 % дітей середніх класів і 22 % учнів старших класів.

Як показали результати опитування, дитьми використовується різноманітний побутовий одяг: спортивні костюми, трикотажні вироби, комплектні вироби.

Одяг недостатньо комфортний, зручний в одяганні, зніманий, носінні. Не має властивостей бажаних

або і обов'язкових для задовільного психологічного фізіологічного – гігієнічного стану дитини.

Зручність та комфорт одягу визначається ергономічними властивостями та досягається за рахунок використання гігієнічних матеріалів, конструкцій та методів технологічної обробки [10]. Потребу в ергономічному одязі за сферами життя дитини відображено рис. 3.

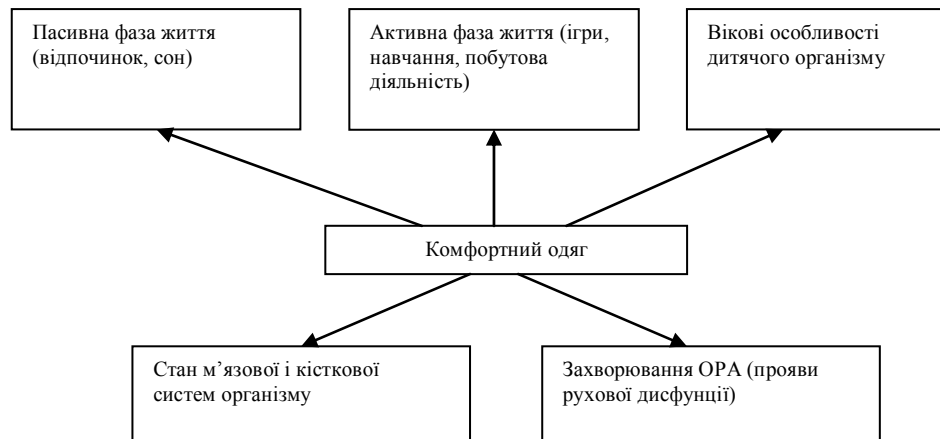


Рис. 3. Потреба ергономічного одягу за сферами життя дитини

Тобто комфортність одягу перш за все визначається станом м'язової та кісткової систем дитячого організму, які проявляються в руховій дисфункції через захворювання ОРА.

Інтенсивні темпи росту і розвитку дитячого організму визначають короткий термін експлуатації дитячого одягу через невідповідність його розмірів змінюваним антропометричним характеристикам тіла. Саме ця причина викликає 80 % заміни речей у гардеробі дитини [9].

При створенні нових моделей одягу для дітей різних вікових груп потрібен диференційований підхід до розробки вимог до виробу залежно від виду одягу, його призначення і застосування.

Опитування лікарів про пріоритети вимог до одягу для дітей з захворюваннями порушеннями ОРА показало наступний розподіл:

1 – комфортність; 2 – не сковувати вільність рухів; 3 – корекція постави; 4 – укріпити зовнішню поверхню рукава.

Матеріали повинні бути гігієнічними і еластичними як для підтримки м'язів, так і вільності рухів.

Висновки

Отже, питання здоров'я дітей шкільного віку може бути вирішено за умов спільної зацікавленості батьків, школи та суспільства. Довготривале перебування в статичній «позі учня», низька рухлива активність, небажання сучасних школярів займатися спортом приводить до викривлення хребта та розвитку сколіозу у дітей. Це пояснює необхідність створення ергономічного дитячого одягу з урахуванням сфери життя дитини.

Література

1. Моїсеєнко Р.О. Організація медичної допомоги дітям і підліткам в Україні, проблеми реформування / Моїсеєнко Р.О // Актуальні проблеми організації медичного забезпечення дітей і підлітків. – Харків. – 2002. – С. 3-17.
2. Коренев М.М. Основні проблеми медичного забезпечення дітей і підлітків / Коренев М.М // Актуальні проблеми організації, медичного забезпечення дітей і підлітків. – Харків. – 2002. – С. 20-24.
3. Пономаренко В.М. Міжгалузевий комплексний підхід до охорони здоров'я дітей в сучасних умовах / Пономаренко В.М // Мат-ли 11-го з'їзду педіатрів України «Актуальні проблеми педіатрії на сучасному етапі». – К., 2004. – С. 22.
4. Неділько В.П. Стан здоров'я школярів великого міста / Неділько В.П., Камінська Т.М., Руденко С.А., Пінчук Л.П // Клиническая педиатрия. – К., 2008. – № 10. – С. 71-75.
5. Неділько В.П. Шляхи покращення здоров'я школярів / Неділько В.П., Камінська Т.М., Руденко С.А // Перинатология и педиатрия. – 2006. – № 1. – С. 129-132.
6. Полька Н.С. Гігієнічні проблеми на початку реформи освіти в Україні / Полька Н.С., Єременко Г.М., Гозак С.В. та ін // Актуальні питання гігієни та екологічної безпеки України. – К., 2002. – С. 92-93.
7. Полька Н.С. Гігієнічне забезпечення оптимальних умов життєдіяльності дітей – основа збереження їх здоров'я / Полька Н.С // Мат-ли до круглого столу «Сучасна загальноосвітня школа та репродуктивне здоров'я». – К., 2003. – С. 22-23.
8. Неділько В.П. Шляхи покращення стану здоров'я дітей шкільного віку / Неділько В.П., Камінська Т.М., Руденко С.А // Гігієна населених місць. – Вип. 44. – К., 2004. – С. 546-549.
9. Коблякова Е. Б. Анализ возрастной динамики изменчивости размерных признаков, определяющих внешнюю форму тела детей младшего школьного возраста / Коблякова Е.Б., Мацневская

Ю.А // Швейная промышленность – 2006. – № 2. – С.46-48.

10. Славінська А. Л. Концептуальне обґрунтування моделі проектування одягу для дітей з порушеннями опорно- рухового апарату / Славінська А.Л., Гайдашевська О.Б // Вісник ХНУ – 2009. – № 5. – С.211-214.

11. Шершнева Л. П. Современные подходы к проектированию динамически комфортных конструкций детской одежды/ Шершнева Л.П., Ларькина Л.В // Швейная промышленность – 2004. – № 5. – С.42-46

12. Тихонова Т.П. Одежда как оздоровления человека/ Тихонова Т.П., Захватова Е.В., Иванова Л.В // Швейная промышленность – 2006. – № 3. – С.31-32.

Надійшла 4.11.2010 р.

УДК 687.519.2: 746.004

І.О. ЗАСОРНОВА

Хмельницький національний університет

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ХРЕСТОПОДІБНИХ СТІБКІВ ОРНАМЕНТІВ ВИШИВКИ УКРАЇНСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ОДЯГУ

Розроблено методику визначення технологічних параметрів вишивки. За запропонованою методикою визначені мінімальний та максимальний розміри хрестів української національної вишивки, їх раціональні значення.

The method of determination of technological parameters of embroidery is developed. After the offered method the minimum and maximal sizes of crosses of Ukrainian national embroidery are certain, them rational values.

Ключові слова: вишивка, орнамент, хрест, стібків.

Постановка проблеми

Сьогодні вивчення національного одягу має практичне значення, оскільки використовуючи складові орнаменту можливо створювати сучасні костюми (для щоденного носіння і для урочистих подій). Аналіз роботи відомих швейних підприємств показує, що за останні роки на українському ринку значно збільшилось виробництво одягу з вишивкою. Оздоблення костюмів вишивкою, виконаною технікою хрест, виготовляють з урахуванням технологічних параметрів орнаментів, використовуючи якісні матеріали.

Виконання ручної вишивки є досить трудомісткий процес і потребує високої майстерності робітника. В масовому виробництві орнаменти української національної вишивки відтворюють за допомогою вишивальних машин. Прикладом масового випуску виробів з вишивкою є робота компаній: “Space for Ladies”, м. Черкаси (виготовлення жіночих костюмів); “Слобожанка”, м. Харків (виготовлення жіночого одягу); “Доброс”, м. Львів (виготовлення сценічних українських костюмів) тощо. При створенні такого одягу, характерним є індивідуальний підхід в процесі виробництва. Наприклад, на деталях із замкнутим контуром (манжетах, по низу спідниці тощо), виникає потреба розміщення орнаментів із завершеним рапортом [1], що неможливо виконати без урахування таких технологічних параметрів вишивки, як розміри стібків.

Отже, виконання машинної вишивки на костюмах потребує розробки певних рекомендацій щодо її виготовлення. При цьому, потрібно дотримуватись високих естетичних вимог щодо зовнішнього вигляду і якісного виконання оздоблення, враховуючи вид одягу (верхній). Для практичного виконання оздоблення і точного розміщення його на деталях костюму, одним із важливих параметрів є розмір структурних елементів (хрестів), які утворюють орнамент. Вибір оптимальних розмірів хрестів можливо здійснити на основі досліджень орнаментів вишивки верхнього національного одягу. Тому, актуальним є питання щодо визначення технологічних параметрів вишивки.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз літературних джерел і програмних редакторів вишивки показав, що існуючі способи заповнень орнаменту хрестоподібними стібками базуються на конкретних програмних пакетах і не дозволяють встановити чіткі загальні закономірності формування елементів вишивки [2, 3]. Це часто призводить до утворення дефектів у виконанні вишивки. Наприклад, дефекти деформації виникають при виконанні вишивки на товстій тканині стібками малих розмірів; візуальні дефекти – при невідповідності розміру хреста товщині нитки, “утоплення” стібків в тканині; дефекти, які впливають на технологічність програми при вишиванні пов’язані з чутливістю вишивальних автоматів до коротких стібків і накопичення великої їх кількості в одному місці тощо.

Постановка мети дослідження

Метою дослідження є розробка методики, яка дозволяє визначити технологічні параметри вишивки.

Задачі дослідження

Для досягнення мети роботи в процесі дослідження поставлені наступні взаємопов’язані задачі:

- розробити методику для визначення технологічних параметрів вишивки;
- провести аналіз і обрати спеціальне програмне забезпечення для обробки даних розробленої

методики;

- визначити технологічні параметри: мінімальний та максимальний розміри хрестів і їх оптимальне значення.

Виклад основного матеріалу

До технологічних параметрів вишивки відносять: довжину стібка, лінійну густину, діаметр нитки, товщину матеріалу, техніку виконання, колір, густину заповнення матеріалу вишивкою.

Мінімальним елементом вишивки (надалі МЕВ), є стібко. Одним із основних параметрів вишивки є довжина стібка, так як від неї залежать: розмір орнаменту, його зовнішній вигляд і розміщення на деталях одягу (так, щоб він утворював завершений рапорт). Проте, довжина стібка має бути в межах розмаху довжин стібків виконаних в національному одязі ручним способом.

Способи, які застосовують для визначення лінійних розмірів МЕВ, побудовані на вимірюванні за стандартними методиками: лінійкою, штангенциркулем та іншими. При проведенні первинних вимірювань МЕВ за стандартними методиками визначено, що середнє значення гарантійної помилки перевищує 5 % [4]. Це пов'язано з тим, що матеріали, на яких виконана вишивка, не є жорсткими (можуть змінювати свої лінійні розміри), при вимірюванні це призводить до зміни розмірів МЕВ. Внаслідок нерівномірності МЕВ об'єктів виникає необхідність в численних вимірюваннях. При цьому, буде отримано велику кількість числових значень, які є різноманітними і варіюють в широкому діапазоні навіть в межах досліджуваної групи одягу (український, національний, жіночий, верхній). На основі цих даних важко скласти загальне уявлення про типовий розмір МЕВ, яке необхідне для визначення кількості МЕВ, що покривають елементарну площину $10 \times 10 \text{ см}^2$ одягу.

Тому, вирішено розробити методику, яка дозволяє достатньо точно визначити лінійні розміри МЕВ при мінімальній кількості вимірювань. Для практичної реалізації методу необхідно відобразити об'єкт дослідження (український національний жіночий верхній одяг), як віртуальний образ. Для цього запропоновано використовувати оптико-скануючий пристрій (ОСП) – сканер з оптичним розділенням не менше 600 dpi (точок растру на дюйм). Це дозволяє робити і зберігати віртуальні копії не жорстких об'єктів (вишивок) і проводити вимірювання розмірів МЕВ.

При скануванні проби розміщують так, щоб їх поверхня прилягання до робочої поверхні ОСП була максимально можливою (без перекосів і закладання складок). Далі активізують програму сканування (Xsane або подібну) і зберігають отримане зображення.

Наступним кроком є проведення вимірювань з використанням програм: KView, KolourPaint, showFoto або подібних. Вони дозволяють визначити кількість точок растру, яка відповідає лінійним розмірам хреста. Для цього обирають масштаб зображення, що візуально дозволяє визначити початок і кінець МЕВ (між проколами голкою). Натискають ліву кнопку маніпулятора “миша” в місці проколу голкою тканини (початок МЕВ), утримуючи ліву кнопку “миші” переводять курсор в кінець МЕВ і відпускають (рис. 1). Оскільки МЕВ виконано під кутом 45° , поперечні розміри хреста повинні дорівнювати поздовжнім, а отже, можливо однозначно охарактеризувати розміри цього об'єкту одним виміром (довжиною діагоналі).

У “рядку стану” визначають кількість точок растру між точкою натискання і діючою позицією курсору (рис. 1).

Довжину МЕВ розраховують, використовуючи формулу (1), розмір хреста – за формулою (2).

$$L_{i\bar{a}\bar{a}} = \frac{25,4}{k} \cdot \sqrt{(p_l)^2 \cdot (p_b)^2}, \text{ мм} \quad (1)$$

$$Px = \sqrt{\frac{L_{i\bar{a}\bar{a}}^2}{2}}, \text{ мм} \quad (2)$$

де L_{MEB} – довжина МЕВ; Px – розмір хреста; p_l – кількість точок растру при вимірюванні довжини МЕВ; p_b – кількість точок растру при вимірюванні ширини МЕВ; k – роздільна здатність сканування.

Для розрахунку необхідної кількості вимірювань МЕВ на одній пробі і отримання результатів з точністю не меншою 5 % та достовірністю не менше 95 % користувались законом малих вибірок.

Попередньо проведені вимірювання (об'єм вибірки $n_0=10$) показали, що результати вимірювання технологічних параметрів за допомогою розробленої методики відзначаються високою стабільністю і

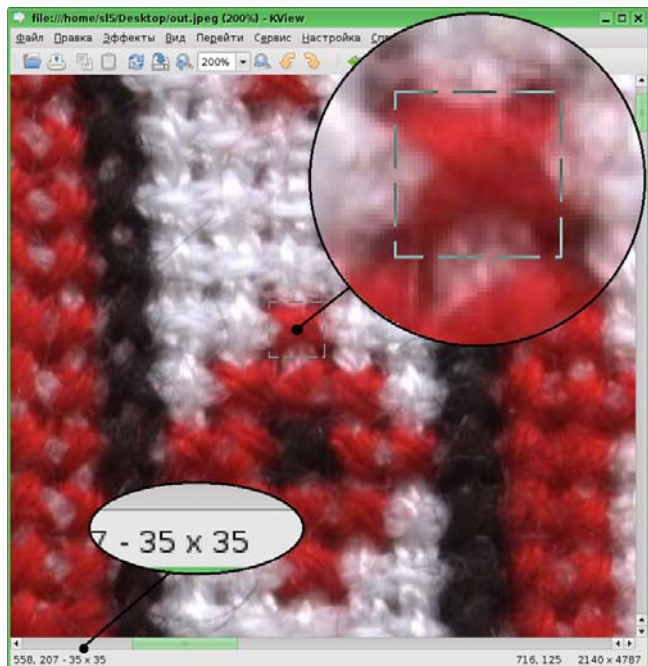


Рис. 1. Визначення розміру МЕВ за допомогою програми KView

повторюваністю результатів (табл. 1). В табл. 1 також наведені розрахунки, необхідні для визначення середнього квадратичного відхилення.

Таблиця 1

Результати попередньої вибірки

Номер досліджу	Кількість точок растру при вимірюванні довжини хреста, d_{pi}	Відхилення від середнього арифметичного, $(p_{ui} - \bar{p}_u)$	Квадрат відхилення $(p_{ui} - \bar{p}_u)^2$
1	36	1	1
2	35	0	0
3	37	2	4
4	35	0	0
5	33	-2	4
6	36	1	1
7	36	1	1
8	33	-2	4
9	35	0	0
10	34	-1	1
	$\bar{p}_u = 35,0$		$\sum (p_{ui} - \bar{p}_u)^2 = 16,0$

Середнє квадратичне відхилення розраховано за формулою (3):

$$S_{ou} = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_0} (p_{ui} - \bar{p}_u)^2}{n_0 - 1}}, \quad (3)$$

де S_{ou} – середнє квадратичне відхилення; p_{ui} – значення кількості точок растру при вимірюванні довжини хреста, d_{pi} ; \bar{p}_u – середнє арифметичне значення кількості точок растру при вимірюванні довжини хреста, d_{pi} ; n_0 – об'єм попередньої вибірки.

Кількість необхідних випробувань визначено за формулою (4):

$$n = \left(\frac{t \cdot S_{ou} \cdot 100}{m_{\mu_0} \bar{p}_u} \right)^2 + 1, \quad (4)$$

де n – необхідна кількість проб (об'єм вибірки); t – критерій Ст'юдента для довірчої імовірності 0,95 та об'ємі попередньої вибірки $n_0=10$, $t=2,23$; S_{ou} – середнє квадратичне відхилення; m_{μ_0} – відносна гарантійна помилка середнього арифметичного, $m_{\mu_0}=5\%$; \bar{p}_u – середнє арифметичне значення кількості точок растру при вимірюванні довжини хреста, d_{pi} .

Після розрахунку необхідної кількості вимірювань МЕВ $n=3,8723$. Приймаємо $n=4$, тобто необхідно провести не менше чотирьох вимірювань МЕВ на одній пробі.

Проведені вимірювання МЕВ і розмірів хреста дозволяють визначити мінімальний і максимальний розмір хреста (Px_{min} , Px_{max}), а також оптимальний розмір хреста Px_{opt} і частоту їх зустрічності $Чzx_n$.

Із проведеного вимірювання виявлено, що найменший розмір хреста $Px_{min}=1,54$, а найбільший $Px_{max}=6,47$. При обсязі вибірки 50 одиниць кількість часткових інтервалів обрано згідно рекомендацій $K=5$. Розраховані середини часткових інтервалів (хрести розмірами): 2 мм, 3 мм, 4 мм, 5 мм, 6 мм. Частоти зустрічності розмірів хрестів визначено за формулою (5):

$$Чzx_n = \frac{n_x}{\sum n_x}, \quad (5)$$

де $Чzx_n$ – частота зустрічності значення розміру хреста; n_x – кількість значень розміру хреста певного часткового інтервалу; $\sum n_x$ – загальна кількість значень.

Визначено, що частота зустрічності хреста з серединою часткових інтервалів розміром 2 мм рівна $Чzx_1=0,26$; 3 мм – $Чzx_2=0,47$; 4 мм – $Чzx_3=0,17$; 5 мм – $Чzx_4=0,06$; 6 мм – $Чzx_5=0,04$. Графічне зображення частот зустрічності розмірів хрестів представлено гістограмою (рис. 2).

Аналіз гістограми дозволив визначити максимальну частоту зустрічності $Ч_{3x_2} = 0,47$, вона відповідає хрестам з серединою часткового інтервалу 3 мм.

Отримане значення довжини МЕВ можливо використати в подальшому для розрахунку витрат ниток при виготовленні орнаментів вишивки.

Висновки

Створена методика придатна для визначення технологічних параметрів вишивки: довжини стібка і розміру хреста. Віртуальні копії вишивок можливо використовувати для визначення кольору ниток, використовуючи палітру кольорів (сучасних ниток для вишивання), для розрахунку густини заповнення матеріалу вишивкою, діаметрів ниток, а також розрахунок їх витрат. Отже, віртуальні копії вишивок можна використовувати для визначення більшості технологічних параметрів вишивки. За допомогою методики визначено оптимальний, мінімальний і максимальний розмір хреста української національної вишивки верхнього одягу.



Рис. 2. Гістограма частот зустрічності розмірів хрестів

Література

1. Радкевич В.О., Пащенко Г.М. Технологія вишивки: [підручник] / Радкевич В.О., Пащенко Г.М. / За ред. Н.Г. Ничкало. – К.: Вища шк., 1997. – 303 с.
2. Кожнина Г.С. Особенности новой версии “2009” программного обеспечения для проектирования вышивки Tajima DG/ML by Pulse // Швейная промышленность. – 2009. – № 4. – С. 12-14.
3. Филатов В.Н. Вышивальное производство: справочник / Филатов В.Н., Батаршина А.Г. – М.: Легпромбытиздат, 1991. – 136 с.: ил.
4. Грушко И.М. Основы научных исследований / И.М. Грушко, В.М. Сиденко. – Харьков.: Вища школа, 1983. – 222 с.

Надійшла 20.11.2010 р.

УДК 687.016.5

К.І. БОНДАР, Ю.А. САРАХМАН
Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПОЖИВЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НА ВИБІР ТКАНИН ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ЧОЛОВІЧИХ ШТАНІВ

У статті викладені результати досліджень споживчих властивостей костюмних тканин, які пропонує сучасний ринок України для виготовлення чоловічих штанів. Запропоновано використовувати напіввовняні тканини, які містять 45 % вовни, 50 % поліестеру і 5 % поліаміду, що дозволить забезпечити високі експлуатаційні властивості.

In this article the results of consumer properties of fabrics suits, which offers a modern market of Ukraine for making men's trousers. A semi-use fabrics that contain 45 % wool, 50 % polyester and 5 % polyamide, which will provide high performance properties.

Ключові слова: штани чоловічі, властивості, напіввовняні тканини, вовна, поліестер, поліамід.

Вступ. Сучасна мода багатогранна та мінлива. А модна індустрія пропонує сьогодні по – іншому подивитись на чоловічий одяг, зробити його вільнішим і розкутішим. Мода вносить свої корективи, в основному, лише в деталі. З'являються нові тканини і силуети, об'єми і пропорції. Не дивлячись на це, чоловічий костюм залишається досить традиційним у порівнянні з жіночим, але менше піддається примхам моди. Також актуальними у будь – який час для кожного чоловіка є штани, які є предметом гардеробу, що супроводжує його все життя. Для забезпечення комфорту і зручності людини, штани повинні відповідати усім поставленим до даного асортименту вимогам. Саме тому штани й стали предметом дослідження.

Перед виготовленням певного виду одягу підбирають пакет матеріалів, який може бути різним залежно від асортименту виробів. Основу всіх виробів складає основна тканина, тобто тканина верху. Вона може мати різне переплетення, товщину, щільність та волокнистий склад, тому до матеріалів, що використовуються для певних виробів, ставляться конкретні вимоги.

Для оцінки якості костюмних тканин і визначення режимів їх обробки в швейному виробництві та умовах експлуатації штанів необхідно знати їх властивості, які визначаються такими показниками: поверхневою щільністю, товщиною, повітропроникністю, жорсткістю, розривним навантаженням, зсіданням, зносостійкістю до дії тертя, незмиральністю. Не менше значення для матеріалів має стійкість до дії світлопогоди, хімічного чищення, тертя та прасування.

Основну групу тканин для виготовлення чоловічих штанів складають напіввовняні тканини.

Найпоширенішими з них є тканини з домішками лавсану (поліестерового волокна), при чому співвідношення вовни з лавсаном може бути різним. Проте сьогодні найчастіше зустрічаються матеріали з вмістом поліестру 34 – 55 %. До складу таких тканин можуть додаватись й інші домішки, такі як: капрон, лайкра, віскоза, еластан та інші, при цьому їх вміст є не значним. Так, на ринку мають місце тканини з вмістом в якості домішків 5 % поліаміду та 2 % лайкри, присутність яких в складі матеріалу забезпечує покращення зовнішнього вигляду та підвищення експлуатаційних властивостей [1].

Мета і задачі досліджень. Тому метою даної роботи є вибір костюмних тканин для виготовлення чоловічих штанів, що повинні зберігати свої початкові властивості в процесі експлуатації і догляду за виробом.

Як **об'єкти дослідження** з існуючого асортименту тканин для виготовлення чоловічих штанів вибрано чотири артикула напіввовняних тканин, основні характеристики яких представлені в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристика костюмних тканин

Артикул тканини	Волокнистий склад	Властивості тканини			
		Поверхнева густина, г/м ²	Щільність ниток на 10 см		Вид переплетення
			по основі	по утку	
1	2	3	4	5	6
3С43ЭЖ– ДЯ	Вовна – 66 % Поліестер – 34 %	302	415	362	складне
6776	Вовна – 48 % Віскозний шовк – 52 %	188	266	262	крепове
9В7707– ДЧ	Вовна – 45 % Поліамід – 50 % Поліестер – 5 %	212	306	238	утоковий репс
9В7423– 549	Вовна – 45 % Поліестер – 53 % Лайкра – 2 %	210	334	246	саржеве

Результати і їх обговорення. Оцінка поведінки тканин та виробів з них в умовах експлуатації є досить складною. Вирішити поставлене завдання можливо тільки шляхом моделювання експлуатаційних особливостей в лабораторних умовах. При цьому зі складного комплексу факторів, які мають місце в умовах експлуатації одягу, бажано вибрати найбільш вагомні.

В результаті вивчення умов експлуатації та факторів зношування штанів встановлено, що основними факторами є їх тривала експлуатація як верхнього одягу, що призначений для захисту людини від природної вологи, вітру та забруднень. Як наслідок, вироби вимагають частого прання або хімчистки, після яких вони можуть змінювати свої фізико-механічні властивості. Тому виникла необхідність в проведенні досліджень властивостей матеріалів.

Комплекс вимог, які ставляться до одягу і відповідають споживчим показникам якості, зумовлює призначення швейних виробів

Відомо, що показники якості чоловічих штанів залежать від властивостей тканин, що застосовуються для виробів даного асортименту. До костюмних матеріалів ставляться такі вимоги, які в більшій мірі й визначають властивості чоловічих штанів. Важливими властивостями костюмних тканин є їх незминальність, непілінгованість, мала забруднюваність, мале зсідання, зносостійкість, гігієнічність і підвищена здатність зберігати надану виробам форму [2].

Для вибору найбільш вагомних властивостей для матеріалів, що застосовуються для виготовлення чоловічих штанів, було використано метод експертної оцінки, який базується на врахуванні точки зору спеціалістів-експертів. Обробка результатів опитування експертів була проведена за методикою апріорного ранжування [3].

За результатами обробки даних експертного опитування побудовано апріорну діаграму рангів, яка представлена на рисунку 1.

На основі використання методу експертної оцінки було визначено найбільш вагомні властивості для матеріалів, що застосовуються при виготовленні чоловічих штанів. В результаті ранжування факторів встановлено, що на перших двох місцях знаходяться незминальність, зносостійкість до тертя, тобто механічні властивості, а фізичні – займають шосте і сьоме місце.

Наступний етап роботи присвячений проведенню дослідженню найбільш вагомних властивостей, які були визначені за допомогою ранжування факторів. До них відносяться: механічні (незминальність, жорсткість, міцність, стійкість до прання, хімчистки, світлопогоди та зносостійкість до тертя) та фізичні (вологість, гігроскопічність та зсідання).

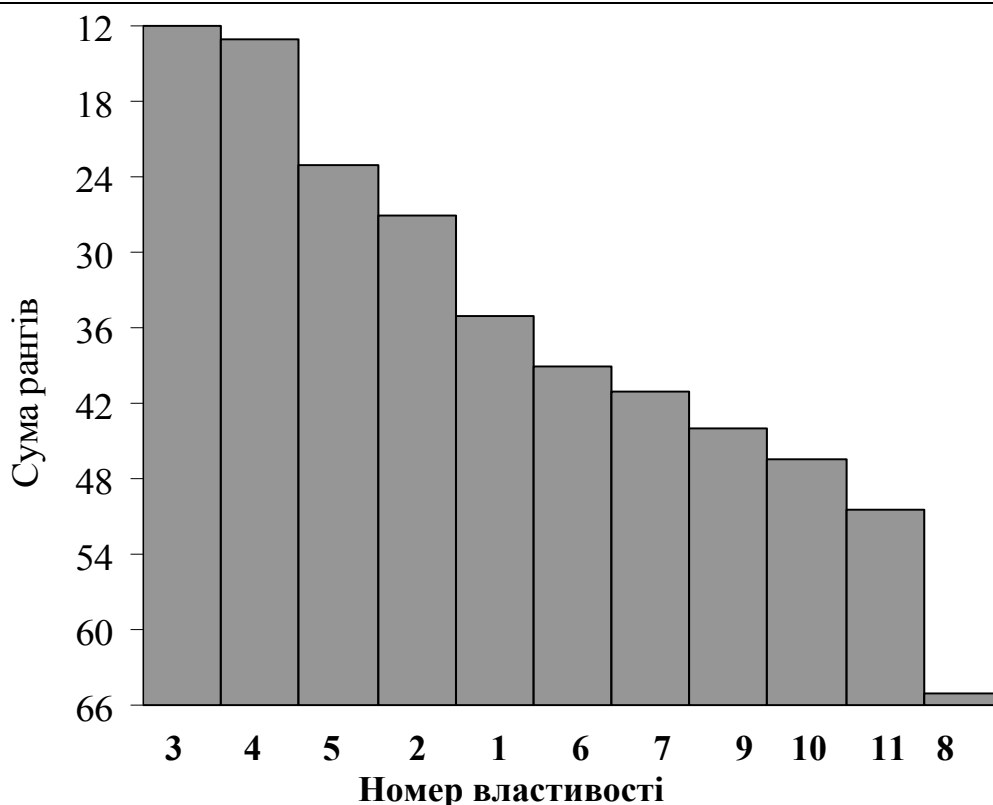


Рисунок 1. Середня апіорна діаграма рангів

1 – міцність; 2 – жорсткість; 3 – незмінальність; 4 – зносостійкість до тертя; 5 – зсідання; 6 вологість; 7 – гігроскопічність; 8 – паропроникність; 9 – стійкість до світлопогоди; 10 – стійкість до прання; 11 – стійкість до хімічткки.

Результати проведених досліджень костюмних напіввовняних тканин для виготовлення чоловічих штанів подаються в таблицях 2-5.

Таблиця 2

Характеристика механічних властивостей напіввовняної костюмної тканини артикулу 3С43 ЕЖ – ДЯ та їх зміна після впливу основних факторів

Назва властивості	Вихідна тканина		Тканина після дії					
			прання		хімічткки		світлопогоди	
	основа	уток	основа	уток	основа	уток	основа	уток
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Розривне навантаження, даН	58,7	53,88	55,94	51,84	52,14	49,88	53,62	52,8
Розривне видовження, мм	26,6	20,4	26,2	20,0	24,8	19,6	25,0	20,2
Незмінальність, %	83,1	81,1	82,2	80,4	82,8	80,8	82,8	80,6
Жорсткість, мкН·см ²	7751,5	4555,9	3657,9	3518	3635,1	3298,1	3992,6	3797,8

Таблиця 3

Характеристика механічних властивостей напіввовняної костюмної тканини артикулу 6776 та їх зміна після впливу основних факторів

Властивості	Вихідна тканина		Тканина після дії					
			прання		хімічткки		світлопогоди	
	основа	уток	основа	уток	основа	уток	основа	уток
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Розривне навантаження, даН	44,42	40,96	41,1	39,02	40,1	38,18	43,24	39,26
Розривне видовження, мм	31,8	23,0	30,0	21,4	28,8	21,4	29,2	21,6
Незмінальність, %	86,0	83,1	81,8	80,1	82,3	80,1	82,3	80,2
Жорсткість, мкН·см ²	1437,1	643,8	999	985,7	1992	1357,1	1253,3	635,7

Характеристика механічних властивостей напіввовняної костюмної тканини артикулу 9В7707 – ДЧ та їх зміна після впливу основних факторів

Властивості	Вихідна тканина		Тканина після дії					
			прання		хімчистки		світлопогоди	
	Основа	уток	основа	уток	основа	уток	основа	уток
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Розривне навантаження, даН	54,56	49,68	52,9	47,68	52,02	46,76	54,38	48,62
Розривне видовження, мм	33,6	25,0	31,2	23,8	32,1	24,3	33,0	24,2
Незминальність, %	87,7	83,8	85,8	82,7	85,4	81,6	84,0	82,7
Жорсткість, мкН·см ²	2623,5	1422,4	1767,9	1175,8	1300	662,8	2568,5	1367,9

Таблиця 5

Характеристика механічних властивостей напіввовняної костюмної тканини артикулу 9В7423-549 та їх зміна після впливу основних факторів

Властивості	Вихідна тканина		Тканина після дії					
			прання		хімчистки		світлопогоди	
	основа	уток	основа	уток	основа	уток	основа	уток
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Розривне навантаження, даН	51,98	44	50,28	38,48	49,98	38,64	51,54	39,74
Розривне видовження, мм	30,6	22,4	30,1	21,7	29,3	21,8	29,8	22,0
Незминальність, %	85,1	81,8	84,6	81,4	84,6	81,3	83,6	81,2
Жорсткість, мкН·см ²	1677,7	1640,9	1664,3	1071,9	1638	1303,4	1129,4	746,0

Як видно із результатів досліджень, найбільшою незминальністю із обраних тканин володіють тканини артикулів 9В7707 – ДЧ (87,7 %) та 6776 (86 %), дві інші тканини мають меншу незминальність – відповідно артикул 9В7423-549 (85 %) і артикул 3С43 ЭК – ДЯ (83 %), але різниця ця мала.

Найвища міцність притаманна тканині, що містить 55 % синтетичних волокон, а найменша – тканині з вмістом 34 % синтетичних волокон, що мають орієнтовану структуру, а отже і більшу міцність у порівнянні з натуральними і штучними волокнами.

Після дії фізико – хімічних факторів (прання, хімчистки, світлопогоди) незминальність тканини артикулу 3С43 ЭК – ДЯ практично не змінюється; а для тканин інших артикулів вона дещо падає, а саме: артикул 6776 – на 4 % до дії прання, хімчистки та світлопогоди, артикул 9В7707 – ДЧ – на 2 % до дії прання і хімчистки і на 3 % до дії світлопогоди.

Отже, при дії фізико – хімічних факторів на дослідженні тканини за незминальністю, що при ранжуванні факторів вийшла на перше місце, можна запропонувати тканину артикулу 9В7707 – ДЧ.

Дослідження зміни інших механічних властивостей при дії фізико – хімічних факторів показує, що міцність тканини змінюється незначно (в межах 2 – 3 % одиниць від вихідної тканини); жорсткість змінюється при пранні та хімчистці, що очевидно можна пояснити зміною апрету при водних обробках.

Із досліджуваних тканин найбільшою міцністю володіє тканина артикулу 3С43 ЭК – ДЯ, що має у порівнянні з іншими менший вміст поліестерових волокон, але найбільшу поверхневу густину.

На другому місці при ранжуванні факторів знаходиться зносостійкість до тертя, що характеризує строк служби виробів. Результати проведених досліджень для різних за сировинним складом костюмних тканин представлені в таблиці 6.

Таблиця 6

Характеристика зносостійкості до тертя напіввовняних костюмних тканин

Артикул тканини	Кількість циклів до тертя	Поверхнева густина матеріалу, г/м ²	Коефіцієнт зносостійкості
3С43 ЭК-ДЯ	1951	302	6,46
6776	2138	188	11,37
9В7707 – ДЧ	2663	212	12,56
9В7423 – 549	2587	210	12,32

З таблиці 6 видно, що тканини артикулів 9В7707 – ДЧ та 9В 7423 549 витримують найбільше число циклів витирання (коефіцієнт зносостійкості відповідно складає 12,56 та 12,32), найменше – тканина артикулу 3С43 ЭК – ДЯ (6,46).

Тканина артикулу 6776 не містить взагалі синтетичних волокон, тому повинна була б мати найменшу зносостійкість, але завдяки високій щільності зносостійкість її підвищується і є більшою ніж у тканини артикулу 3С43 ЭК – ДЯ, що містить 34 % поліестеру. Високі показники зносостійкості тканини артикулів 9В7707 – ДЧ та 9В 7423 549 пояснюються тим, що вони містять високий відсоток поліестерових волокон, а тканина артикулу 9В7707 – ДЧ ще й 5 % поліаміду, який має найвищу стійкість до тертя серед всіх інших волокон. Отже за стійкістю до тертя можна обрати дві тканини – артикулів 9В7707 – ДЧ і 9В7423-549.

Третє місце на діаграмі рангів посідає зсідання тканин. Дослідження показали, що зсідання (таблиця 7) знаходиться в допустимих нормах для всіх тканин. Таким чином, будь – яка із досліджуваних тканин за цією властивістю може бути використана для виготовлення чоловічих штанів.

Таблиця 7

Характеристика фізичних властивостей напіввовняних костюмних тканин

Артикул тканини	Гігроскопічність, %	Фактична вологість, %	Зсідання, %	
			основа	уток
3С43 ЭК – ДЯ	8,18	4,61	1,50	1,50
6776	9,79	5,30	1,50	1,51
9В7707 – ДЧ	9,16	2,93	1,92	2,01
9В7423 – 549	5,15	3,12	1,50	1,42

Для виготовлення чоловічих штанів мають значення також гігієнічні властивості (вологість і гігроскопічність).

Дослідженнями встановлено (таблиця 7), що тканина артикулу 6776 має досить високі показники гігроскопічності і вологості, що пояснюється волокнистим складом. Адаже сама вовна і віскоза, що входять до складу тканини, мають високу здатність сорбувати вологу, завдяки великій кількості гідрофільних груп у складі полімеру. Таким чином, можна за цією ознакою рекомендувати тканину артикулу 6776.

Висновки. Отже, на основі проведених досліджень встановлено, що для виготовлення чоловічих штанів доцільно запропонувати тканину артикулу 9В7707 – ДЧ, до складу якої входять волокна вовни (45 %), поліестеру (50 %) і поліаміду (5 %). Наявність таких волокон забезпечує високі механічні властивості тканини, що відповідає вимогам до виробів костюмної групи.

Література

1. Савостицкий Н.А. Материаловедение швейного производства / Н.А. Савостицкий, Э.А. Амирова. – Ростов н/Д: Феникс, 2002. – 288 с.
2. Бузов Б.А. и др. Материаловедение швейного производства. – М.: Легпромбытиздат, 1986. – 424 с.
3. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента. – М.: Легкая индустрия, 1974. – 262 с.

Надійшла 12.11.2010 р.

УДК 667.637.4: 666.3.135

О.І. ПЕРЕДРІЙ

Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАПОВНЕНИХ СИЛІЦІЙОРГАНІЧНИХ ПОКРИТТІВ

У статті подано результати досліджень фізичних властивостей, зокрема, атмосферостійкості, водопоглинання, шорсткості температуро- та вогнезахисних покриттів на основі наповнених поліалюмосилоксанів. Визначено основні фактори, що впливають на експлуатаційні властивості захисних покриттів.

Possibility of the production of hightermoresistance defensive coatings on the basis of polialuminsiloxanes compounds filled with oxides have been considered in this article. The factors, which greatly influenced upon working characteristics of protective coatings have been explored.

Ключові слова: поліорганосилоксани, атмосферостійкість, крайовий кут змочування, водопоглинання, шорсткість.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Перспективним способом захисту будівельних конструкцій від дії агресивних

факторів – високої температури, вогню – є нанесення на їх поверхню покриттів, які повинні довготривало та надійно працювати в умовах різких коливань температур. Захист будівельних конструкцій здійснюється різними покриттями, які завдяки високим показникам температуро, термо- і вогнестійкості не тільки збільшують термін експлуатації, але й при регулюванні фазового складу та структури у сукупності забезпечують необхідний комплекс цінних фізико-механічних і хімічних властивостей.

Одними з найефективніших захистів є покриття на основі органосилікатних матеріалів, які є продуктами хімічної взаємодії силіційорганічних сполук, силікатів та тугоплавких оксидів. Досить економічні методи приготування вихідних композицій органосилікатного покриття шляхом механо-хімічного диспергування наповнювача у середовищі силіцій органічного плівкоутворювача та нанесення їх за лакофарбовою технологією створюють суттєві переваги перед іншими типами покриттів.

Вирішення питання одержання захисних покриттів з високою механічною і корозійною міцністю, ударною в'язкістю, термо- і жаростійкістю та поєднання цих властивостей із властивостями кераміки, яка характеризується значною вогнетривкістю і опором до окиснення, потребує цілої низки розробок складів матеріалів, стійких до дії високих температур і корозійно-активних середовищ. Відсутність вичерпних даних про фізико-хімічні процеси, які протікають у покриттях при дії атмосферних чинників, не дає можливості направлено регулювати їх експлуатаційні властивості.

Аналіз останніх досліджень, у яких започатковано вирішення проблеми. Вибір конструкційних матеріалів, які працюють в умовах високих температур та дії вогню, залежить від запрогнозованого терміну та умов експлуатації. При виборі складу композиції для покриття необхідно враховувати не лише вогне- та жаростійкість, а й атмосферо стійкість готових покриттів. Підвищити стійкість покриття до дії зовнішніх чинників можна шляхом формування відповідного фазового складу і структури [1, 2], а також шляхом коригування покриття бар'єрного типу, які практично унеможливають доступ кисню до поверхні матеріалу [3, 4].

Технічні і техніко-економічні властивості силіцій органічних покриттів зумовлені термодинамічною стабільністю силоксанового зв'язку (Si-O). Для захисту металевих конструкцій застосовують поліорганосилоксани, які поєднують термостабільність та хімічну інертність силіційкисневого каркасу з високими фізико-механічними властивостями [3, 5].

Високий рівень таких характеристик як корозійна стійкість, жаростійкість, термостійкість, які визначаються, в основному, властивостями вихідних компонентів і одержаних на їх основі продуктів синтезу. Шляхом введення додаткових інгредієнтів можливо збільшити не лише вказані властивості, а й сприяти підвищенню атмосферо стійкості покриттів, що значно підвищить їх довговічність та надійність.

Цілі статті. Метою даної статті є проведення дослідження фізичних властивостей захисних покриттів на основі наповнених поліалюмосилоксанів.

Об'єкти досліджень. Об'єктом дослідження є композиції для захисних покриттів на основі поліалюмосилоксанового лаку КО-978 з наповнювачами (алюміній, цирконій (IV) оксиди), каоліном, каоліновим волокном та мінералізатором (титан (IV) оксид).

Дослідження покриттів проводилось на сталевих (Ст3кп0 та бетонних підкладках).

У роботі використано комплекс фізико-хімічних методів експериментальних досліджень: рентгенофазовий аналіз, хімічний аналіз, електронно-мікроскопічні та електронографічні дослідження структури покриттів.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Як відомо, довговічність та експлуатаційна надійність будівельних матеріалів і конструкцій визначаються перш за все робочим температурним режимом і стійкістю захисного покриття до дії несприятливих атмосферних чинників.

У реальних умовах експлуатації матеріали та вироби піддаються комплексній дії атмосферних чинників, накопичення яких значною мірою підвищує їх корозійну активність. Тому виникає необхідність у кількісній оцінці стійкості захисних покриттів до дії атмосферних чинників.

Таблиця 1

Склади вихідних композицій для захисних покриттів на основі наповненого поліалюмосилоксану

№ з/п	Вміст КО – 978 мас. %	Вміст наповнювачів, мас. %				
		Al ₂ O ₃	ZrO ₂	Каолін	Каолінове волокно	TiO ₂
1	20,0	40,0	35,0	–	5,0	–
2	30,0	30,0	36,5	–	3,5	–
3	40,0	20,0	38,0	–	2,0	–
4	25,0	40,0	10,0	20,0	5,0	–
5	30,0	40,0	11,5	15,0	3,5	–
6	35,0	35,0	18,0	10,0	2,0	–
7	25,0	40,0	14,0	15,0	5,0	1,0
8	30,0	30,0	22,0	12,5	3,5	2,0
9	35,0	25,0	25,0	10,0	2,0	3,0

Атмосферостійкість покриттів залежить від складу нанесеної на матеріали, що захищаються, композиції, способу їх нанесення, температурного режиму затверднення тощо. Запропоновані склади захисних покриттів (табл. 1) наносили на попередньо оброблені поверхні шаром товщиною 0,4 – 0,6 мм. Затверднення покриття проходило за кімнатної температури протягом 24 годин для досягнення максимального ступеня мікротвердості (не менше 200 МПа).

Формування покриття супроводжується процесами змочування і розтікання суспензії, утворенням площі контакту між фазами та виникнення адгезійного зв'язку. Прискорені дослідження щодо визначення атмосферостійкості показали високу ізолюючу здатність покриттів, яка залежить від вмісту плівкоутворювача та наповнювача (табл. 2).

Крайовий кут змочування для всіх досліджуваних покриттів більший за 90 градусів, що підтверджує їх високу гідрофобність. Водопоглинання покриттів на бетоні практично у 1,5 – 2 рази вище, ніж аналогічний показник для сталі Ст3кп за рахунок нижчої суцільності, що визначається рельєфом поверхні.

Таблиця 2

Фізичні властивості захисних покриттів

№ складу покриття	Крайовий кут змочування, градуси				Водопоглинання після 48 год. експозиції, %	
	на сталі марки Ст3кп		на бетоні		на сталі марки Ст3кп	на бетоні
	293 К	243 К	293 К	243 К		
1	92	90	91	90	0,58	0,92
2	96	91	93	91	0,45	0,63
3	103	90	97	90	0,14	0,27
4	93	89	90	88	0,52	0,77
5	95	93	91	89	0,43	0,62
6	98	90	92	88	0,18	0,29
7	93	89	90	90	0,43	0,57
8	95	93	91	92	0,41	0,62
9	102	89	93	89	0,32	0,51

Дослідження динаміки змін показників захисної здатності покриттів під дією атмосферних чинників вказує на погіршення їх властивостей, особливо для покриттів наповнених каоліном за рахунок їх високої адсорбційної здатності.

Експлуатаційні властивості наповнених силіційорганічних покриттів суттєво змінюються в умовах довготривалої дії від'ємних температур (експозиція 240 год.; $T = 243 \text{ K}$, підкладка – Ст3кп) (рис. 1). Крайові кути змочування за вказаної температури становлять 88...93 градуси, що на 4...13 градусів менше порівняно із аналогічними даними за кімнатної температури (табл. 1). Максимальне значення гідрофобності спостерігається під час захисту покриттями складів № 2, 5 і 8. Отже, стійкість захисних покриттів до дії від'ємних температур залежить, в основному, від вмісту поліалюмосилоксану та каоліну.

Як видно з рис. 1, залежність показника відносного ступеня екранування (X^1) від тривалості експозиції для покриттів складу № 2, 5 і 8, які мають найстабільніші властивості за дії від'ємних температур, має чітко визначений екстремальний характер. Протягом перших 48 год. експозиції показник X^1 досягає мінімуму, а в інтервалі від 48 до 96 год. починається його значне зростання з подальшим поступовим спадом. Значення відносного ступеня екранування стабілізується після 150 год. експозиції, а після 240 год. його значення складає 0,42...0,48.

Таким чином, дія від'ємних температур незначно впливає на гідрофобність захисного покриття. Крайові кути змочування зменшуються не більше ніж на 4...13 градусів і для більшості покриттів перевищують 90 градусів, що пояснюється дією мінерального наповнювача, який значно знижує дифузію води. Поряд з руйнуючою дією води за від'ємних температур можлива деструкція самого матеріалу покриття. Лабораторними дослідженнями встановлено, що циклічна дія знакозмінних температур значно відчутніше впливає на гідрофобність (табл. 3).

Аналізуючи результати досліджень атмосферостійкості покриттів, необхідно відзначити, що дія атмосферних чинників не викликає глибокого руйнування захисних покриттів. Основні процеси окиснення протікають тільки у поверхневому шарі полімеру без значного зменшення вмісту наповнювача.

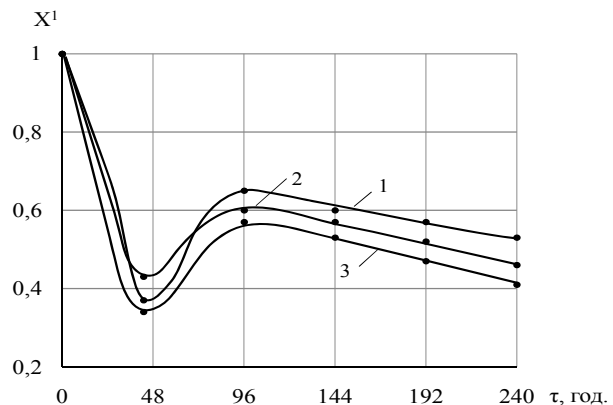


Рис. 1. Залежність відносного ступеня екранування від тривалості експозиції для покриттів складу: 1 – № 2; 2 – № 5; 3 – № 8 на Ст3кп за від'ємної температури (243 К)

**Крайовий кут змочування покриттів після циклічної дії
знакозмінних температур тривалістю 24 цикли**

№ складу покриття	Крайовий кут змочування, градуси	
	на СтЗкп	на бетоні
1	81	79
2	88	86
3	95	93
4	75	73
5	89	84
6	87	83
7	85	81
8	86	83
9	98	85

Те, що корозійні процеси проходять у поверхневих шарах покриття, підтверджується зміною їх шорсткості (табл. 4). Випробування проводились у сухих – 60 % вологості та вологих – 90 % вологості умовах протягом 1 року.

Таблиця 4

Показники шорсткості поверхні покриттів під час випробувань

№ складу покриття	Показник R_a (чисельник) та R_z (знаменник), мкм	
	у сухих умовах	у вологих умовах
1	0,323/0,521	0,412/0,912
2	0,357/0,537	0,391/1,141
3	0,412/0,683	0,382/1,240
4	0,352/0,487	0,253/1,007
5	0,381/0,510	0,268/1,217
6	0,351/0,612	0,308/1,573
7	0,287/0,492	0,408/0,978
8	0,312/0,572	0,398/1,127
9	0,308/0,603	0,348/1,331

Примітка: R_a – значення шорсткості до випробування;

R_z – значення шорсткості після випробування

Після випробувань в умовах сухого та вологого середовища протягом 1 року максимальне збільшення шорсткості R_a та R_z виявлено для складу № 9 (у 1,9 рази) і мінімальне – для складу № 5 (в 1,3 рази), максимальний і мінімальний показники шорсткості становили відповідно 0,683 і 0,487 мкм (у сухих умовах). У вологих умовах максимальне збільшення шорсткості встановлено для складу № 6 (в 5,1 рази), мінімальне – для складу № 1 (в 2,2 рази), значення максимальної та мінімальної шорсткості складають відповідно 1,331; 1,573 мкм.

Корозійні процеси у вологих умовах перебігають інтенсивніше, про що свідчать більш високі значення R_a та R_z .

Збільшення показника шорсткості підтверджується зміною мікроструктури поверхні захисних покриттів (рис. 2).

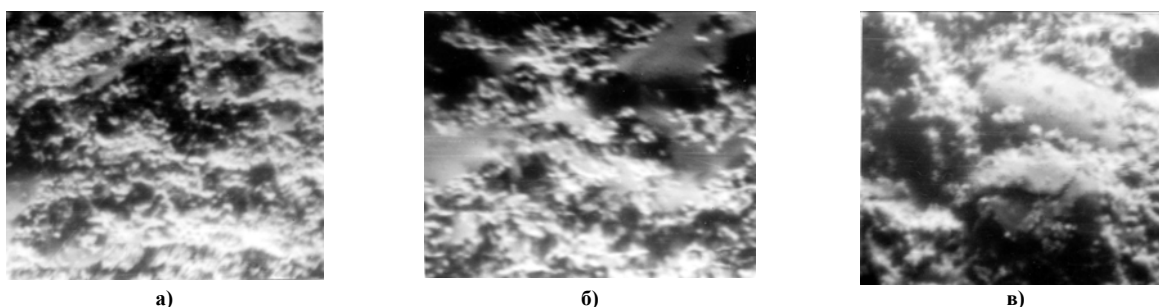


Рис. 2. Мікроструктура поверхні захисного покриття (склад № 5) після випробувань: а – вихідний; б – у сухих умовах; в – у вологих умовах ($\times 1000$)

Найінтенсивніше цей процес проходить на поверхні покриття складу № 5. Руїнування відбувається на окремих ділянках площею 200×400 мкм.

Адгезійний контакт з поверхнею металу для всіх досліджуваних захисних покриттів міцний і його руйнування внаслідок дії зовнішнього середовища не виявлено.

Висновок: результати прискорених досліджень атмосферостійкості наповнених силіційорганічних покриттів свідчать про їх високу ізолюючу здатність, яка залежить від вмісту та природи як плівкоутворювача, так і наповнювача. Дослідженнями встановлено, що покриття на основі наповнених поліалюмосилоксанів характеризуються високими показниками фізичних властивостей (атмосферостійкості та водопоглинання) при збереженні достатньої температуро- та вогнестійкості.

Література

1. Свидерский В. А. Полифункциональные кремнийорганические защитные покрытия на основе оксидов и силикатов / В. А. Свидерский. – Киев, 1987. – 466 с.
2. Мережко Н. В. Властивості та структура наповнених кремнійорганічних покриттів: Монографія / Мережко Н. В. – К.: – Київ. держ. торг. – екон. ун-т, 2000. – 257 с.
3. Ємченко І. В. Підвищення високотемпературної довговічності конструкційних матеріалів із захисними покриттями на основі наповнених силіційелементоорганічних лаків / І. В. Ємченко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2007. – № 6 (56). – С. 71-74
4. Гивлюд М. М. Покриття для високотемпературного захисту конструкційних матеріалів / М. М. Гивлюд, І. В. Ємченко // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій: зб. наук. праць. – Львів: Каменяр, 2005. – С. 472-476.
5. Передрій О.І. Високотемпературні і вогнезахисні покриття для металічних конструкцій / О.І. Передрій // Вісник ЛКА. – 2009. – Вип. 11 (Серія товарознавча). – С. 67 – 71.

Надійшла 17.11.2010 р.

УДК 677.025.1.001

О.В. ГОЛОВНЯ

Львівська національна академія мистецтв

НАПРУЖЕНИЙ ТРИКОТАЖ ПРЕСОВИХ ПЕРЕПЛЕТЕНЬ

У роботі сформульовано умови отримання рельєфного ефекту на одинарному трикотажі кулірних пресових переплетень, показано, що основною із цих умов є напруженість петельної структури, запропоновано методику та показник для кількісної оцінки внутрішньої напруги у трикотажі.

In-process laid down a condition receipt of relief effect on the single knitted fabric of kulirnikh of the press interlacings, it is rotined that basic from these terms is tension of loopback structure, a method and index is offered for the quantitative estimation of internal tension in the knitted fabric.

Ключові слова: трикотаж, переплетення, напруженість.

Лицеві рельєфні ефекти на одинарному трикотажі кулірних пресових переплетень отримують переважно за рахунок збільшених круглих петель комплексів пресових петель високого індексу або випуклих ділянок гладі, стягнутих пресовими петлями. На виворітному боці – за рахунок накидів, видовжених платинових дуг та впадин у місцях розміщення лицевих випуклостей. Такий трикотаж широко застосовують на практиці.

У спеціальній літературі з технології трикотажного виробництва [1, 2] наголошують, що основною умовою отримання рельєфних виступів на лицевому боці трикотажу одинарних кулірних пресових переплетень є поєднання ділянок гладі з пресовими петлями високого індексу. Пресові петлі розміщують по периметру цих ділянок і вони стягують петлі гладі у формі випуклостей.

Практика в'язання свідчить, що реалізація згаданих вище умов не завжди дає очікуваний результат. Наприклад, у структурі на рис. 1 внутрішні ділянки гладі між пресовими петлями з п'ятьма накидами (на схемі у прямокутному обрамленні) залишаються плоскими. Утворюються тільки точкові рельєфи із круглих петель між пресовими петлями а у стовпчиках 1 – збільшені круглі петлі не поміщаються у просторі між петельними рядами, з'єднаними пресовими петлями високого індексу. Очевидно, що для утворення випуклих ділянок гладі не достатньо розглянутих вище умов.

Аналіз структури на рис. 1 дозволяє припустити, що умови отримання рельєфного ефекту можуть стосуватись взаємодії не тільки ділянок гладі з пресовими петлями високого індексу, але і пресових петель між собою. Ця взаємодія визначається, насамперед, величиною індексу пресових петель та їх взаємним розміщенням у структурі трикотажу. Останнє характеризують кількістю петельних стовпчиків та рядів між пресовими петлями у рапорті орнаменту.

Для ілюстрації даної взаємодії розглянемо структуру трикотажу, схема в'язання якого подана на рис. 2, а. Пресові петлі *a*, *б* цієї структури мають по чотири накиди кожна і розміщені через два петельні стовпчики та чотири ряди. Комплекси пресових петель змикаються між собою. Петлі *a*, *б* взаємодіють через петлю *в*, яку пров'язують крізь пресову петлю *a* у тому ж ряді, що і наступну пресову петлю *б*.

Взаємодія пресових петель *a*, *б* полягає у тому, що жодна з них не може збільшитись до розміру, який би зняв внутрішню напругу у їх комплексах.

Пресова петля *a* через петлю *b* затягує петлі *z*, *d*. Вони зменшують свій розмір і частково затягують та напружують сусідні петлі *e*, *e*, завдяки яким наступна пресова петля *b* може збільшити свій розмір. Тому пресова петля *b* збільшує розмір за рахунок нитки петель *e*, *e* до встановлення певної рівноваги протилежно спрямованих зусиль петель *a* і *b*.

Пресові петлі *a*, *b* на зворотньому боці структури утворюють ромбоподібний каркас (рис. 2, в), який стягує внутрішні ділянки гладі у формі випуклостей з лицевого боку трикотажу (рис. 2, б).

Трикотаж з такою взаємодією пресових петель високого індексу можна назвати напруженим. Цей термін уже застосовувався раніше [3], стосовно двошаркового трикотажу. Напружений двошарковий трикотаж формують таким чином, що після зняття з машини один шар намагається вкорочуватись і розширитись, а другий – протидіє цьому, так як сам хоче звужитись і видовжитись. У напруженому пресовому трикотажі зміст взаємодії пресових петель такий же: пресові петлі не дозволяють одна одній збільшити розмір для зняття внутрішньої напруги у петельній структурі їх комплексів. Результатом цього є стягування напруженими вкороченими пресовими петлями поверхні трикотажу, тобто поява рельєфного ефекту. Цей ефект визначається рівнем внутрішньої напруги у структурі трикотажу, або величиною і напрямком перетяжки нитки у комплексах взаємодіючих пресових петель високого індексу.

Існуючі способи визначення внутрішньої напруги фізичних тіл (металу, зварювальних швів та інших жорстких конструкцій) важко застосувати для в'язаних структур, які працюють у зоні значних пружно-пластичних деформацій. Виходячи із наведеної логіки силових процесів формування рельєфного ефекту, для кількісної оцінки внутрішньої напруги у структурі пресового трикотажу можна застосувати опосередковану характеристику – коефіцієнт внутрішньої напруги $K_{в.н.}$. Його визначають відношенням висот петлі гладі $V_{гл.}$ і пресової петлі високого індексу $V_{пр.}$, отриманих за однакових умов та параметрів в'язання.

$$K_{в.н.} = V_{гл.} / V_{пр.}$$

Висоту петлі гладі $V_{гл.}$ заміряють на окремому зразку. Вона характеризує висоту пресової петлі за умови пров'язування її петлею гладі, позбавленою впливів силових зв'язків напруженої пресової структури. Заміри $V_{гл.}$ і $V_{пр.}$ виконувались на великому інструментальному мікроскопі за надійності 0,97 та відносній похибці, яка коливалась у межах 3-5 %. Для структури на рис. 2 $K_{в.н.} = 0,63$ (табл.).

Збільшення кількості рядів між пресовими петлями високого індексу призводить до утворення більш випуклих ділянок гладі з лицевого боку (рис. 3, б) та ущільнення внутрішніх ділянок ромбоподібного каркасу з виворітного боку (рис. 3, в). Структуру, подану на рис. 3, отримано при тих же параметрах та умовах в'язання, що і структуру на рис. 2, за умови збільшення кількості петельних рядів між взаємодіючими пресовими петлями з чотирьох до шести (рис. 3, а). Як видно зі схеми в'язання, петлі *b*, *b* тепер розміщені не в одному ряді, а через ряд. Посилення об'єму випуклих ділянок гладі свідчить, що збільшення відстані між пресовими петлями по вертикалі на два ряди не зменшує інтенсивності їх взаємодії. Навпаки, зростання кількості структурних елементів у внутрішніх зонах ромбоподібного каркасу додатково напружує пресові петлі. І рівновага між ними встановлюється за меншого їх розміру. Про це свідчать значення $V_{пр.}$ та $K_{в.н.} = 0,72$ для даної структури (табл.). Очевидно, що функція $K_{в.н.} = f(n)$, де n – кількість петельних рядів між пресовими петлями, має складний, нелінійний характер. Встановлення цієї залежності виходить за межі даної роботи. Що до структури поданої на рис. 3, то можна констатувати наступне: збільшення кількості петельних рядів між пресовими петлями у межах зони їх взаємодії має наслідком підвищення внутрішньої напруги і посилення рельєфного ефекту.

Збільшення кількості петельних стовпчиків між пресовими петлями високого індексу різко зменшує інтенсивність їх взаємодії. Це ілюструє структура на рис. 4., яку отримано при тих же умовах і параметрах в'язання, що і попередні дві структури. Як бачимо зі схеми в'язання (рис. 4, а), введення у рапорт в'язання одного додаткового стовпчика 4, між пресовими петлями *a* і *b*, порівняно з орнаментом на рис. 2, значно зменшує рельєфний ефект. Пресові петлі *a*, *b* збільшують свій розмір (табл.). Ромбоподібний каркас на виворітному боці (рис. 4, в) практично зникає. Додаткові петельні стовпчики 4 ізолювали комплекси пресових петель *a*, *b* один від одного. Між петлями *z*, *e* та *d*, *e* тепер розміщені петлі *ж*. Вони послабили взаємодію цих петель, а значить, і петель *a*, *b* через петлю *в*. У пресових петлях *b* появилась можливість додатково збільшити свій розмір за рахунок перетяжки нитки із менш напружених петель *e*, *e*, дія на які з

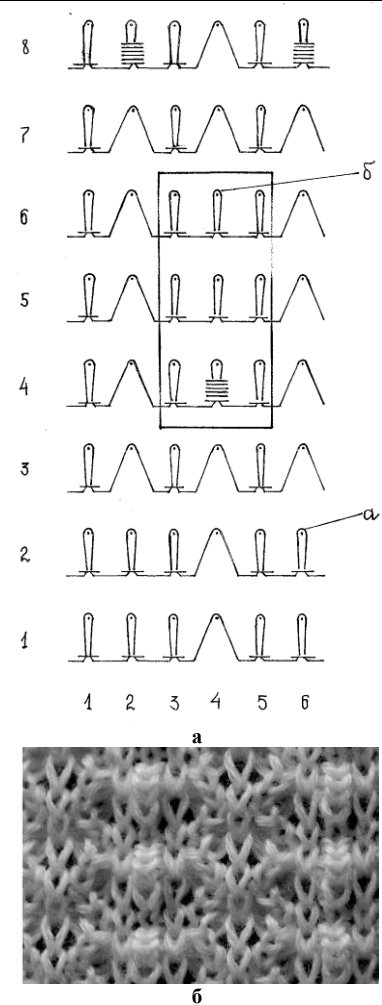


Рис. 1. Схема в'язання (а) та лицевий бік (б) зразка трикотажу пресових переплетень

боку пресової петлі *a* послаблена. Рівновага протилежно спрямованих зусиль петель *a*, *б* встановлюється за їх більшого розміру. Внутрішня напруга у структурі ($K_{в.н.} = 0,60$), а з нею і рельєфний ефект зменшуються.

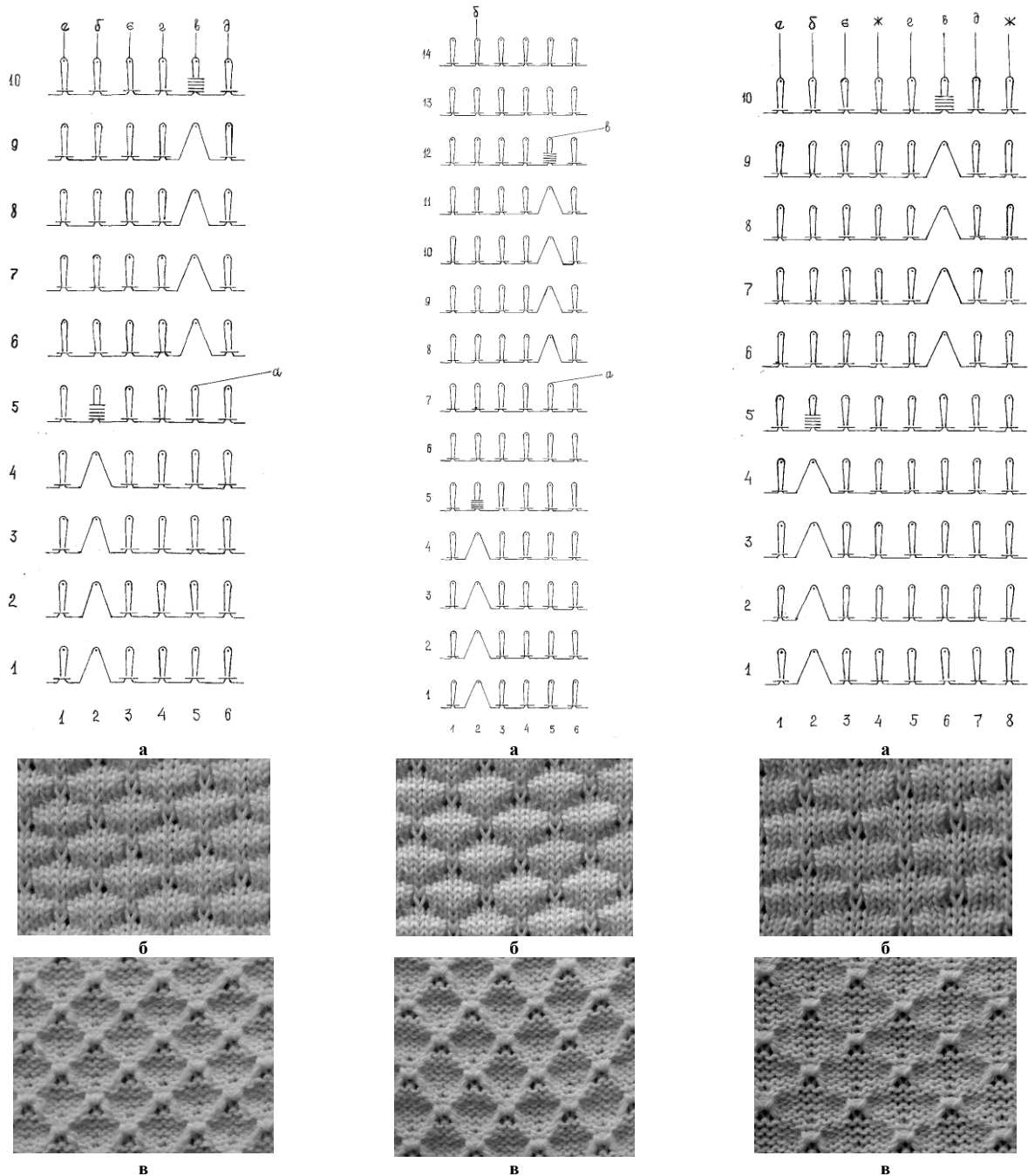
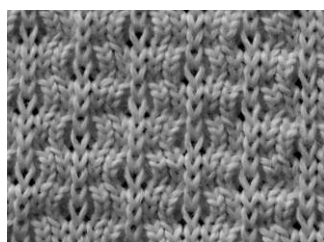
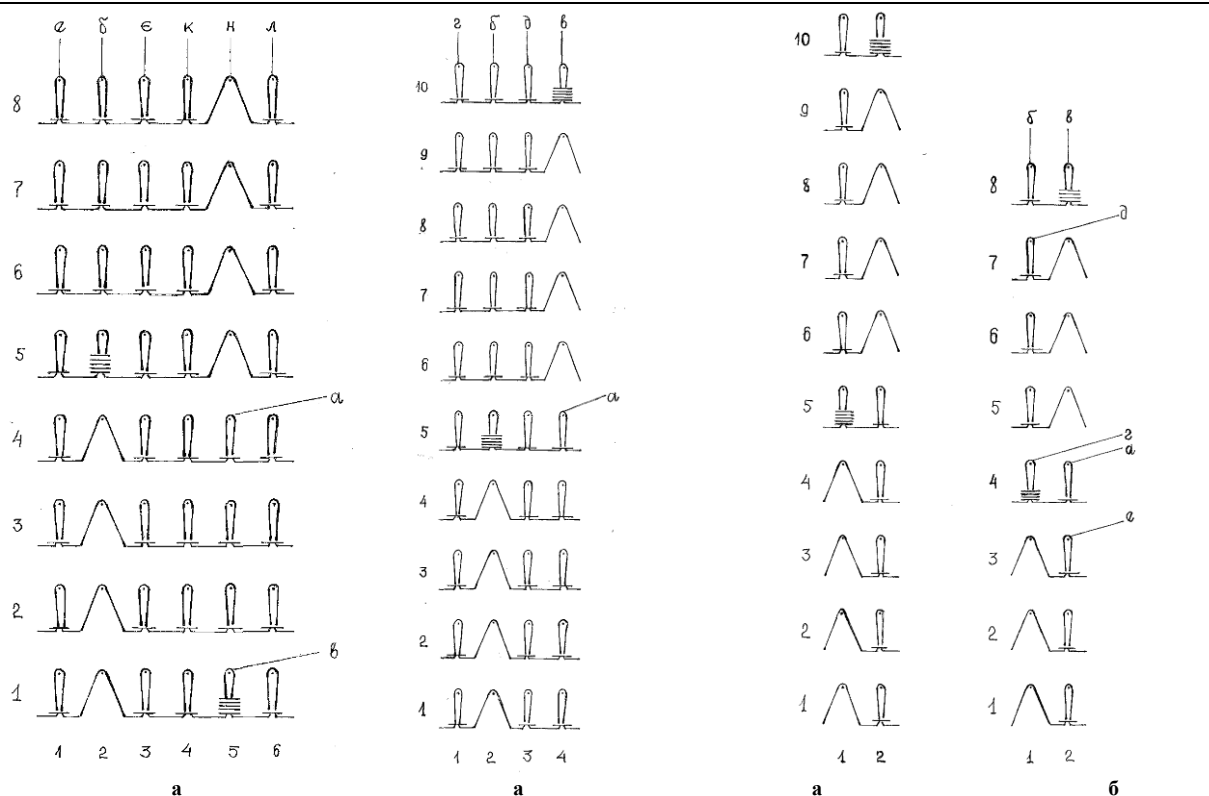


Рис. 2. Схема в'язання (а), лицевий (б) та виворітний (в) боки зразка трикотажу пре-сових переплетень

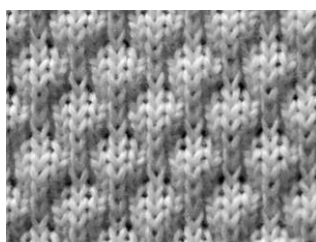
Рис. 3. Схема в'язання (а), лицевий (б) та виворітний (в) боки зразка трикотажу пре-сових переплетень

Рис. 4. Схема в'язання (а), лицевий (б) та виворітний (в) боки зразка трикотажу пре-сових переплетень

Накладання комплексів пресових петель по висоті, коли наступну петлю рапорту орнаменту пров'язують у рядах формування попередньої пресової петлі (рис. 5), має наслідком той же результат, що і у попередньому випадку – напруга у петельній структурі зменшується ще більше, ніж у зразка на рис. 4. На рис. 5, а пресова петля *б* розміщена у ряді формування останнього накиду *n* пресової петлі *a*. У цього накиду є найбільший надлишок нитки, оскільки він розміщений найвище і є найкоротшим із чотирьох накидів, а кулірувався на однакову з ними глибину. Відповідно, круглі петлі *к*, *л* мають найбільший розмір з усіх круглих петель комплексу пресової петлі *a*. З петлями *к*, *л* з'єднані петлі *е*, *є*. Петлю *в* пров'язують крізь пресову петлю *a* у наступному ряді. У пресової петлі *б* надзвичайно сприятливі умови для видовження за рахунок послаблених, з великим запасом нитки для перетяжки петель *к*, *л*, *е*, *є*. Із таблиці видно, що розмір пресових петель у структурі більший, ніж у попереднього зразка. І як результат, рельєфний каркас з виворітного боку (рис. 5, в) та рельєфний ефект з лицевого боку (рис. 5, б) майже не помітні. $K_{в.н.}$ для даної структури складає 0,59 (табл..).



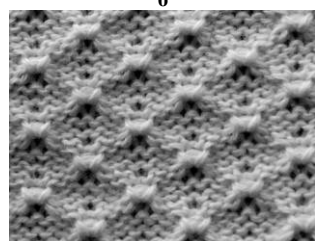
б



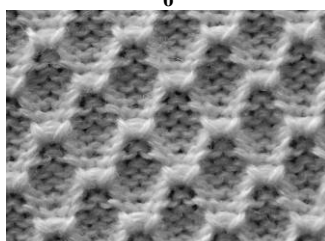
б



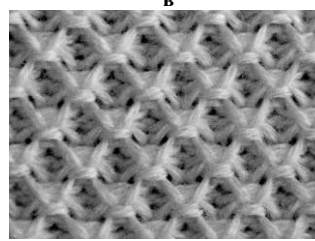
в



в



в



г

Рис. 5. Схема в'язання (а), лицевий (б) та виворітний (в) боки зразка трикотажу пресових переплетень

Рис. 6. Схема в'язання (а), лицевий (б) та виворітний (в) боки зразка трикотажу пресових переплетень

Рис. 7. Схема в'язання (а), схема в'язання (б) та лицевий (в) і виворітний (г) боки трикотажу за схемою (б)

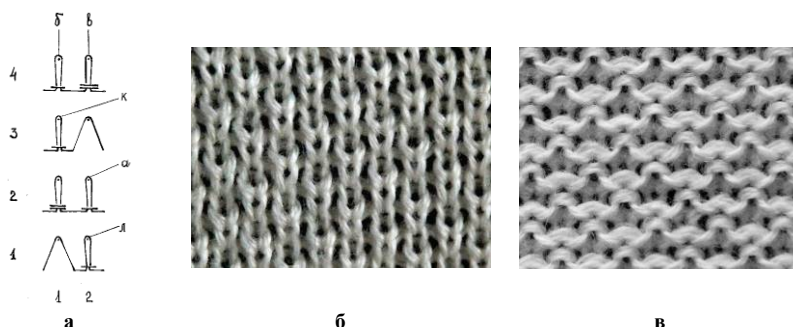


Рис. 8. Схеми в'язання (а), лицевий (б) і виворітний (в) боки зразка трикотажу переплетення «нон-ран»

Рис. 9. Графічна схема структури переплетення «нон-ран»

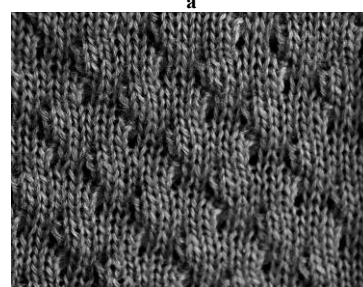
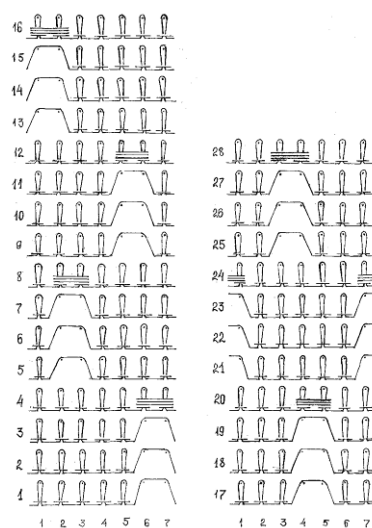
Зменшення відстані між пресовими петлями рапорту в'язання до одного стовпчика (рис. 6) спричиняє найбільший рельєфний ефект з лицевого боку та чітку і глибоку ромбоподібну сітку на

виворітному боці. Пресові петлі *a*, *b* майже не відрізняються за розміром від решти петель гладі цієї структури і є найменшими із серії проаналізованих вище зразків, отриманих за одних і тих же умов (табл.). Коефіцієнт внутрішньої напруги у зразка на рис. 6 складає 0,91. Причина цього – безпосередній зв'язок петель *z*, *d* з петлею *v*.

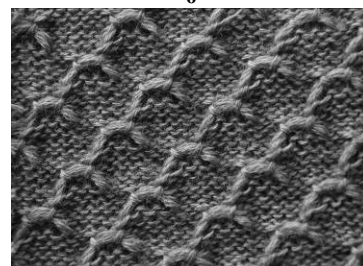
У структурі на рис. 6 комплекси взаємодіючих пресових петель накладаються один на одного вздовж стовпчиків з круглими петлями. Подальше зустрічне зміщення комплексів пресових петель по горизонталі призводить до ще більшого зростання внутрішньої напруги. В'язання такого зразка за схемою на рис. 7, а за збереження параметрів та умов структур на рис. 2-6 є ускладненим. Для нормалізації процесу в'язання зменшили лінійну щільність пряжі та індекс пресових петель (рис. 7, б). Не зважаючи на вказане пом'якшення умов процесу в'язання, пресові петлі *a*, *b* практично не помітні у структурі трикотажу (рис. 7, в). Їх розмір, орієнтовно, у 2-3 рази менший петель гладі, пров'язаних за тих же параметрів та умов. Щоб побачити петлі *a*, *b* потрібно розтягнути трикотаж вздовж петельного стовпчика. Це деформує також і пресові петлі, тому отримати достовірні значення $V_{пр}$ для даної структури з допомогою інструментального мікроскопа важко. Із рис. 7, б видно, що пресові петлі *a*, *b* у даному випадку взаємодіють між собою через петлю *v* напівпрямі – без проміжних петель. Тому пресові петлі не тільки не збільшують розмір у процесі формування трьох накидів, а навпаки, зтягують одна одну. Перетяжка нитки відбувається із петель *a*, *b* у петлі *v*, *z* відповідно. Це можна пояснити наступним чином. У ряді 8 наступна пресова петля *b* розміщена над трьома збільшеними круглими петлями. Петлю *v* цього ж ряду відтягує вниз пресова петля *a* з трьома накидами. Отже петля *v* напружена набагато більше, ніж петля *b*. Петля *v* збільшує свій розмір за рахунок ослабленої ланки – петлі *b*. Разом з петлею *v* збільшує свій розмір платинова дужка, яка з'єднує її із розміщеною вище пресовою петлею *b* за рахунок нитки тієї ж послабленої пресової петлі. Видовжені платинові дуги між петлями *b*, *v* та *a*, *z* утворюють на виворітному боці в'язки декоративний каркас у формі ромбів (рис. 7,г). На вершинах ромбів розміщені пресові петлі з накидами таким чином, що нижню частину ромба накиди підкреслюють у середині ромба, а верхню – назовні. Декоративні вузли вершин ромбів додатково акцентують голкові дужки останніх (найбільших за розміром) круглих петель *d*, *e* у формі поперечних перемичок. Рельєфний ефект з лицевого боку утворюють випуклі фрагменти стовпчиків з трьох круглих петель, які розміщуються між парами зтягнутих і збільшених петель *a*, *v* та *b*, *z* у шаховому порядку (рис. 7,в).

Якщо у орнаменті на рис. 7, б зменшити індекс пресових петель до одного, то отримаємо широко відомий трикотаж переплетення «нон-ран», який є однією із різновидностей пресових переплетень типу «мікромеш». Ці структури застосовують для зменшення розпуску панчішних виробів вздовж петельного стовпчика у разі пошкодження нитки у процесі експлуатації. На рис. 8 подана схема в'язання та структура трикотажу переплетення «нон-ран», на рис. 9 – його графічна схема. Дана структура отримана при збереженні параметрів і умов попереднього зразка на рис. 7. Картина силової взаємодії у цьому орнаменті така ж, як і у попередньому зразку, тільки інтенсивність зв'язків послаблена за рахунок меншої кількості накидів. Як видно із лицевого боку трикотажу (рис. 8, б) та графічної схеми (рис. 9), найбільший розмір у петельній структурі трикотажу мають круглі петлі *k*, *l*, пресові петлі *a*, *b* – найменший. Пресові петлі відрізняються від решти петель структури також і своєю прямокутною формою: їх палочки не змикаються між собою над голковими дужками петель, крізь які вони пров'язані. Таку форму пресових петель визначають їх витягнуті платинові дуги *n*, які по обидва боки з'єднують зміщені відносно них до низу петлі *v*. Платинові дуги *n* додатково розведені у різні боки накидами, які вони охоплюють. Одного накиду у «нон-рані» не достатньо для зтягування пресових петель, тому ромби на його виворітному боці проявлені не так чітко, як у зразку на рис. 7. Вони стають більш виразними, коли петельні ряди 2, 4 у тонких панчішних виробів пров'язують мінімальним розміром петлі.

Таким чином, у трикотажі переплетення «нон-ран» роль замка, який перешкоджає розпуску відіграють зтягнуті пресові петлі, а не з'єднані з ними петлі, як це прийнято вважати [4]. Ромбоподібні модулі дрібної сітки на зворотньому боці «нон-рану» утворюють платинові дуги пресових петель, а не



б



в

Рис. 10. Схема в'язання (а), лицевий (б) та виворітний (в) боки зразка трикотажу пресових переплетень

Результати замірів параметрів для кількісної оцінки напруги у структурі трикотажу

Номер рисунка зразка	Середнє значення висоти		Коефіцієнт внутрішньої напруги, $K_{в.н.}$
	пресової петлі, мм $V_{пр.}$	петлі гладі, мм $V_{гл.}$	
2	3,32	2,10	0,63
3	2,91	2,10	0,72
4	3,51	2,10	0,60
5	3,54	2,10	0,59
6	2,32	2,10	0,91

Висновки

Підсумовуючи сказане, умови для отримання рельєфного ефекту на одинарному трикотажі кулірних пресових переплетень можна сформулювати наступним чином:

1. Пресові петлі формують з високим індексом.
2. Розміщення пресових петель високого індексу та ділянок гладі між ними має забезпечувати взаємодію пресових петель між собою – пресова структура має бути напруженою. У напруженій пресовій структурі взаємодіючі пресові петлі перешкоджають одна одній збільшити свій розмір на величину, необхідну для зняття внутрішньої напруги у їх комплексах.
3. Для отримання напруженої пресової структури, наступну пресову петлю рапорту орнаменту розміщують у ряді пров'язування петлі крізь попередню пресову петлю, а комплекси взаємодіючих пресових петель повинні змикатися.
4. Збільшення кількості рядів між наступною та попередньою пресовими петлями (відносно п. 3) у межах зони їх взаємодії підвищує внутрішню напругу петельної структури і посилює рельєфний ефект.
5. Розміщення наступної пресової петлі у рядах формування попередньої пресової петлі (накладання комплексів пресових петель по вертикалі) різко зменшує напругу пресового трикотажу і рельєфний ефект.
6. Збільшення кількості петельних стовпчиків між взаємодіючими пресовими петлями (відносно п. 3) зменшує напругу у структурі і рельєфний ефект.
7. Накладання комплексів взаємодіючих пресових петель по горизонталі призводить до найбільшого зростання напруги у петельній структурі.
8. Для кількісної оцінки внутрішньої напруги у структурі пресового трикотажу пропонується коефіцієнт внутрішньої напруги, який визначається відношенням висот петлі гладі і пресової петлі високого індексу, отриманих за однакових параметрів в'язання.

Аналіз сформульованих вище умов показує, що у орнаменті на рис. 1 маємо приклад одночасної дії двох протилежно спрямованих факторів пунктів 5, 7 – комплекси взаємодіючих пресових петель *a*, *б* накладаються і по горизонталі, і по вертикалі. Плоский характер обрамлених ділянок свідчить, що фактор 5 є вирішальним.

Якщо ж у рапорті орнаменту є декілька пресових петель високого індексу, тоді потрібно аналізувати взаємне розміщення кожної із взаємодіючих сусідніх пар по вертикалі та горизонталі. Наприклад, у орнаменті на рис. 10 взаємодія усіх пар відповідає умовам напруженої структури. Несиметричне розміщення двоголкових пресових петель відносно ділянок гладі змінює відстань між сусідніми парами пресових петель по горизонталі від двох до одного петельного стовпчика через кожні вісім рядів в'язання. Тому рельєф у діагоналях пульсує: де вказана відстань менша, він сильніший, де більша – слабший (рис. 10, б). З виворітного боку зміна рельєфного ефекту не так помітна (рис. 10, в).

Література

1. Нешатаев А.А. Художественное проектирование трикотажных полотен / Нешатаев А.А., Гусейнов Г.М., Саватеева Г.Г. – М.: Легпромбытиздат, 1987. – 272 с.
2. Галанина О.Д. Технология трикотажного производства / Галанина О.Д., Прохоренко Э.Г. – М.: Легкая индустрия, 1975. – 302 с.
3. Поспелов Е.П. Напряженный трикотаж / Поспелов Е.П., Оганезов С.С. – Изв. Вузов. Технол. Легкой пром-сти. – 1976. – № 3. – С. 118-121.
4. Шалов И.И. Технология трикотажа / Шалов И.И., Далидович А.С., Кудрявин А.А. – М.: Легпромбытиздат, 1986. – 376 с.

Надійшла 14.11.2010 р.

РОЗРОБКА РАЦІОНАЛЬНОЇ ВНУТРІШНЬОЇ ФОРМИ СПОРТИВНОГО ЧОБОТА ДЛЯ ЗАНЯТЬ КІННИМ СПОРТОМ

У статті розглядаються математичні моделі та послідовність розробки поверхні раціональної внутрішньої форми чобота для занять кінним спортом. Колодка для формування нижньої частини заготовки чобота проектується за розмірами стоп спортсменів-кіннотників радіусографічним методом. Форма-правило для формування хлявної частини чобота проектується за розмірами гомілок спортсменів каркасно-кінематичним методом.

The article discusses mathematical models and sequence of development of rational internal surface shape for boot training equestrian sports. Shoe last for forming the bottom of the billet part boot is designed to amount feet athletes horsemen by using arc-lines method. Form-rule for the formation of freebie's part of boot is designed to amount athletes shins size by using the skeleton-kinematics method.

Ключові слова: спортивне взуття, чобіт, кінний спорт, внутрішня форма взуття, колодка, форма-правило, контур, перетин колодки.

Постановка проблеми

Різноманітність рухових дій вершника під час тренувань і змагань, значні динамічні навантаження на нижні кінцівки спортсмена, особливо на його стопи, висувають специфічні вимоги до спортивного взуття для занять кінним спортом. З критичного огляду технічної літератури і патентів, а також здійснених нами попередніх досліджень [1], випливає, що для належного виконання біомеханічних функцій ці вимоги повинні стосуватись внутрішньої форми та конструкції взуття, вибору відповідних матеріалів і способів скріплення деталей.

Внутрішні розміри і форма взуття повинні відповідати формо-розмірам стоп та гомілок спортсменів. Це одна із головних ергономічних і фізіологічних умов нормального функціонування нижньої кінцівки під час виконання вправ. Отримані у попередніх роботах [1] усереднені формо-розміри стоп і гомілок спортсменів-кіннотників складають антропометричну основу проектування форми колодки для виготовлення взуття. Слід при цьому врахувати, що при навантаженні стопа збільшується в довжину, в ширину і по обхватах. Одним із об'єктивних критеріїв раціональної конструкції взуття є відносно рівномірне розподілення навантажень на поверхню стопи. У результаті динамічних змін розмірів стопи виникають поперечні зусилля у матеріалі верху взуття, які спричинюють його деформацію. Сучасна методологія проектування раціональної внутрішньої форми взуття [2, 3] передбачає максимальне урахування усіх вказаних чинників, які і визначають відповідність внутрішньої форми спортивного взуття формо-розмірам стоп спортсменів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Аналіз вітчизняних публікацій, присвячених розробці раціональної внутрішньої форми і конструкції спортивного взуття свідчить, що переважна більшість із них [4, 5] стосується ігрових, масових видів спорту. Дослідження, що стосуються удосконаленню екіпіровки спортсменів кінних видів спорту, практично відсутні. Дизайнерські та інженерні розробки зарубіжного походження мають закритий, або рекламно-агітаційний характер і не несуть корисної конструкторсько-технологічної інформації.

Формулювання цілі статті

Метою даної роботи є розробка методики і здійснення прикладного проектування раціональної внутрішньої форми спортивних чобіт для занять кінним спортом з урахуванням антропометричних і біомеханічних даних про стопи спортсменів-кіннотників.

Виклад основного матеріалу

Ступінь раціональності внутрішньої форми взуття найчастіше визначають за величинами допустимого стискання стопи в процесі його експлуатації та відносною деформації матеріалів заготовки [2, 3]. У спортивному взутті також обов'язково враховують динамічні зміни формо-розмірів стопи, що виникають під час виконання спортивних вправ [6]. У відповідності до цих принципів периметри поперечних перетинів колодки O_k , їх ширина $Ш_k$ і висота B_k визначаються за формулами [3]:

$$O_k = \frac{O_{cm} \cdot (1 - 0,01\varphi) \cdot K_{дин}}{K_{yc} \cdot (1 + 0,01\varepsilon)},$$

$$Ш_k = \frac{Ш_{cm} \cdot (1 - 0,01K_u\varphi) \cdot K_{дин}}{K_{yc} \cdot (1 + 0,01\varepsilon_u)},$$

$$B_k = \frac{B_{cm} \cdot (1 - 0,01K_v\varphi) \cdot K_{дин}}{K_{yc} \cdot (1 + 0,01\varepsilon_v)},$$
(1)

де O_{cm} , $Ш_{cm}$, B_{cm} – периметр, ширина і висота відповідного перетину УСС спортсменів, мм (за результатами статистичної обробки вимірювань стоп);

φ – допустима відносна деформація стопи від силової дії деталей верху взуття. Для стоп дорослих людей згідно з даними роботи [3] вона складає: у пучковій частині $\varphi_{пуч} = 2,8 \div 3,1 \%$; у підйомі $\varphi_{під} = 2,1 \div 2,5 \%$; у п'ятковій частині $\varphi_{п'ят} = 1,9 \div 2,2 \%$;

ε – відносна деформація деталей заготовки верху взуття, яка виникає від силової дії з боку стоп спортсменів. Наприклад, для системи матеріалів напівшкурор+шкіра підкладкова $\varepsilon = 1,4 \div 1,6 \%$ [3];

$K_{ус}$ – коефіцієнт усадки шкіряних деталей заготовки верху, яка виникає в результаті релаксації внутрішніх напружень – після зняття взуття з колодки в процесі виробництва. Для тої ж системи матеріалів напівшкурор+шкіра підкладкова $K_{ус} = 0,95$ [3];

$K_{ш}, K_{\sigma}$ – коефіцієнти, величини яких залежать від ділянки стопи і виду деформації;

$K_{дин}$ – коефіцієнт, який враховує динамічне збільшення розмірів стоп спортсменів під час виконання спортивних вправ. Він, як правило, визначається експериментально по відношенню до розмірів тих же стоп без навантаження (на вису). У пучковій частині стопи $K_{дин} = 1,021 \div 1,037$.

В результаті проведених за формулами (1) та даними антропометричних досліджень [1] розрахунків були отримали раціональні розміри колодок для виготовлення спортивних чобіт чоловічої групи (табл. 1).

Таблиця 1

Розрахункові розміри поперечних периметрів раціональних колодок для виготовлення чобіт для кінного спорту (чоловіча група)

Поперечний перетин	Розміри, мм	
	стопа	колодки
Обхват посередині пучків (0,68Д _{ст})	252,0	260,8
Ширина посередині пучків (0,68Д _{ст})	105,0	106,5
Висота посередині пучків (0,68Д _{ст})	54,0	55,2
Обхват в прямому підйомі (0,5/0,55Д _{ст})	268,6	273,1
Ширина в прямому підйомі (0,5/0,55Д _{ст})	84,0	85,4
Висота в прямому підйомі (0,5/0,55Д _{ст})	73,5	80,2
Ширина посередині п'ятки (0,18Д _{ст})	68,1	71,8

Використовуючи отримані розрахункові дані та радіусографічний метод, запропонований Фукіним В.О [2], здійснили проектування контурів поперечних перетинів раціональної колодки. Згідно з цим методом для виготовлення колодки з достатньою точністю необхідно спроектувати такі перетини (в долях від Д_{ст}): 0,07; 0,18; 0,30; 0,40; 0,50; 0,62; 0,68; 0,73; 0,80; 0,90; 1,00. На основі форми і розмірів поперечних перетинів був також спроектований поздовжньо-осьовий перетин колодки. Послідовність побудови контурів наведений на рис. 1.

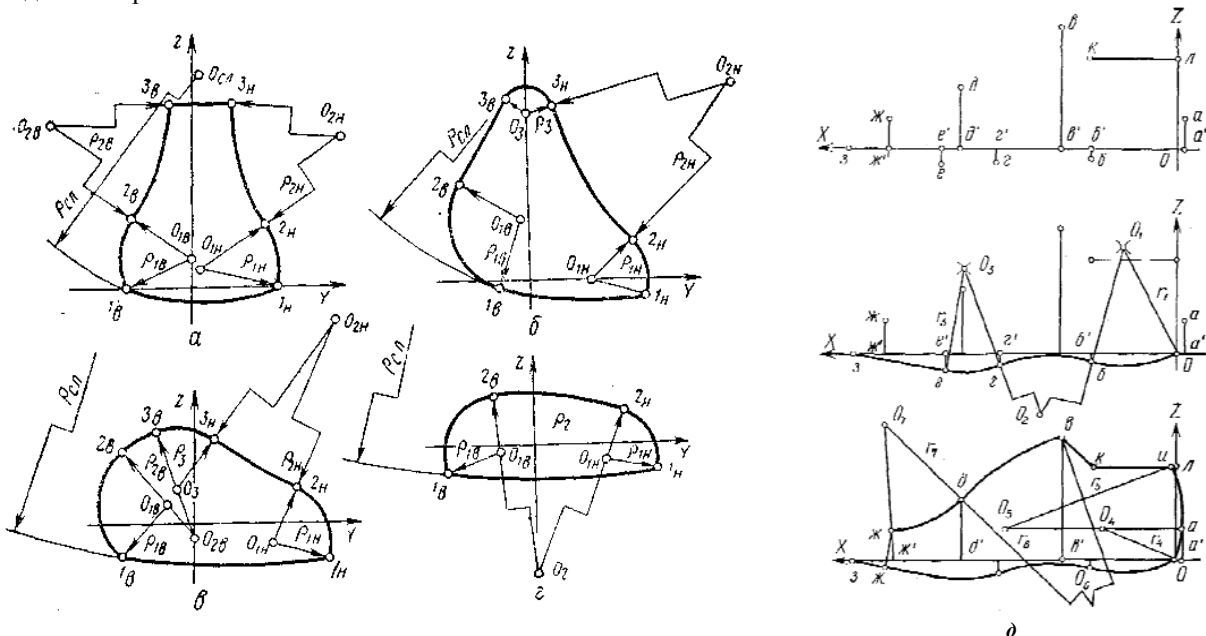


Рис. 1. Послідовність побудови контурів перетинів раціональної колодки:
 а, б, в, г – поперечних відповідно у п'ятковій, перехідній, пучковій та носковій частинах; д – поздовжньо-осьового

Суть методики [2] полягає у наступному. Конттури усіх перетинів викреслюються дугами кіл, які спрягаються в граничних точках ($1_{\sigma}, 2_{\sigma}, 3_{\sigma}, 1_{\pi}, 2_{\pi}, 3_{\pi}$) та прямими лініями, дотичними до цих дуг. Параметри побудови – величини радіусів кривизни, координати центрів дуг та точок спряжень контурів поперечно-вертикальних перерізів (P) – визначають залежно від розміру (N) і повноти (W) колодки за рівнянням:

$$P = AN + BW + C, \tag{2}$$

де N – розмір взуття за метричною системою нумерації;
 W – повнота взуття;
 A – коефіцієнт приросту параметра для суміжних розмірів;
 B – коефіцієнт приросту параметра для суміжних повнот;
 C – вільний член рівняння, який залежить від висоти підняття п'яткової частини колодки.
 За характерними ознаками всі поперечно-вертикальні перерізи колодки поділяють на 4 групи:
 1 група – перерізи п'яткової частини ($0,07 D_{cm}$; $0,18 D_{cm}$; $0,3 D_{cm}$);
 2 група – перерізи переймової частини ($0,4 D_{cm}$; $0,5 D_{cm}$);
 3 група – перерізи пучкової частини ($0,62 D_{cm}$; $0,68 D_{cm}$; $0,73 D_{cm}$);
 4 група – перерізи носкової частини ($0,8 D_{cm}$; $0,9 D_{cm}$; $1,00 D_{cm}$),
 де D_{cm} – довжина стопи, мм.

Контури зазначених перетинів колодки можна розділити на лінії [2]: сліду, зовнішньої та внутрішньої бокових поверхонь і верхньої площадки. Лінії сліду для кожного перетину складаються з однієї дуги кола радіусом $\rho_{сл}$. Лінії зовнішнього та внутрішнього боків викреслюють двома дугами, що спрягаються колами радіусів ρ_1 і ρ_2 . Лінія верхньої площадки в перетинах першої групи – це пряма; у перетинах 2-4 груп – дуга кола радіусом ρ_3 .

Побудову контурів перетинів бічних поверхонь починають з визначення положення центру O_{1g} . Для цього з точок I_1 і I_2 засічками, що дорівнюють величині ρ_{1g} , визначають положення центру O_{1g} , з якого цим же радіусом проводять дугу від точки I_1 до точки I_2 . З точок I_2 і I_3 засічками радіусом ρ_{2g} визначають центр O_{2g} , з якого цим же радіусом проводять дугу між точками I_2 і I_3 . Аналогічно викреслюють інші ділянки із зовнішнього боку.

У перетинах 1-ї групи точки I_1 і I_2 з'єднують прямою лінією. У перетинах 2-4 груп з точок I_1 і I_2 радіусом ρ_3 роблять засічки, визначаючи центр O_3 , з якого цим самим радіусом проводять дугу від точки I_1 до точки I_2 .

Після викреслювання контурів поперечних перетинів їх коригували відповідно до розрахованих раціональних широтних і висотних розмірів.

Отримані поперечні перетини та поздовжньо-осьовий перетин згрупували відносно осі OX , яка проходить через найбільш випуклу точку п'ятки і точку, яка знаходиться на відстані $0,73 D_{cm}$ і на висоті $0,09 D_{cm}$ посередині пучкової частини, і в результаті отримали каркас, що відображає форму раціональної колодки (рис. 2).

Враховуючи специфічні умови експлуатації спортивного взуття для кінного виду спорту в роботі вперше розроблено форму-паравило для приформовування халяви до гомілки спортсмена. Формування цього взуття відбувається в два етапи. Перший етап – це формування носково-пучкової та п'яткової частин заготовки при обтяжно-затяжних операціях, де взуття набуває форму, зручну для стопи.

Другий етап передбачає формування халяви чобота. Оскільки на даний час методи проектування форми-правила ще не розроблені, доцільно скористатися досвідом проектування халявної частини прес-форми для виготовлення полімерного взуття методами пресового формування або лиття [3].

З метою мінімізації вихідних даних і однозначного рішення геометричних задач для побудови обводів поверхні халявної частини прес-форми у роботі [3] використовується каркасно-кінематичний метод (ККМ). Суть його полягає у конструюванні плоскої лінії, яка проходить через вузлові точки і "рухається" в напрямку миттєвих перетворень, при цьому постійно змінює форму і розміри. У результаті отримують досить прості математичні моделі, що дають відчутний вииграш у часі при відтворенні каркасу поверхні.

Стосовно форми-правила для формування халяви спортивного чобота такою лінією може бути еліпс. Безперервний каркас поверхні задається в системі координат XYZ параметрами направляючої лінії AB (рис. 3) і пов'язаними з нею параметрами твірної-обводу.

Направляючу лінію AB форми-правила можна визначити як лінію центрів локальних обводів-еліпсів і за координатами вузлових точок апроксимувати її плоскою кривою другого порядку виду

$$X_{на} = A_1 + \frac{B_1}{Z^{C_1}}. \quad (3)$$

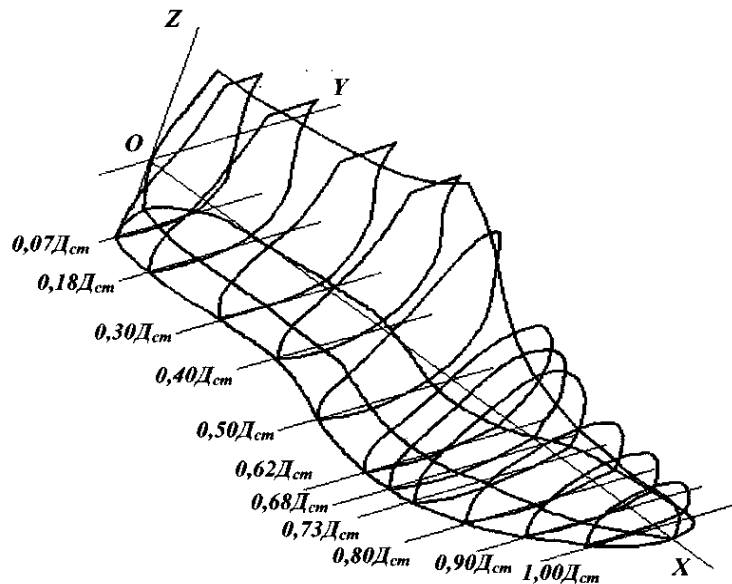


Рис. 2. Каркас стандартних поперечних, поздовжньо-вертикального перетинів та сліду раціональної колодки для виготовлення чобіт для кінного спорту

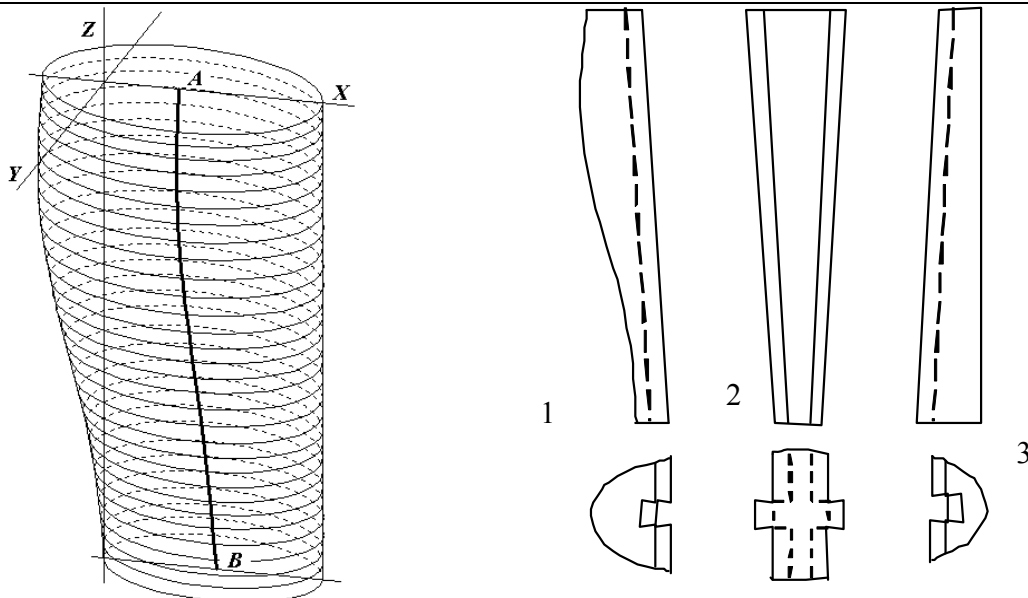


Рис. 3. Побудова безперервного каркасу поверхні та роз'ємної конструкції (1, 2, 3) форми-правила для формування халяви чобота для занять кінним спортом

Аналогічно з роботою [3] у кожній з вузлових точок $\theta, 1, \dots, i, \dots, n$ поверхні визначається положення дотичних $s_0, s_1, \dots, s_i, \dots, s_n$ і нормалей $u_0, u_1, \dots, u_i, \dots, u_n$, задаючи тим самим положення локальних координат $\tau\nu\beta$ в цих точках [7]. Далі засобами MathCAD встановлюється залежність координат точкового базису поверхні форми, віднесених до локальних систем координат, та від цих же координат, віднесених до основної системи XYZ . В результаті були отримана система рівнянь безперервно-каркасної поверхні форми-правила:

$$Y = \frac{b}{a} \sqrt{a^2 - (X - X_{нл})^2};$$

$$a = A_2 + \frac{B_2}{Z^{C_2}}; \quad b = A_3 + \frac{B_3}{Z^{C_3}}; \quad (4)$$

$$(X_{нл} - a) \leq X \leq (X_{нл} + a),$$

де a, b – довжини півосей апроксимуючого еліпса, мм;
 $X_{нл}$ – поточні координати направляючої лінії АВ, мм;
 $A_1, B_1, C_1, A_2, B_2, C_2, A_3, B_3, C_3$ – постійні коефіцієнти.

Для забезпечення відповідності форми-правила середнім розмірам гомілок спортсменів використовували наближену формулу для визначення периметра $L_{ел}$ еліпса:

$$L_{ел} = \pi \cdot (a + b).$$

Прийнявши співвідношення $a = 2b$, у формули (4) замість b підставляли значення $b = L_{ел}/3\pi$. Крім того, величину $L_{ел}$ коригували у більшу сторону на товщину внутрішніх деталей, на товщину одягу (штанів) спортсмена та у меншу сторону на величину допустимого стискання гомілки $\varphi = 1,5 \div 1,8\%$.

Оскільки направляюча лінія АВ – це плоска крива, то для визначення поверхні форми в рівняннях (4) використовуються лише значення координат X і Z . Отримані рівняння досить прості, що забезпечує компактність алгоритму розрахунку і відтворення безперервного каркасу форми-правила при достатній точності апроксимації (рис. 4).

У подальшому розроблена форма-правило для зручності технологічного процесу формування халяви спортивного взуття розділяється на три частини: задню 1, внутрішню 2 та передню 3 (рис. 4). Під час виготовлення взуття усі частини вставляються і з'єднуються у визначеній послідовності – спочатку задня, потім передня і нарешті посередині розклинаюча середня, що і сприяє самому процесові формування халявної частини взуття.

Висновки

1. Запропоновані математичні залежності для розрахунку раціональних обхватних і габаритних параметрів внутрішньої форми спортивних чобіт для занять кінним спортом, які враховують антропометричні дані стоп і гомілок спортсменів-кіннотників, динамічні зміни розмірів стоп в екстремальних фазах виконання вправ, допустиме стискання стоп взуттям, деформаційні властивості матеріалів заготовки верху. В процесі розробки залежностей використані сучасні методи просторового задання поверхонь з високою точністю і відтворюваністю.

2. Спроектвані каркаси поверхонь колодки для формування нижньої частини заготовки верху чобіт та форми-правила для формування хал явної частини спортивних чобіт для занять кінним спортом. Виготовлення технологічної оснастки за запропонованими проектами забезпечить відповідність внутрішньої форми чобіт формі і розмірам стоп і гомілок спортсменів-кіннотників та покращення умов виконання

спортивних вправ.

Література

1. Денисюк Л.В. Розробка програми автоматизованого проектування внутрішньої форми спеціального взуття для кінного виду спорту (Повідомлення 1). Антропометричні дослідження стоп спортсменів кінного виду спорту / Денисюк Л. В., Коновал В. П., Половніков І. І // Вісник Хмельницького національного ун-ту. – 2007. – № 5. – С.243 – 246.
2. Фукин В.А. Теоретические и методологические основы проектирования рациональной внутренней формы обуви / Фукин В.А.: дис.... докт. техн. наук: 05.19.06. – М., 1980. – 305 с.
3. Лыба В.П. Теория и практика проектирования комфортной обуви / Лыба В.П.: дис.... доктора техн. наук: 05.19.06. – М., 1996. – 314с.
4. Лошади и конный спорт. Экипировка, одежда, обувь [Режим доступа до сайту]: http://www.prokoni.ru/articles/?section=&articles_id=425/
5. Конный форум. Магазины конноспортивного снаряжения. Товары для всадников, амуниция, средства по уходу за лошадьми. – Режим доступа до сайту: <http://www.thehorses.ru/>
6. Половніков І. І. Біомеханічні особливості проектування спортивного взуття / Половніков І.І. – К.: Знання, 2000. – 163 с.
7. Осипов В. А. Машинные методы проектирования непрерывно-каркасных поверхностей / Осипов В. А. – М.: Машиностроение, 1979. – 248 с.

Надійшла 8.11.2010 р.

УДК 9685.34+338.67.33

С.С. ГАРКАВЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

ГІПОТЕЗА ЩОДО ВПЛИВУ СОНЯЧНИХ ЦИКЛІВ НА АНТРОПОМЕТРИЧНІ ДАНІ СТОП НАСЕЛЕННЯ

Робота присвячена вирішенню проблеми вдосконалення процесу формування розмірного асортименту взуття. Сформульовано гіпотезу щодо впливу сонячних циклів на антропометричні дані стоп дорослого населення.

Work is devoted the decision of problem of perfection of process of forming of size assortment of shoe a hypothesis is Formulated in relation to influence of sun cycles on anthropometric information feet grown man population.

Ключові слова: сонячний цикл.

Постановка проблеми.

Теоретичним аспектам формування розмірно-повнотного асортименту взуття присвячено роботи Зибіна Ю.П., Коновала В.П., Фарнієвої О.В та ін.. Разом з тим, оцінка втрат взуттєвих фірм, спричинених невідповідністю розмірно-повнотного асортименту підприємства антропометричним даним споживачів, за якими потенційний попит на продукцію перевищує реальний на 22– 30 %, вимагає вдосконалення цього процесу.

В результаті маркетингових досліджень встановлено, що близько 76 % споживачів вікової групи 45 років та старші купують взуття на 1– 2 розміри більше, ніж в попередні роки. Оскільки, довжина стопи при цьому не змінюється, основною причиною слід вважати вузький повнотний асортимент взуття. Це дає підставити стверджувати, що передбачений розподіл взуття за повнотами на три групи – „вузька”, „середня”, „широка” – не є оптимальним та вимагає перегляду з огляду на структуру попиту.

Обмеженість пропозицій щодо розмірного асортименту більшості взуттєвих фірм створює ринкові ніші – взуття великих та малих розмірів. Разом з тим, залишки товарних запасів взуття інших розмірів, дають підстави стверджувати, що проблема незадоволеності певної частини споживачів розмірно-повнотним асортиментом взуттєвих фірм не може бути повністю вирішена завдяки відомим підходам до його формування.

Вищезазначене підтверджує актуальність вдосконалення методології формування розмірно-повнотного асортименту як складової процесу посилення конкурентної позиції фірми на ринку взуття з урахуванням відмінностей розподілу довжини стоп в різних вікових групах споживачів взуття, що визначило завдання даного дослідження.

Формулювання цілей.

Об'єктом даного дослідження є вдосконалення методології формування розмірно-повнотного асортименту взуття, предметом дослідження – формування асортименту на основі гіпотези щодо впливу сонячної активності на довжину стоп, що вимагає вирішення наступних завдань наукових досліджень:

- проаналізувати закономірності окремих сонячних циклів;

- проаналізувати ступінь сонячної активності за кількістю сонячних спалахів та чисел Вольфа 21-го та 22-го сонячного циклу;
- проаналізувати сутність теорій акселерації, що впливає на антропометричні дані населення;
- проаналізувати результати маркетингових досліджень фактичної структури попиту на жіноче взуття різних розмірів в різних вікових групах;
- сформулювати гіпотезу щодо залежності антропометричних даних від віку дорослого населення, що пов'язано з циклічністю сонячних циклів, які впливають на біологічні процеси в організмі людини.

Виклад основного матеріалу дослідження

Однією з особливостей Сонця є майже регулярні зміни різних проявів сонячної активності.

Дейл Д. в 1908р. відкрив, що сонячні плями мають сильне магнітне поле протягом одного сонячного циклу. При цьому картина магнітних полярностей відновлюється, визначаючи магнітний цикл Сонця. Сонячною активністю прийнято називати всю сукупність нестационарних явищ, що спостерігаються в атмосфері Сонця, його випромінювання в різних діапазонах електромагнітних хвиль та потоках часток різних енергій.

В роботах, присвячених проблемі сонячної активності, серед яких роботи Куленковича І.С., Ішкова В.Н., Якимчука Н.О. та інших авторів [1-6] показано наявність декількох періодів сонячної активності, які накладаються один на інший – 11, 22, 80-90 років та, ймовірно, 400 років. Повний магнітний цикл Сонця складається з двох одинадцятирічних – парного та непарного.

Фаза, протягом якої кількість активних областей є найбільшою, називається максимумом сонячного циклу, а коли їх майже немає – мінімумом. Плями даного циклу з'являються протягом 12-15 років. Величина періоду циклу 11,2 роки – проміжок між сусідніми мінімумами та максимумами носить періодичний характер. Протягом 80 років середня тривалість циклів зменшилася приблизно до 10,5 років.

За останні 250 років найкоротший період дорівнює 9, а найдовший – 13,5 рокам. Нумерація сонячних циклів, починається з того моменту, коли почалися регулярні щоденні спостереження чисел плям. Фази підйому та спаду сонячної активності мають певну закономірність, що пов'язують з існуванням більш тривалого циклу, який дорівнює приблизно 80-90 рокам.

Проте, незважаючи на різну тривалість окремих циклів, в кожному з них проявляються певні закономірності.

1. Інтервал часу між послідовними максимумами та мінімумами характеризується значними коливаннями – від 7,3 до 17,1 року для перших та від 9,0 до 13,6 року для других.

2. Зростання числа плям до максимуму, зазвичай відбувається швидше за спад до мінімуму. Фаза росту кривої сонячної активності дорівнює 4,2 року (коливається в межах 2,75– 6,9), а спаду – 7 років (4,0-10,25).

Чим інтенсивнішим є цикл, тим коротшою є гілка зростання та довшою гілка спаду, але для циклів низької інтенсивності спостерігається протилежна закономірність – довжина гілки зростання перевищує довжину гілки спаду.

3. Парний цикл, згідно правила Гневішева-Оля, переважно, менше непарного. До виключень з даного правила відносять поточний, 23-й, цикл сонячної активності – непарний цикл менше парного.

4. Для фази мінімуму характерною є відсутність протягом певного часу плям на Сонці.

5. Максимальне згладжене середньомісячне число плям в різних циклах варіюється від 48,7 до 201,3, а в мінімумі – від 0 до 11,2.

Ступінь сонячної активності характеризується певними індексами, з яких найчастіше використовуються: числа Вольфа; потік радіовипромінювання на хвилі довжиною 2800 МГц, що вимірюється в сонячних одиницях потоку (с.о.п.) та відповідає змінам сумарної площі сонячних плям та кількістю спалахів в усіх активних областях; сума площ сонячних плям, що характеризує загальну величину магнітного потоку через поверхню Сонця; щоденний кальцієвий індекс, що враховує площі та потужності всіх активних областей та ін.

Число Вольфа W , значення якого використовуватимемо для дослідження впливу сонячних циклів на антропометричні дані споживачів взуття враховує загальне число сонячних плям, незалежно від їх розмірів на видимій півсфері (f); число груп плям (g); коефіцієнт (k), який приводить величини, що спостерігаються, до обраного стандарту.

Для статистичних досліджень використовують середньомісячні, згладжені за 13 місяців, середньорічні значення. Рис. 1 ілюструє середньомісячні та згладжені за 13 місяців числа Вольфа, відповідні кількості сонячних спалахів, за період 1947-1990 рр.

Основні характеристики поточного 23-го циклу практично повністю відповідають характеристикам сонячних циклів середньої величини. Основні етапи розвитку поточного сонячної активності наступні: мінімум 22-го сонячного циклу, формальний початок 23-го сонячного циклу зафіксовано в травні 1996 р

Початкове значення згладженого числа Вольфа складає R мін = 8,0; початок фази росту – вересень 1997 р.; максимум за числом сонячних плям – квітень 2000 р.; вторинний максимум відносно числа сонячних п'ятен спостерігався в листопаді 2001 р.; фаза максимуму циклу – жовтень 1999 – червень 2002 р.; початок фази спаду – липень 2002 р.; початок фази мінімуму – травень 2005 р. та ін.

Характеристики поточного 23-го та попередніх циклів дають підставу стверджувати, що

антропометричні дані населення, як дітей, так і дорослих, рік народження яких співпадає з певною фазою різних сонячних циклів, відрізнятиметься. Це вимагає постійного моніторингу розподілу розмірів стоп населення та відповідних корективів перспективного розмірно-повнотного асортименту взуття.

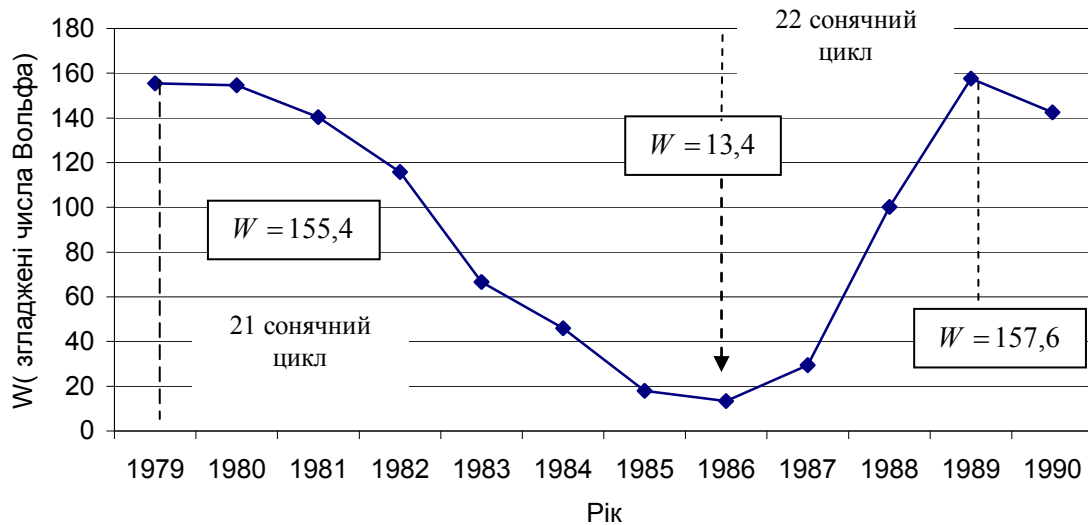


Рис. 1. Згладжені числа Вольфа за 13 місяців (1979-1990 рр.)

З сонячною активністю безпосередньо пов'язують процес акселерації.

Акселерація – прискорений віковий розвиток шляхом зсуву морфогенеза на більш ранні стадії онтогенеза. Термін „акселерація”, що походить від латинського слова *acceleratio* (прискорення) запропонував німецький лікар Кох у 1935 р. Сутність акселерації полягає в більш ранньому досягненні певних етапів біологічного, в тому числі фізичного, розвитку організму [7, 8].

Пояснення процесу акселерації базується на декількох теоріях:

- фізико-хімічні – геліо-генна (вплив сонячної радіації); магнітна (вплив магнітного поля); космічної радіації;
- теорії окремих факторів, що визначають умови життя – аліментарна; нутритивна; підвищеної радіації;
- генетичні – циклічних біологічних змін; гетерозиса (зміщення популяцій);
- теорії, що враховують комплекс факторів умов життя – урбаністичного впливу, комплексу соціально-біологічних факторів.

Серед основних проявів акселерації, розглянутих Ветлицькою Ю.Є, Грачовою Г.С. які впливають на формування розмірного асортименту взуття, слід зазначити наступні: більшу довжину тіла новонароджених порівняно з 20-30 роками минулого сторіччя; більш раннє збільшення довжини тіла дітей дошкільного та шкільного віку.

Збільшення довжини тіла на 8–10 см порівняно з попереднім поколінням, як один із зазначених проявів впливу процесу акселерації на довжину стопи дорослої людини змінює підхід до формування розмірно-повнотного асортименту жіночого та чоловічого взуття.

Наприкінці сторіччя середній ріст людей збільшується. Це явище пояснюють 93-річним періодом зміни узагальненої складової гравітаційного впливу Сонця та Місяця. Числа Вольфа виявляються суттєво вищими наприкінці кожного сторіччя [6]. Так, максимум за числом сонячних плям поточного 23-го циклу спостерігався у квітні 2000 р.

Вищезазначене надає підстави стверджувати, що сонячні цикли впливають на антропометричні дані дорослого населення, є тому числі стоп.

Підтвердженням цієї тези є наведені в таблиці 1 результати маркетингових досліджень, проведених з метою визначення фактичної структури попиту на жіноче взуття різних розмірів. Наведені дані охоплюють 91, % вибіркової сукупності респондентів.

Під час формування структури розмірно-повнотного асортименту взуття дорослого населення з урахуванням сонячних циклів доцільно розглядати вікову групу 18–70 років, на яку припадає основний попит на жіноче та чоловіче взуття, з відповідним розподілом на сегменти, в межах яких інтереси споживачів можуть вважатися відносно однорідними. Роки народження споживачів даної вікової групи співпадають з відповідними фазами 16–22-го сонячних циклів:

- мінімум 16-го циклу спостерігався у 1923 р. (VIII), 17-го – 1933 р (IX), 18-го – 1944 р. (II), 19-го – 1954 р. (IV), 20-го – 1964 р (X), 21-го – 1976 р. (VI), 22-го – 1986 р. (IX);
- максимум 17-го циклу зафіксовано у 1937 р. (IV), 18-го – 1947 р. (V), 19-го – 1958 р. (III), 20-го – 1968 р. (XI), 21-го – 1979 р. (XII), 22-го – 1989 р. (VII).

Згідно висунутої нами гіпотези, зміна та розподіл стоп дорослого населення і, відповідно, розмірів взуття, змінюється паралельно зі зміною фаз сонячних циклів. При цьому, йдеться не про функціональну, а

Таблиця 1

Розподіл жіночого взуття залежно від року народження (фази сонячної активності), %

Рік народження	Розмір взуття				
	220, 225	230, 235	240, 245	250, 255	260, 265
1	2	4	5	6	7
1979	2	9	36	29	23
1980	3	10	37	28	21
1981	9	12	37	27	14
1982	4	11	35	30	19
1983	2	8	37	37	18
1984	2	10	15	48	23
1985	2	10	17	49	21
1986	5	11	18	49	16
1987	5	20	20	46	9
1988	5	18	21	44	11
1989	6	17	22	45	7

Логічно припустити, що протягом одинадцятирічного циклу можна виокремити щонайменше п'ять сегментів, що співпадають з мінімумом, фазою росту, максимумом, фазою спаду та кінцем мінімуму. При цьому слід зазначити можливість зрощення суміжних сегментів, наприклад, „фаза спаду + мінімум”.

Умовні назви зазначених сегментів відобразатимуть їх характеристики щодо фази сонячного циклу. Так, для вікової групи 18-29 років (1990–1979 рр.) роки це наступні сегменти: сегмент 1 („максимум 21”) – співпадає з максимумом 21-го циклу (1979 р.); сегмент 2 („фаза спаду 21”) – охоплює фазу спаду 21-го циклу (1980–1985 р.); сегмент 3 („мінімум 22”) – споживачі 1986 року народження, що припадає на мінімум 22-го циклу; сегмент 4 („фаза росту 22”) – охоплює фазу росту 22-го циклу (1987-1988р.); сегмент 5 („максимум 22”) – споживачі 1989 року народження – максимуму 22-го сонячного циклу.

Фрагмент результатів маркетингового дослідження, проведених з метою ринкової перевірки гіпотези щодо впливу на розміри стоп, а, відповідно і розміри взуття дорослого населення, сонячних циклів, наведений в табл. 1, містить дані опитування 600 респондентів віком від 18 до 29 років щодо розмірів їх взуття. Цей сегмент характеризується подібною структурою уподобань. Крім того, на вибір взуття певного розміру взуття в цьому сегменті не впливають вікові зміни стоп.

Дані наведеної вище таблиці підтверджують висунуту гіпотезу щодо суттєвої різниці структури попиту на взуття певних розмірів представників різних сегментів. Питома вага взуття 240-го розміру у фазі „максимум 21” (1979 р.) та „мінімум 22” (1986 р.) відрізняється вдвічі. На 20 % відрізняється цей показник для взуття 250-го розміру.

Додатково, слід зауважити, що на структурі попиту в сегменті, що розглядається, позначається тенденція щодо зміщення середнього розміру жіночих стоп. Якщо для вікової групи 1980-1982 рр. народження питома вага взуття розмірів 240, 245 складає близько 37 %, а 250 – 30 %; 1983 р. можна вважати перехідним – відсоток споживачів розміром стоп 240, 245 та 250, 255 складає по 37 %, а в розподілі взуття споживачів 1984-1986 р. народження питома вага взуття 240, 245 розмірів зменшилася в середньому до 17 %, взуття 250, 255 розмірів одночасно збільшилася до 49 % наприкінці фази спаду 21-го циклу, який співпадає з мінімумом 22-го сонячного циклу, що пояснює подібність даних 1986 р. та двох попередніх років фази спаду. Слід зазначити і те, що дані розподілу в сегменті „мінімум 21” та сегменту „фаза росту 22” є подібним щодо розподілу взуття 240 розміру та більше, але суттєво відрізняється розподіл взуття розмірів нижче середнього, зокрема, збільшується вдвічі питома вага взуття 230 розміру з одночасним зменшенням питомої ваги взуття 260 розміру та більше.

Слід зазначити також, що розподіл попиту на взуття за розмірами однакових фаз різних циклів також відрізняється – втричі більша питома вага взуття 260-го розміру в сегменті „максимум 21” порівняно з сегментом „максимум 22”, вдвічі менша – для 230-го розміру тощо. Структура попиту підтверджує гіпотезу щодо впливу на антропометричні дані фази сонячного циклу, що співпадає з роком народження людини.

При цьому кількість спалахів та визначені на їх основі значення розрахункових чисел Вольфа, дозволяють виокремити сегменти, в межах яких споживачі мають подібний розподіл стоп і відносяться до однієї вікової підгрупи.

В разі виокремлення привабливих потенційних ринкових ніш, представлених споживачами суміжних років народження, слід розробляти відповідний особливостям даного сегмента розмірно-повнотний асортимент.

Розподіл на певні сегменти за подібністю розмірних ознак визначається особливостями кожного циклу і формується в межах максимуму, мінімуму, фази спаду та фази росту.

Висновки

В результаті проведених досліджень

- проаналізовано закономірності окремих сонячних циклів, ступінь сонячної активності за

кількістю сонячних спалахів та чисел Вольфа 21-го та 22-го сонячного циклу та сутність теорій акселерації, що впливає на антропометричні дані населення;

- проаналізовано результати маркетингових досліджень щодо фактичної структури попиту на жіноче взуття різних розмірів в окремих вікових групах, що є попереднім підтвердженням гіпотези щодо впливу фази сонячного циклу, що співпадає з роком народженню людини;

- висунуто гіпотезу щодо зміни та розподілу стоп дорослого населення і, відповідно, розмірів взуття, паралельно зі зміною фаз сонячних циклів. При цьому, йдеться не про функціональну, а ймовірнісну залежність антропометричних даних від віку дорослого населення, які впливають на біологічними процесами в організмі людини.

Формування асортименту з урахуванням впливу фази сонячного циклу на основі чисел Вольфа є предметом наступних досліджень та вимагає вирішення таких завдань:

- проведення антропометричних досліджень щодо розміру стоп, врахування розподілу стоп різних розмірів в межах певних сегментів,
- розробки математичної моделі визначення раціонального розмірно-повнотного асортименту, що враховує ймовірність певного розподілу стоп з урахуванням вікової структури споживачів окремих сегментів.

Література

1. Бонов А.Д. О 176-летнем изменении активности Солнца / А.Д. Бонов // Солнечные данные. – 1957. – № 3 – С.110– 111.
2. Куршакова Ю.С. Распределение антропометрических признаков и логарифмическая трансформация / Ю.С. Куршакова // Вопросы антропологии. – 1964. – Вып. 18. – С. 73.
3. Куликович А.Е. Проблемы геоинформатики / А.Е. Куликович, Н.А. Якимчук – К.: ЦММ НАНУ, 2002. – Ч. 1. – 78 с.; 2003. – Ч. 2. – 134с.; 2004. – Ч. 3. – 90 с.; 2005. – Ч. 4. – 122 с.; 2006. – Ч. 5. – 180 с.
4. Куршакова Ю.С. Распределение антропометрических признаков и логарифмическая трансформация / Ю.С. Куршакова // Вопросы антропологии. – 1964. – Вып. 18. – С. 73.
5. Ishkov V/N/ The current 23 cycle of solar activity: its evolution and features Proceeding of ISCS “Solar variability as an input principal to the Earth’s Enviromental. 2003. – № 9. – P. 103-104.
6. Солнечный цикл 23-й [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www/wdcb/ru/stp/cyc23.html>.
7. Василик П.В. Геомагнитная гипотеза акселерации некоторые эволюционные процессы / П.В. Василик // Космос и эволюция организмов: Материалы всесоюзного совещания “Космические факторы и эволюция органического мира”. – М.: Палеонтологический ин-т. – 1974. – С. 115– 132.
8. Василик П.В. К построению модели циклов исторического развития с учетом процессов акселерации / П.В. Василик // Управляющие системы и машины. – 2000. – № 2 – С. 5– 19.
9. Гаркавенко С.С. Розвиток наукових основ проектно-технологічних робіт на стадії створення конкурентоспроможної продукції взуттєвої та шкіргалантерейної галузі: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.18.18 «Технологія взуття, виробів зі шкіри та хутра» / С.С. Гаркавенко. – К., 2009. – 38 с.

Надійшла 16.11.2010 р.

УДК 685.34.016.3, 514.181.22

Т.А. НАДОПТА, М.П. САВЧУК, Н.С. МАШОВЕЦЬ
Хмельницький національний університет

ПАРАМЕТРИ ОСНОВНИХ АНАТОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТОПИ

У статті розглянуті параметри основних анатомічних характеристик стопи з врахуванням метричного розміру та ширини пучкової частини

In the article the considered parameters of basic anatomic descriptions of foot are taking into account a metrical size and width of fascicles part

Ключові слова: стопа, анатомічні точки, габаритні розміри, висота підняття п'яtkової частини стопи, рентгенограма

Постановка задачі

Розвиток сучасного досконалого взуттєвого виробництва багато в чому визначається розробкою й оперативним впровадженням принципово нових конструкцій, матеріалів і технологій, розширенням асортименту конкурентоздатного взуття. В комплексі це у значній мірі вирішує одну з пріоритетних задач – підвищення якості виготовлення продукції, котре забезпечується за допомогою удосконалення технології виробництва взуття та врахуванням індивідуальних особливостей стоп споживачів. Саме цей фактор в основному забезпечує зручність виробів, при цьому повинні забезпечуватись нормативні показники гігієнічності, гнучкості, м'якості й еластичності.

Форма стопи в певних межах змінюється під впливом взуття, тому комфортність взуття в основному визначається тим, наскільки виготовлене якісно та раціонально. В ідеалі справді якісне та доступне взуття повинно виготовлятися за технологією масового виробництва, але враховувати індивідуальні особливості споживача. Значну роль в цьому сенсі відіграє процес конструювання взуття з урахуванням анатомічних точок стопи. При будь-яких, навіть незначних відхиленнях стопи від нормальних показників виготовлене по опосередкованій формі взуття створює певний дискомфорт, оскільки стопа це орган з дуже складною анатомічною структурою [1, 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проектування раціональної та якісної конструкції верху взуття вимагає детального вивчення та врахування анатомо-морфо-функціональних особливостей стопи, оскільки ігнорування розташування основних характерних точок стопи при проектуванні деталей верху взуття (ДВВ) може призвести до виникнення відхилення та деформацій стопи, розташування швів та декоративних прикрас на кровеносних судинах спричинює порушення крово- та лімфообміну, провокує різноманітні захворювання кінцівок тощо [3,4]. Зовнішню форму стопи визначає взаємне розташування кісток, м'язів, сухожилів та кровеносних судин. Однак аналіз відомих методів проектування ДВВ показав, що найчастіше застосовуються методики, які ґрунтуються на використанні умовної розгортки колодки з нанесеними на неї базовими лініями, що відображають анатомічну будову стопи, зокрема це стосується копіювально-графічної системи. Однак базові лінії, положення яких встановлені у 30 – х роках минулого століття, відповідають лише зовнішнім анатомічним ознакам. Внутрішня будова стопи – скелет, суглоби, зв'язки, кровеносна система – у жодній з відомих методик не враховується, що викликає дискомфорт і патологію стоп споживачів [5-7].

Формулювання мети статті

Проектування ДВВ з врахуванням анатомо-морфо-функціональності стопи становить задачу достатньо високої складності, оскільки потребує розробки наукової основи процесу, насамперед – з врахуванням індивідуальних особливостей стопи. Для сучасного стану взуттєвої галузі України характерна тенденція, коли закордонні фірми передають матеріали, технологію, конструкторські розробки та устаткування, використовуючи тільки відносно дешеву робочу силу [8]. Це і є однією з основних причин відставання в розвитку наукових основ проектування. Якщо це відставання в найкоротший час не буде ліквідовано, то ця галузь промисловості втратить свою самостійність як на внутрішньому, так і на світовому ринках. Тому з огляду на вище зазначене, необхідно доповнити методику проектування ДВВ аналітичним апаратом стосовно співвідношень геометричних характеристик положення основних анатомічних точок стопи і її довжини та ширини пучкової частини.

Виклад основного матеріалу

Для детального вивчення внутрішньої структури стопи було проведено рентгенографію з позицій бокової та плазової проєкцій. Необхідність двопозиційної рентгеноскопії пояснюється тим, що рентгенограма являє собою плоске зображення трьохмірних об'єктів. Дослідження проводилися за допомогою рентгенівського діагностичного комплексу КРД-50 "Индиаскоп" [11]. Цей прилад призначений для роботи в стаціонарних рентгенівських кабінетах і функціонально заміняє рентгенодіагностичний комплекс, оскільки може одночасно виконувати рентгеноскопію, рентгенографію та томографію, застосовується для досліджень кісткових тканин, грудної клітки, легенів, у педіатрії, травматології тощо. Доза отриманого опромінення для візуалізації стопи складає 0,02 мЗв (Зиверт – одиниця виміру СИ ефективної й еквівалентної доз іонізуючого випромінювання). Для порівняння: рекомендовані граничні рівні медичного опромінення для осіб, які проходять усі види профілактичного обстеження в рамках медичних програм (ефективна доза) – 1мЗв/рік [12], а протягом року із зовнішнього середовища людина одержує опромінення (природне тло) приблизно в 2,4 мЗв [13].

Для одержання докладної інформації про анатомо-морфо- функціональну будову та топографію стопи виконана рентгеноскопія жіночої стопи при різних висотах підняття п'яtkової частини. При рентгенографії стопи в плазовій проєкції людина займає вертикальне положення, навантаження рівномірно розподілене на обидві стопи, пучок рентгенівського випромінювання направлений по нормалі відносно опорної площини, приклад наведений на рисунку 1. На даній рентгенограмі чітко видно кістки передплесна, плесна та фаланги, а також плеснофалангові та міжфалангові суглоби.

Для одержання рентгенівського зображення бокової проєкції стопи навантаження рівномірно розподіляється на обидві стопи, пучок рентгенівського випромінювання направляється в горизонтальній площині з центруванням пучка по клиноподібно-човникоподібному суглобу, положення якого встановлюється пальпацією бугра човникоподібної кістки. На знімку стопи в боковій проєкції чітко окреслюються контури передплесна, а саме: п'яtkова, таранна, човникоподібна та клиноподібна кістки. Кістки плесна накладаються одна на одну, більш чіткіше видно відросток V плесневої кістки (рис. 2).

В експериментах використовувались зразки взуття з різною висотою підняття п'яtkової частини: 20, 40, 60 та 80 мм. Для порівняння також проводилась рентгенографія стопи при нульовій піднесеності п'яtkової частини. Нижні кінцівки, які приймали участь в експериментах, відповідали певним вимогам – розмірні характеристики належали до середньо-типових антропометричних, притаманних жіночій статево-віковій групі [4], на стопі відсутні патологічні видозміни.

Обробка експериментальних даних рентгенографії вказує на те, що зміна висоти п'яtkової частини призводить до формозміни стопи, а саме: зі збільшенням висоти підняття п'яtkової частини стопи

відбувається звуження пучкової частини. Це пояснюється тим, що стопа, згинаючись в гомілковостопному та плеснефаланговому зчленуваннях, прогинається в міжпередплесневих суглобах, м'язи та м'які тканини обтягують кістки, стискаючи таким чином пучкову частину стопи.

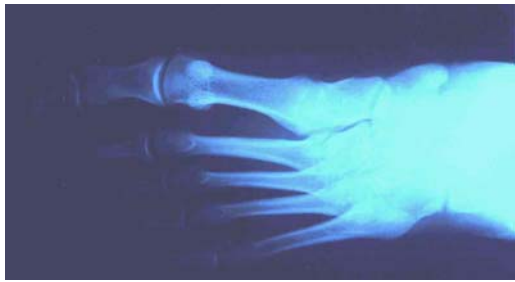


Рис. 1. Приклад рентгенограми стопи жіночої статеві-вікової групи (вид зверху)



Рис. 2. Приклад рентгенограми стопи жіночої статеві-вікової групи (вид збоку)

При обробці даних ширини пучкової частини встановлено, що ширина у пучках пов'язана з висотою підняття п'яtkової частини стопи лінійною залежністю, графіки цих співвідношень для жіночої статеві-вікової груп представлено на рисунках 3 та 4.

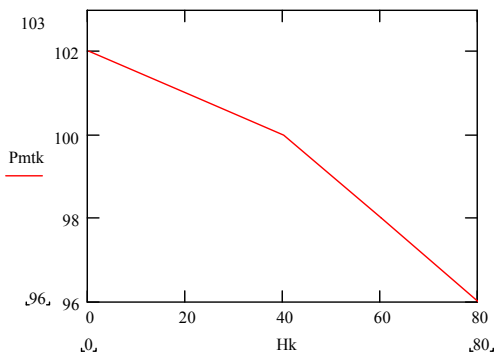


Рис. 3. Графік відношень ширини пучків до висоти підняття п'яtkової частини стопи

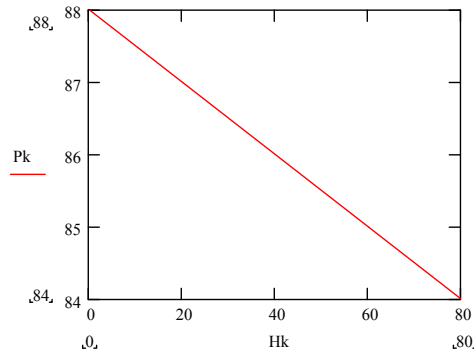


Рис. 4. Графік відношень ширини між головками першої та п'яtkої плесневих кісток до висоти підняття п'яtkової частини стопи

Ці залежності апроксимуються лінійною функцією виду

$$w_p = w_{p0} + K_p \cdot H_p, \tag{1}$$

- де w_p – відношення ширини в пучках до висоти підняття п'яtkової частини стопи,
 w_{p0} – початкові значення функції,
 K_p – коефіцієнти пропорційності,
 H_p – висота підняття п'яtkової частини стопи.

Конкретні значення коефіцієнтів рівняння (1) наведені в таблиці 1, значення коефіцієнтів кореляції свідчать про прийнятність подібного моделювання залежностей.

Таблиця 1

Коефіцієнти лінійної функції рівняння (1)

Точки на стопі	w_{p0}	K_p	Коефіцієнт кореляції
Ширина пучкової частини	88	-0,05	1
Ширина між головками першої та п'яtkої плесневих кісток	102,4	-0,075	0,9698

В [14] з метою використання при проектуванні ДВВ теоретично обґрунтовано концепція подібності стопи і колодки. Зокрема, встановлені залежності раціонального переходу від габариту сліду стопи до габариту сліду колодки з використанням та подальшим розвитком методики проектування колодок проф. В.П. Либи.

На основі цієї концепції ширина сліду п'яtkової частини у перетині 0,18Дск може бути визначена з рівняння

$$b = B_{0,18} / N = b_0 + K_b \cdot N, \tag{2}$$

- де b – відношення ширини сліду п'яtkової частини до метричного розміру колодки,
 $B_{0,18}$ – ширина стопи у п'яtkовій частині,

b_0 – початкове значення функції,
 K_b – коефіцієнти пропорційності,
 N – метричний розмір колодки.

Конкретні значення коефіцієнтів рівняння (2) наведені в таблиці 2 (використано інтервал між суміжними значеннями ширини – 6 мм).

Таблиця 2

Коефіцієнти лінійної функції рівняння (2)

Повнота колодки	чоловіча статево-вікова група			жіноча статево-вікова група		
	x_0	K_x	Коефіцієнт кореляції	x_0	K_x	Коефіцієнт кореляції
1	0,431	-0,00041	0,996	0,274	-0,000278	0,995
2	0,438	-0,000433	0,996	0,280	-0,00029	0,995
3	0,445	-0,000446	0,996	0,286	-0,000302	0,995
4	0,453	-0,00046	0,996	0,293	-0,0003157	0,995
5	0,46	-0,000473	0,996	0,299	-0,0003295	0,995
6	0,467	-0,000486	0,996	0,305	-0,000341	0,995
7	0,475	-0,0005	0,996	0,312	-0,000356	0,995
8	0,482	-0,000513	0,996	0,318	-0,000367	0,995
9	0,489	-0,000527	0,996	0,324	-0,000381	0,995
10	0,496	-0,00054	0,996	0,330	-0,000393	0,995
11	0,504	-0,000553	0,996	0,337	-0,000406	0,995
12	0,511	-0,000567	0,996	0,343	-0,000418	0,995

Дані таблиці 2 оброблені з метою спрощення методики практичного користування апаратом визначення ширини сліду п'яркової частини колодки та наведені у формулах (3, 4) для чоловічої та (5, 6) для жіночої статево-вікових груп

$$b_0 = 0,301 + 0,0005 \cdot W, \quad (3)$$

$$K_b = -0,0002931 - 0,0000099 \cdot W, \quad (4)$$

$$b_0 = 0,26806 + 0,00623 \cdot W, \quad (5)$$

$$K_b = 0,00026 - 0,0000129 \cdot W, \quad (6)$$

де W – числове значення повноти колодки.

На основі вище викладеного та використовуючи результати експериментальних досліджень встановлення константи значень співвідношень розмірних характеристик стопи до її метричного розміру окремо для чоловічої та жіночої стопи [15], визначено основні анатомічні характеристики стопи залежно від метричного розміру та ширини пучкової частини. Ширина сліду у п'яркової частині та ширина сліду в перетині внутрішнього пучка стопи для чоловічої статево-вікової групи мають вид

$$Y_z(w_p, N) = (22853 + 0,11 \cdot N) + (-0,0709 + 0,00505N - 0,000009N^2) \cdot w_p, \quad (7)$$

$$Y_p(w_p, N) = (34059 + 0,163N) + (0,141 + 0,0059N - 0,00001199N^2) \cdot w_p, \quad (8)$$

Аналогічно для тих же анатомічних точок стопи жіночої статево-вікової групи

$$Y_z(w_p, N) = (17404 + 0,106N) + (0,1075 + 0,0048N - 0,00001N^2) \cdot w_p, \quad (9)$$

$$Y_p(w_p, N) = (29315 + 0,156N) + (0,130 + 0,0062N - 0,0000117N^2) \cdot w_p, \quad (10)$$

де Y_z , Y_p – ширина сліду у п'яркової частині та ширина сліду в перетині внутрішнього пучка стопи відповідно.

Для точки відростка п'ятої плесневої кістки, зовнішнього пучка та внутрішньої щиколотки формула визначення ширини стопи у відповідних перетинах має вид

$$Y(w_p) = K_y(w_p) \cdot N, \quad (11)$$

де $Y(w_p)$ – ширина сліду стопи у певних перетинах,

K_y – коефіцієнт, що характеризує вплив ширини пучкової частини стопи

$$K_y(w_p) = K_r \left[\left(\frac{K_t - 1}{11} \right) (w_p - 6) + 1 \right], \quad (12)$$

де K_r – коефіцієнти відношень по осі Y для даної точки до метричного розміру,

K_t – коефіцієнт точки, котру необхідно знайти

$$K_t = \frac{y_v - y_z}{X_p - X_z} (X_t - X_p) + y_p, \quad (13)$$

де y_v, y_z – середнє значення відношення найбільшої ширини внутрішнього пучка стопи до найменшої для внутрішньої та зовнішньої сторін відповідно,

X_p, X_z – коефіцієнти відношень по осі X для внутрішнього пучка та зовнішньої щиколотки до метричного розміру відповідно,

X_t – аналогічно – для поточної досліджуваної анатомічної точки.

Для зручності у використанні описані вище коефіцієнти приведені у таблицях 3, 4.

Таблиця 3

Значення коефіцієнтів рівняння (12,13) для чоловічої статеві-вікової групи

Характерні точки стопи	X_p	X_z	X_t	Зовнішня сторона			Внутрішня сторона		
				y_v	y_z	K_r	y_v	y_z	K_r
Відросток п'ятої плесневої кістки	0,132	0,171	0,364	1,122 7	1,136 2	0,364	1,123 1	1,135 5	0,115
Зовнішній пучок			0,606			0,234			0,128
Кінець мізиця			0,56			0,197			0,138
Внутрішня щиколотка			0,238			0,141			0,117

Таблиця 4

Значення коефіцієнтів рівняння (12,13) для жіночої статеві-вікової групи

Характерні точки стопи	X_p	X_z	X_t	Зовнішня сторона			Внутрішня сторона		
				y_v	y_z	K_r	y_v	y_z	K_r
Відросток п'ятої плесневої кістки	0,72	0,174	0,374	1,147	1,163 6	0,169	1,146 9	1,163 8	0,116
Зовнішній пучок			0,608			0,238			0,129
Кінець мізиця			0,56			0,204			0,133
Внутрішня щиколотка			0,238			0,148			0,125

На основі вище зазначених залежностей отримано припуски для раціонального переходу від габариту сліду стопи до габариту сліду колодки. По порядку величин для довжини стопи 270 мм (чоловіча статеві-вікова група) залежно від повноти це й припуск коливається в межах 6-7 мм для зовнішньої щиколотки, 7-8 мм для внутрішнього пучка та відповідно 5-6 мм і 6-7 мм для жіночої статеві-вікової групи – довжина стопи 245 мм.

Висновки: Наведені вище результати свідчать про наявність зв'язку між факторами, які використовуються для побудови абрису і довжиною стопи та шириною пучкової частини.

Література

- Надопта Т.А. Анатомо-морфо-функціональне обґрунтування раціональної конструкції верху взуття з низьким каблуком // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010, № 1. – С.283-286
- Анатомія людини: навч. посібник / О. М. Очкурєнко, О. В. Федотов- [2-ге вид.]. – К.: Вища шк., 1992. – С. 286 – 289.
- Лыба В. П. Теория и практика проектирования комфортной обуви: дис. ... доктора техн. наук: 05.19.06 / Лыба Владимир Петрович. – М., 1996. – 313 с.
- Надопта Т.А. Дослідження анатомічних характеристик стопи для врахування їх при проектуванні деталей верху взуття на середньому та високому каблуці // Надопта Т.А., Лыба В.П. – Вісник Хмельницького національного університету. – 2010, № 2. – С. 259-262.
- Бегняк В. І. Основи конструювання і проектування виробів із шкіри: Навч. посібник. – Хмельницький, 2002. – 260 С.
- Коновал В. П. Універсальний довідник взуттєвика: навчальний посібник / [В. П.Коновал, С. С.Гаркавенко, Л. Т. Свістуніова та ін.]. – Київ: Лібра, 2005. – 720 с.
- 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.
- Фролова В. Отраслевой обзор производителей обуви // Бизнес, № 49 (412), 2000. – С.34-37.
- Терновой С.К. Лучевая диагностика и терапия / Терновой С. – ГЭОТАР-Медиа, 2010. – С. 304
- В.Д. Завадовской Лучевая диагностика: учебное пособие. Ч. 1: Методы лучевой диагностики. Лучевая анатомия органов и систем. Основные патологические синдромы / В.Д. Завадовской – Видар-М, 2009. – С.374
- http://www.users.kharkiv.com/urp/index_19.html
- ДСанПіН 6.6.3-150-2007 Гігієнічні вимоги до влаштування та експлуатації рентгенівських

кабінетів і проведення рентгенологічних процедур Наказ МОЗ України від 04.06.2007 N 294

13. <http://lawua.info/htm>

14. Надопта Т. А. Особливості формування габаритного сліду прототипу // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010, № 4, – С.247-252

15. Надопта Т.А. Передмова до розробки аналітичного методу проектування деталей верху взуття // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008, № 3. – С. 235-239

Надійшла 18.11.2010 р.

УДК 66.067.12

Л.В. ПЕЛИК

Львівська комерційна академія

ЗМІНА ЛІНІЙНИХ РОЗМІРІВ ТЕКСТИЛЬНИХ ФІЛЬТРУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ У ПРОЦЕСІ ТЕРМОСТАРІННЯ

Досліджена зміна лінійних розмірів текстильних фільтрувальних матеріалів із термостійких волокон при термічному обробленні. Проаналізовано її вплив на фільтрувальну здатність рукавних фільтрів в умовах високих температур.

The change of linear sizes of textile filtration materials is investigational from heat-resistant fibres at heat treatment. Its influence is analysed on filtration ability of baghoses in the conditions of high temperatures.

Ключові слова: поверхнева густина, щільність, лінійне заповнення.

Вступ

Стабільність розмірів фільтрувальних матеріалів протягом всього терміну служби є важливим фактором для забезпечення надійної роботи рукавних фільтрів і продовження терміну їх експлуатації. Оскільки зміна лінійних розмірів матеріалу із синтетичних волокон залежить від режиму термофіксації, при виготовленні фільтрувальних рукавів використовуються стабільні термофіксовані волокна та матеріали, щоб не допустити їх зсідання та видовження при підвищених температурах. Для кожного матеріалу існує свій температурний поріг, вище якого відбуваються незворотні зміни у його структурі, що унеможливило його подальше використання за призначенням [1]. Він, в основному, визначається теплостійкістю волокон, з яких виготовлений фільтрувальний матеріал. За теплостійкістю текстильні матеріали поділяють залежно від максимально допустимої температури, при якій можлива їх ефективна робота.

Постановка завдання

Метою роботи являлось дослідження зміни лінійних розмірів текстильних фільтрувальних матеріалів із термостійких волокон при термічному обробленні.

Об'єкти та методи дослідження

Для проведення дослідження використано фільтрувальні тканини (вар.1, вар.2, вар.3, вар.9 та вар.10) та фільтрувальні неткані полотна (вар.11, вар.12, вар.13, вар.14 та вар.15). Фільтрувальні поліефірні тканини (вар.1, вар.2 та вар.3) виготовлялися за основою та утком із поліефірної пряжі (волокно поліефірне нефарбоване 100 %) лінійної густини 29текс×2 із обробленням: вар.1 – термічна стабілізація, вар.2 – сурове. Фільтрувальна тканина (вар.9) виготовлялась за основою та утком із арселенової термостійкої пряжі лінійної густини 29текс×2 із обробленням – термічна стабілізація. Досліджувана тканина (вар.10) – тканина із скловолокна, виготовлена із алюмоборосилікатного скла, із лінійною густиною 134 текс за основою та 66текс×3 за утком. Фільтрувальні неткані полотна (вар.11 та вар.12) виготовлялися із поліефірної пряжі (волокно поліефірне нефарбоване 100 %) лінійної густини 0,44 текс і каркасу (тканина поліефірна полотняного переплетення із поверхневою густиною 95 г/м² та лінійною густиною нитки 50 текс) із способом виготовлення: вар.11 – одностадійний голкопробивний, вар.12 – трьохстадійний голкопробивний. Фільтрувальні неткані полотна із термостійких волокон виготовлялися: вар.13 – із арселенової термостійкої пряжі лінійної густини 0,44 текс і каркасу (тканина арселенова полотняного переплетення із поверхневою густиною 95 г/м² та лінійною густиною нитки 50 текс) одностадійним голкопробивним способом виготовлення і нанесення політетрафторетиленового оброблення; вар.14 – із волокна номексу лінійної густини 0,17 текс і 0,44 текс та каркасу (тканина із волокна номексу полотняного переплетення із поверхневою густиною 95 г/м² та лінійною густиною нитки 50 текс) трьохстадійним голкопробивним способом виготовлення і нанесення політетрафторетиленового оброблення; вар.15 – із суміші волокон номексу і кевлару лінійної густини 0,17 текс і 0,44 текс та каркасу (тканина із волокна номексу полотняного переплетення із поверхневою густиною 95 г/м² та лінійною густиною нитки 50 текс) трьохстадійним голкопробивним способом виготовлення і нанесення політетрафторетиленового оброблення.

Для дослідження поведінки фільтрувальних текстильних матеріалів під впливом високих температур у лабораторних умовах їх витримували у сушильній шафі «Тоjo Sejki» в повітряній атмосфері, в якій залежно від виду матеріалу встановлювалися відповідні температурні режими: для зразків із волокон поліефіру – 150°C, для зразків із термостійких волокон – 250°C. Досконалість методики полягала у збільшенні тривалості експерименту, максимально наближаючи до реальних умов експлуатації рукавних

фільтрів. Фільтрувальні матеріали виймалися через 1год., 3год., 6год. та 12год. для виміру зміни лінійних розмірів. Дослідження розпочинали не раніше ніж через 30 хвилин після виймання зразків із шафи.

Результати дослідження

Найбільші зміни лінійних розмірів фільтрувальних матеріалів спостерігаються у перші години термічного оброблення. При кожній наступній відбувається подальше зменшення розмірів матеріалу, але процес носить затухаючий характер. Величина лінійних розмірів залежить від факторів, які допомагають розвитку процесу релаксації і встановленню рівноваги ниток у структурі матеріалу. До них відносять хімічний склад волокна, співвідношення лінійного заповнення за основою і утком, вид переплетення, щільність ниток у тканинах, способом виробництва нетканого матеріалу, зсіданням його каркасного матеріалу, процес оброблення, а також умовами експлуатації [2]. Результати досліджень представлені у табл. 1.

Таблиця 1

Зміна лінійних розмірів деяких досліджуваних фільтрувальних матеріалів при термічному обробленні

Варіант зразка	Зміна лінійних розмірів матеріалу після термічного оброблення, %							
	1 год.		3 год.		6 год.		12 год.	
	за основою/ довжиною	за утком/ шириною	за основою/ довжиною	за утком/ шириною	за основою/ довжиною	за утком/ шириною	за основою/ довжиною	за утком/ шириною
1	2,3	1,3	2,8	2,0	3,3	2,5	3,4	2,5
2	2,6	1,8	2,9	2,3	3,8	2,7	4,5	3,0
3	2,5	1,5	2,8	2,5	3,7	2,7	3,7	2,7
9	1,2	1,1	1,3	1,1	1,5	1,5	1,5	1,5
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
11	0,6	0,3	0,7	0,5	1,0	0,8	1,0	0,8
12	0,5	0,3	0,7	0,5	0,8	0,8	1,0	0,8
13	0,5	0,4	0,5	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5
14	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
15	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Аналізуючи отримані дані, можна відмітити, що термічне оброблення тканин фільтрувальних матеріалів викликає найбільшу зміну їх лінійних розмірів протягом всього процесу нагрівання, яка після 12 год. лежить у межах 1,5 % – 4,5 % за основою та 1,5 % – 3,0 % за утком. Так як нитки основи у тканині натянуті і деформовані більше, ніж нитки утку, то при нагріванні вони релаксують сильніше і при рівновазі всієї сітчастої структури тканини отримують додатковий згин, який призводить до зміни фази будови тканини і до більшої зміни лінійних розмірів за основою, ніж за утком.

Таким чином, збільшення висоти згину ниток, яке виникає внаслідок релаксаційного процесу є основою і головною причиною зміни лінійних розмірів. У зв'язку з цим на зміну лінійних розмірів впливає вид переплетення фільтрувальної тканини. Встановлено, що чим більше зв'язків у структурі і згинів ниток, тим більша зміна лінійних розмірів. Так, досліджуваний поліефірний зразок вар.3 характеризується переплетенням саржа 2/1 і більшою зміною лінійних розмірів – 3,7 % за основою та 2,7 % за утком, ніж вар.1 у якого переплетення саржа 2/2. Досліджено, що із збільшенням довжини перекриття зміна лінійних розмірів менша.

Так як зміна лінійних розмірів пов'язана в значній мірі із зміною згину ниток, тому велике значення має фаза будови, яка залежить від співвідношення лінійного заповнення за основою та утком. Так, досліджуваний зразок вар.9 характеризується найменшим співвідношенням 1,48 (лінійне заповнення за основою – 62,1 %, за утком – 41,9 %) і найменшою зміною лінійних розмірів протягом всього процесу нагрівання, яка після 12 год. становить 1,5 %.

Досліджено, що у процесі нагрівання зміна лінійних розмірів проходить нерівномірно. У початковий період, коли випаровується волога з поверхні тканини і макропор, зміна лінійних розмірів незначна, що спостерігається у досліджуваних тканинах після 1 год. та 3 год. нагрівання. Так, у арселонівій тканині вар.9 зміна лінійних розмірів після 3 год. термічного оброблення зросла на 0,1 % за основою, а за утком залишилась стабільною. Досліджуваний вар.9 характеризується збільшенням лінійних розмірів після 3 год. експерименту і стабільністю показників після нагрівання 6 год. та 12 год. і становить 1,5 % за основою та утком. Це пояснюється тим, що при видаленні капілярної вологи тканина зсідается більш інтенсивно. В результаті дії лапласівського тиску, який обумовлений кривизною поверхні менісків у капілярах, і сил поверхневого натягу волокна тканини стягуються, тобто спостерігається зміна тиску. В подальшому, коли видаляється адсорбційно-зв'язана вода, зміни розмірів майже не має, тому що при цій формі зв'язку вологи тканина досягає максимальної щільності. Фільтрувальні тканини у яких зміна лінійних розмірів за основою і утком становить 1,5 % і нижче рахуються безусадковими. Оскільки зміна лінійних розмірів матеріалу із синтетичних волокон залежить від режиму термофіксації, то правильне проведення цього процесу дає можливість виробляти практично безусадкові тканини [3].

Аналіз табл. 1 показує, що після проведеного термостаріння не має зміни лінійних розмірів у досліджуваній склотканині вар.10. Така поведінка склотканини після термічного оброблення пояснюється тими змінами, які відбуваються у скляних волокнах при їх нагріванні. Скляні волокна, які ожолоджені при формуванні із великою швидкістю, в основному зберігають структуру розплаву. Вони мають менш щільне упакування молекул, яке притаманне рідкій скломасі. Це підтверджується тим, що щільність тонких волокон менша щільності скла у масі. При нагріванні волокна стискаються, а їх щільність зростає, що веде до стану рівноваги. Відсутність зміни лінійних розмірів у склотканині вар.10 забезпечує достатній термін придатності при використанні її у якості рукавного фільтру.

На зміну лінійних розмірів фільтрувальних тканин впливає щільність матеріалу. Досліджено, що із підвищенням щільності зміна лінійних розмірів матеріалу зменшується, так як швидше настає зближення волокон та ниток і його структура стає більш щільною. Найбільшу зміну лінійних розмірів протягом всього процесу нагрівання викликає термічне оброблення поліефірного зразка вар.2, який після 12 год. становить 4,5 % за основою та 3,0 % за утком при найменшій щільності (за основою – 326, за утком – 159).

Зміни лінійних розмірів досліджуваних нетканих матеріалів спостерігаються у перші години термічного оброблення. При кожній наступній відбувається подальше зменшення розмірів матеріалу, але процес носить затухаючий характер. Термічне оброблення поліефірних матеріалів (вар. 11 та вар. 12) викликає найбільшу зміну їх лінійних розмірів протягом всього процесу нагрівання, яка після 12 год. становить 1 % за довжиною та 0,8 % за шириною.

Зі збільшенням поверхневої густини нетканих матеріалів менше змінюються його лінійні розміри в процесі термічного оброблення [4]. Так, у матеріалу із суцільні волокон номексу і кевлару (вар. 15) з найбільшою поверхневою густиною серед усіх досліджуваних матеріалів (550 г/м²) зміна лінійних розмірів за довжиною та шириною протягом всього часу термооброблення була незмінною – 0,6 %. Це можна пояснити тим, що при високому значенні поверхневої густини нетканих матеріалів у процесі голкопроколювання волокна щільніше сплітаються, що створює всередині надлишкову напругу.

Найбільший вплив на величину лінійних розмірів фільтрувальних матеріалів мають процеси оброблення матеріалів. Досліджуваний поліефірний зразок вар.2 із суровим обробленням характеризується найбільшою зміною лінійних розмірів і після 12 год. термостаріння вона становить 4,5 % за основою і 3,0 % за утком. Це пояснюється тим, що велика деформація поліефірної пряжі за основою у ткацтві визиває значний ріст зміни лінійних розмірів як пряжі, так і волокон, тому сурова тканина сильно зсідается.

Досліджувані ткани зразки вар.3 та вар.9 і зразок-еталон вар.1 піддавались термофіксації, яка зменшила зміну лінійних розмірів і привела до їх стабілізації після 6 год. та 12 год. нагрівання. Це пояснюється тим, що при термофіксації в процесі оброблення створюються умови для зняття натягу, який отриманий фільтрувальною тканиною у процесі ткацтва. Оскільки натяг фільтрувальної тканини при термофіксації, перешкоджає повній релаксації деформації сурової тканини, і внаслідок деформування та розпрямлення ниток (особливо основи) створюється додаткова можливість до наступної зміни лінійних розмірів готової тканини. Це спостерігається у цих досліджуваних зразках вар.3 та вар.9 після 1 год. та 3 год. внаслідок зношування під впливом високих температур, де відбувається зростання зміни лінійних розмірів цих готових матеріалів.

На досліджувані зразки вар.10, вар.13, вар.14 та вар.15 нанесене політетрафторетиленове оброблення, яке вирівняло показники зміни лінійних розмірів і зберегло їх протягом всього часу тривалості експерименту. Так, у склотканині вар.10 не має зміни лінійних розмірів, а у досліджуваних нетканих матеріалах вар. 13, вар.14 та вар.15 після 3 год. термооброблення лінійні розміри не змінювалися в обох напрямках та становили 0,5 % – 0,8 %. Це свідчить про те, що політетрафторетиленове оброблення проникло всередину волокон і конденсувалось там з утворенням стійкої високомолекулярної сполуки, яка понизила набухання волокон, зменшила зсідання і стабілізувала зміну лінійних розмірів у цих матеріалах. Таким чином, зміна лінійних розмірів фільтрувальних матеріалів відіграє велику роль у збереженні форми рукавних фільтрів під час експлуатації. В умовах металургійного виробництва зсідання рукавних фільтрів є небажаним явищем, так як фільтрувальний матеріал зменшується в продольному, в поперечному напрямках або в обох одночасно, деформується під кутами до цих напрямів і порушується форма рукавів, що зменшує їх експлуатаційну надійність.

Висновки

1. Зміна лінійних розмірів фільтрувальних тканин матеріалів відбувається із-за зменшення довжини ниток і перебудови структури (зміна фази будови і зменшення відстані між нитками), які являються наслідком релаксаційного процесу. Релаксаційний процес обумовлений тепловими коливаннями, які викликають переміщення окремих ланок чи макромолекул. Після проведеного термостаріння найменша зміна лінійних розмірів спостерігається у арселонівій тканині вар.9 і відсутня у склотканині вар.10.

2. Зміна лінійних розмірів голкопробивних нетканих матеріалів в основному визначається видом і структурою волокна, будовою матеріалу, способом його виробництва, умовами експлуатації, а також зсіданням каркасного матеріалу. Найменшою зміною лінійних розмірів протягом всього процесу нагрівання характеризуються фільтрувальні неткані матеріали із термостійких волокон вар.13, вар.14 і вар.15.

Література

1. Бурков В. В. Современные высокотемпературные текстильные материалы для пылегазоочистки / В. В. Бурков // Пылегазоочистка – 2009: междунар. конф., 29 – 30 сентября 2009 г.: сборник статей. – М., 2009. – С. 79 – 82.
2. Закономерности изменения свойств синтетических нитей при термическом старении / К. Е. Перепелкин, И. Ю. Моргоева, И. В. Андреева [и др.] // Химические волокна. – 2001. – № 1. – С. 45 – 49.
3. Чекалов Л. В. Новые разработки рукавных фильтров / Л. В. Чекалов, Ю. И. Громов, В. В. Чекалов // Реконструкция предприятий металлургии: II междунар. конф.: сборник статей. – М., 2006. – С. 51 – 52.
4. Гусев В. Е. Особенности процесса усадки армированного иглопробивного материала / В. Е. Гусев, А. П. Сергеенков // Текстильная промышленность. – 1980. – № 11. – С. 34 – 36.

Надійшла 2.11.2010 р.

УДК 677.021.151.28.83

Л.Г. НІКОЛАЙЧУК
Львівська комерційна академія

ОЦІНКА ЯКОСТІ ФАРБУВАННЯ БАВОВНЯНОКОТОНІНОВИХ БІЛИЗНЯНИХ ТКАНИН

На прикладі бавовняних, бавовнокотонінових і лляних білизняних тканин в роботі дана порівняльна характеристика показників кольорних характеристик забарвлень (отриманих різними марками активних барвників при гладкому фарбуванні та друкуванні досліджуваних тканин).

On the example of cotton, cotton with cottonin and flax linen fabrics in work comparative description of indexes of colour descriptions of colouring is given (got different brands active dyes at the smooth painting and printing of the explored fabrics).

Ключові слова: асортимент, властивості, білизняні бавовнокотонінові тканини.

Вступ

Як свідчить аналіз сучасного ринку текстильних матеріалів, з метою поліпшення естетичного оформлення та розширення внутрішньовидового асортименту бавовняних і лляних білизняних тканин при їх оздоблюванні в текстильному виробництві застосовуються сучасні способи фарбування (переважно в пастельні тони), друкування та оптичного відбілювання. Ця тенденція поширена і в зарубіжному текстильному виробництві.

Постановка проблеми

Актуальним є завдання покращання колористичного оформлення нового асортименту білизняних бавовнянокотонінових тканин. Тому при формуванні асортименту і властивостей цих тканин, поряд з оптимізацією окремих параметрів їх будови, не менш важливу роль повинен відігравати обґрунтований підбір способів їх фарбування та друкування, включаючи вибір необхідних марок барвників та інших текстильно-допоміжних речовин, які гарантують ефективне використання потенційних ресурсів волокнистої основи котоніновмісних бавовняних тканин [1, 2].

Об'єкти та методи дослідження

З метою пошуку оптимальних способів гладкого фарбування і друкування об'єктом дослідження служили однотипні чи близькі за будовою бавовняні (вар. 2 і 5), бавовнянокотонінові (вар. 8, 11) і лляні (вар. 15) тканини, пофарбовані чи друковані різними способами з використанням різних марок активних, кубових і прямих барвників. Загальна характеристика способів оздоблення досліджуваних тканин і використаних для цього марок барвників наступна:

- гладкофарбовані тканини одержані за безперервним суспензійним способом (вар. В), а друковані тканини були отримані за такими способами: одностадійним запарним способом (вар. Е, Д) та періодичним двостадійним способом (вар. З, І);

- для фарбування і друкування тканин були використані різні за класами та марками синтетичні барвники вітчизняного та зарубіжного виробництва, які широко використовуються у вітчизняному текстильному виробництві для фарбування і друкування бавовняних, лляних і змішаних тканин;

- оцінка якості отриманих пофарбувань на досліджуваних тканинах проводилась за показниками світлоти, насиченості, кольорного тону та їх рівномірності (для друкування використовувались різні марки активних барвників фірми "Бецема").

Якість отриманих на досліджуваних тканинах забарвлень оцінювалась спектрофотометричним методом з використанням спектрофотометра "Texflash" і розрахункових формул системи CIELab [3], які дозволяють визначити кольорні відмінності в показниках кольорності (d_a і d_b), в показниках світлоти, насиченості і кольорного тону (d_L , d_C і d_H), а також в показниках загального кольорного контрасту (d_E). При цьому визначалась не тільки кількісна різниця між кольорними характеристиками бавовнянокотонінових тканин (вар. 8, 11) і еталонних бавовняних (вар. 2 і 5) і аналогічних за призначенням лляних тканин (вар. 15), але й якісні зміни у відтінках цих тканин.

Результати дослідження

Вплив волокнистого складу та зміну колірних характеристик пофарбованих кубовими барвниками катоніновмісних, бавовняних і лляних тканин наведено в табл. 1 і 2.

Таблиця 1

Вплив волокнистого складу на зміну колірних характеристик забарвлень гладкофарбованих тканин, пофарбованих кубовим яскраво-помаранчевим КХ

Варіанти тканин в порівнянні до еталона	Координати колірності		Колірні відмінності забарвлень за:			
	da	db	світлотою, dL	насиченістю, dC	колірним тоном, dH	загальним колірним контрастом, dE
8-В	-0,96	-0,52	1,05	-1,05	0,28	1,51
2-В	Зеленіше	Синіше	Світліше	Тьмяніший	Жовтіший	
11-В	4,88	6,92	-2,38	8,25	1,91	8,8
5-В	Червоніше	Жовтіший	Темніше	Яскравіше	Жовтіший	
8-В	4,74	7,26	-1,54	8,38	2,24	8,81
15-В	Червоніше	Жовтіший	Темніше	Яскравіше	Жовтіший	
11-В	-0,28	1,81	-0,32	1,04	1,51	1,86
15-В	Зеленіше	Жовтіший	Темніше	Яскравіше	Жовтіший	

Таблиця 2

Вплив волокнистого складу на зміну колірних характеристик забарвлень тканин, надрукованих кубовим яскраво-помаранчевим КХ

Варіанти тканин в порівнянні до еталона	Координати колірності		Колірні відмінності забарвлень за:			
	da	db	світлотою, dL	насиченістю, dC	колірним тоном, dH	загальним колірним контрастом, dE
8-Г	-0,98	-0,64	1,47	-0,98	0,65	1,88
2-Г	Зеленіше	Синіше	Світліше	Тьмяніший	Жовтіший	
11-Г	2,65	3,7	-0,71	4,46	-0,91	4,61
5-Г	Червоніше	Жовтіший	Темніше	Яскравіше	Червоніше	
8-Г	2,33	5,12	-0,61	5,63	-0,07	5,66
15-Г	Червоніше	Жовтіший	Темніше	Яскравіше		
11-Г	1,51	4,06	-0,72	4,32	0,3	4,39
15-Г	Червоніше	Жовтіший	Темніше	Яскравіше	Жовтіший	

З аналізу даних табл. 1 і 2 можна зробити такі висновки:

- забарвлення, отримані фарбуванням та друкуванням катоніновмісних бавовняних тканин за допомогою кубового яскраво-помаранчевого КХ у порівнянні з бавовняними і лляними тканинами помітно відрізняються не тільки за кількісними характеристиками світлоти, насиченості і колірному тону, але й за зміною відповідних відтінків;

- певні зміни відбуваються в координатах колірності (da і db), причому якщо для координати da характерні поява зеленого чи червоного кольору, то для координати db – жовтого чи синього;

- на відміну від еталонних бавовняних і лляних тканин катоніновмісні бавовняні тканини за світлотою забарвлень можуть бути світліші чи темніші, а за їх насиченістю чистішими, чи більш тусклыми; що стосується колірному тону забарвлень, то він, як правило, стає жовтішим.

- відмінності в координатах колірності, а також показниках світлоти, насиченості і колірному тону для співставляємих варіантів гладкофарбованих і друкованих тканин обумовлюють відмінності і в показниках їх загального колірного контрасту (од. dE).

Характерно підкреслити, що при фарбуванні та друкуванні одним і тим же кубовим барвником відмінності забарвлень за показниками загального колірного контрасту між співставленими за будовою варіантами тканин виявились значно меншими між тими тканинами, які за будовою практично не відрізняються. І, навпаки, ті варіанти катоніновмісних і еталонних тканин, які помітно відрізняються за окремими параметрами будови, характеризуються більш суттєвими відмінностями показників загального колірного контрасту. Так, наприклад, якщо для гладкофарбованих і друкованих тканин вар.8 і 2 загальний колірний контраст становить тільки 1,9 од. dE, то для інших співставлених варіантів (11 і 5; 8 і 15) він знаходиться в межах 4,4-8,8 од. dE. Виключення з цього правила складають відмінності за загальним колірним контрастом для гладкофарбованих тканин вар. 11 і 15 (для них цей контраст складає тільки 1,9 од. dE).

Вплив волокнистого складу та марки активного барвника на зміну колірних характеристик, отриманих на досліджуваних тканинах в результаті їх друкування одностадійним запарним способом

активними барвниками (бедактивом жовтим S-8G і бедактивом червоним S-WAX), наведено відповідно в табл. 3, 4. Аналіз інформації на цих таблицях дозволяє зробити наступні висновки:

- для отриманих в результаті друкування досліджуваних тканин активними барвниками забарвлень в основному характерні ті закономірності, які були виявлені при друкуванні цих тканин кубовим світло-помаранчевим КХ;
- виявлено, що на зміну колірних характеристик досліджуваних тканин суттєво впливає не тільки волокнистий склад, але й марка використаного для друкування активного барвника: найбільше змінюють свої колірні характеристики тканини, друковані бедактивом червоним S-WAX, і найменше – тканини, друковані бедактивом жовтим S-8G.

Таблиця 3

Вплив волокнистого складу на зміну колірних характеристик забарвлень тканин, друкованих одностадійним запарним способом бедактивом жовтим S-8G

Варіанти тканин в порівнянні до еталона	Координати колірності:		Колірні відмінності забарвлень за:			
	da	db	світлотою, dL	насиченістю, dC	колірним тоном, dH	загальним колірним контрастом, dE
8-Д	0,2	0,05	-0,46	0,05	-0,2	0,5
2-Д	Червоніше	Жовтіший	Темніше			
11-Д	-0,44	-1,07	0,64	-1,07	0,43	1,32
5-Д	Зеленіше	Синіше	Світліше	Тьмяніший	Зеленіше	
8-Д	-1,92	-1,87	2,65	-1,87	1,91	3,77
15-Д	Зеленіше	Синіше	Світліше	Тьмяніший	Зеленіше	
11-Д	-0,6	-0,15	1,47	-0,16	0,6	1,59
15-Д	Зеленіше	Синіше	Світліше	Тьмяніший	Зеленіше	

Таблиця 4

Вплив волокнистого складу на зміну колірних характеристик забарвлень тканин, друкованих одностадійним запарним способом бедактивом червоним S- WAX

Варіанти тканин в порівнянні до еталона	Координати колірності		Колірні відмінності забарвлень за:			
	da	db	світлотою, dL	насиченістю, dC	колірним тоном, dH	загальним колірним контрастом, dE
8-Е	-0,87	3,23	-3,47	0,13	3,43	4,82
2-Е	Зеленіше	Жовтіший	Темніше		Жовтіший	
11-Е	1,9	1,56	1,00	2,28	0,94	2,65
5-Е	Червоніше	Жовтіший	Світліше	Яскравіше	Жовтіший	
8-Е	2,66	-0,02	4,29	2,55	-0,75	5,05
15-Е	Червоніше	Синіше	Світліше	Яскравіше	Синіше	
11-Е	0,17	1,53	-1,07	0,64	1,4	1,88
15-Е	Червоніше	Жовтіший	Темніше	Яскравіше	Жовтіший	

Для оцінки впливу способів друкування досліджуваних тканин активними барвниками на зміну колірних характеристик їх забарвлень ми обмежились тільки співставленням результатів, отриманих двома способами друкування, а саме: друкуванням одностадійним запарним способом (результати розглянуті в табл. 3, 4) і друкуванням періодичним двостадійним методом (табл. 5, 6).

Аналіз отриманих даних свідчить про те, що названі способи друкування не мають суттєвого впливу на зміну абсолютних значень співставляємих показників колірних характеристик забарвлень кottonіномістких бавовняних і еталонних бавовняних і лляних тканин. Візьмемо для прикладу бавовнянокottonінову і аналогічну за будовою бавовняну тканину (вар. 8 і вар. 2), друкованих бедактивним жовтим S-8G відповідно одностадійним і двостадійним способами. При цьому обмежимося порівнянням тільки показників загального колірного контрасту, в якому сумуються зміни всіх інших показників. Так, якщо при використанні одностадійного способу друкування бедактивним жовтим S-8G загальний колірний контраст між тканинами вар. 8 і 2 складає 0,5 од. dE, то при використанні двостадійного способу друкування він складає відповідно також 0,5 од. dE. Тепер візьмемо ці тканини, друковані названими способами бедактивним червоним S-WAX. Тут ми маємо такі результати. Якщо при одностадійному друкуванні загальний колірний контраст між забарвленнями тканин вар. 8 і 2 складає 4,8 од. dE, то при двостадійному їх друкуванні також відповідно 4,8 од. dE. Тепер співставимо рівномірність забарвлень, отриманих друкуванням одностадійним і двостадійним способом активними барвниками на бавовняних і бавовнянокottonінових тканинах з вмістом 30 % cottonіну в основі та утку (вар. 5 і 11).

Таблиця 5

Вплив волокнистого складу на зміну колірних характеристик забарвлень тканин, друкованих за періодичним двостадійним способом бецактивом жовтим S-8G

Варіанти тканин в порівнянні до еталона	Координати колірності		Колірні відмінності забарвлень за:			
	da	db	світлотою, dL	насиченістю, dC	колірним тоном, dH	загальним колірним контрастом, dE
8-3	0,2	0,05	-0,46	0,05	-0,2	0,5
2-3	Червоніше	Жовтіше	Темніше			
11-3	-0,44	-1,07	0,64	-1,07	0,43	1,32
5-3	Зеленіше	Синіше	Світліше	Тьмяніший	Зеленіше	
8-3	-1,92	-1,87	2,65	-1,87	1,91	3,77
15-3	Зеленіше	Синіше	Світліше	Тьмяніший	Зеленіше	
11-3	-0,6	-0,15	1,47	-0,16	0,6	1,59
15-3	Зеленіше	Синіше	Світліше	Тьмяніший	Зеленіше	

Таблиця 6

Вплив волокнистого складу на зміну колірних характеристик забарвлень тканин, друкованих за періодичним двостадійним способом бецактивом червоним S- WAX

Варіанти тканин в порівнянні до еталона	Координати колірності		Колірні відмінності забарвлень за:			
	da	db	світлотою, dL	насиченістю, dC	колірним тоном, dH	загальним колірним контрастом, dE
8-1	-0,87	3,23	-3,47	0,13	3,43	4,82
2-1	Зеленіше	Жовтіший	Темніше		Жовтіший	
11-1	1,9	1,56	1,00	2,28	0,94	2,65
5-1	Червоніше	Жовтіший	Світліше	Яскравіше	Жовтіший	
8-1	2,66	-0,02	4,29	2,55	-0,75	5,05
15-1	Червоніше	Синіше	Світліше	Яскравіше	Синіше	
11-1	0,17	1,53	-1,07	0,64	1,4	1,88
15-1	Червоніше	Жовтіший	Темніше	Яскравіше	Жовтіший	

Висновки

Якщо після одностадійного друкування котоніовмісної (вар. 11) і бавовняної (вар. 5) тканин бецактивним жовтим S-8G і бецактивним червоним S-WAX різниця в рівномірності їх забарвлення оцінюється відповідно 1,3 і 2,6 од. dE, то після двостадійного друкування контраст між забарвленням названих тканин також склав відповідно 1,3 і 2,7 од. dE. Аналогічні результати отримані і при співставленні рівномірності забарвлень, отриманих при друкуванні одно- і двостадійними способами названими марками активних барвників бавовнянокотоніових (вар. 8 і 11) і лляних тканин. Тому отримані дані дозволяють зробити однозначний висновок про те, що при друкуванні досліджуваних тканин одностадійним та двостадійним способами однаковими марками активних барвників різницю у рівномірності їх забарвлення визначають не волокнистий склад тканин, а особливості хімічної будови і колір окремих марок активних барвників, які були використані для друкування котоніовмісних, бавовняних і лляних тканин білизняного призначення.

Література

1. Ніколайчук Л.Г. Розробка способів кольорування бавовняних тканин з вмістом котоніну / Л.Г. Ніколайчук, Ю.С. Клименко, Г.Ф. Пугачевський: Тези доповідей VI Всеукр. наук. конф. Молодих вчених та студентів [Наукові розробки молоді на сучасному етапі], (17-18.04.2007). – К: КНУТД. – С. 208.
2. Ніколайчук Л.Г. Роль оброблення котоніовмісних бавовняних білизняних тканин у формуванні їх естетичних властивостей / Л.Г.Ніколайчук // Вісн. Київ. нац. ун-ту технологій та дизайну: зб. наук. пр. – № 5 (43). – К.: КНУТД, 2008. – С.22-26.
3. Кирилов Е.А. Цветоведение / Е.А. Кирилов. – М.: Легпромбытиздат, 1987. – 128с.

Надійшла 11.11.2010 р.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИДАЛЕННЯ ВОДОРОЗЧИННИХ ЗАБРУДНЕНЬ З ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ (ПОВІДОМЛЕННЯ 3)

В статті розглянуто результати досліджень, пов'язаних з видаленням танінових забруднень плямовивідними засобами з білих текстильних матеріалів залежно від виду волокнистого матеріалу та переплетення тканини. Приведена порівняльна ефективність видалення плям з різних текстильних матеріалів, видані рекомендації.

The article deals with the results of investigations connected with tannin contaminations removing with the help of purifier means from white textile fabric according to the type of fibrous material and fabric waving. Comparative efficiency of various textile fabrics contaminations was represented. Recommendations were generated.

Ключові слова: танінові плями, бавовна, віскоза, капрон, лавсан, плямовиведення, переплетення.

Відомо, що таніномісні плями містять велику кількість природних забарвлюючих речовин, які при знаходженні на текстильному матеріалі закріплюються на волокні, утворюючи різні види зв'язків, в тому числі хімічні: ковалентні, координаційні, іонні [1]. За цієї причини танінові забруднення важко видаляються з текстильних матеріалів, особливо при тривалому їх знаходженні [2, 3]. Тому одним із факторів, який суттєво впливає на ефективність видалення танінових забруднень, є вид волокнистого матеріалу. Для підтвердження цього нами були проведені дослідження з різними волокнистими матеріалами: натуральними (бавовна), штучними (віскоза), синтетичними (капрон, лавсан) щодо ефективності видалення з них танінових забруднень.

Для забруднення використовували таніномісні речовини, які найбільш поширені у практиці підприємств хімічного чищення виробів: чай, каву, соки (смородина, вишня). Забруднювачі наносили на білі матеріали крапельним методом та залишали на добу при нормальних умовах. Видалення плям проводили ручним способом обраними ПАР і плямовивідними препаратами [2].

За критерій оцінювання якості видалення плям з тканини приймали коефіцієнт відбиття, який умовно ідентифікували зі ступенем білизни матеріалу і оцінювали за методикою вимірювання на фотометрі універсальному ФОУ.

На початку дослідження проводили визначення коефіцієнтів відбиття білих необроблених текстильних матеріалів (вихідні зразки). Отримані ступені білизни представлені у таблиці 1.

Таблиця 1

Ступені білизни вихідних матеріалів

Вид волокнистого матеріалу	Вихідна ступінь білизни (коефіцієнт відбиття)
Бавовна	0,752
Віскоза	0,725
Капрон (ПА)	0,713
Лавсан (ПЕ)	0,780

У подальших дослідженнях визначали ефективність видалення плям чаю, кави, соку смородини та вишні обраними ПАР і плямовивідними препаратами. Для цього визначали коефіцієнти відбиття після плямовиведення і дані представляли у відсотках до вихідних значень. Це дало можливість порівняти ефективність видалення плям з волокнистих матеріалів різної природи, які мають різну початкову білизну.

На рис. 1 зображена діаграма впливу виду волокна на якість видалення плям чаю і кави. Як видно, ступінь білизни бавовни при використанні ПАР дещо нижчий, ніж при видаленні плямовивідними препаратами. Це обумовлено тим, що ПАР тільки емульгують забруднення, а препарати діють комплексно, включаючи хімічні перетворення (окислення, відновлення забарвлюючих речовин).

Відносний коефіцієнт білизни поліефірної тканини при виведенні плям усіма засобами достатній та приблизно однаковий (98-99 %). Це пояснюється щільною структурою, низькою гідрофільністю і незначною кількістю кінцевих реакційних груп лавсану. Окрім того, поліефірне волокно має гладку поверхню, високу початкову білизну і відзначається низькою спорідненістю до нього природних барвників.

Для поліамідних волокон спостерігається інша картина: порівняно нижча якість видалення (96-97 %). Найменш ефективними для капрону є сульфаноли (аніонактивна ПАР) і танекс (який ймовірно також містить аніонактивну ПАР). Можливою причиною цього є іонізація волокна і утворення катіону амонію ($-NH_3^+$) і карбоксильного аніону ($-COO^-$), до яких можуть приєднуватись активні центри плямовивідних засобів, а також карбоксильні і гідроксильні групи природних барвників.

Віскозні волокна однаково ефективно очищуються усіма плямовивідними засобами, хоча якість видалення в цілому вища, ніж у бавовняного волокна, що пов'язано, очевидно, з особливостями структури віскозного волокна і нерівномірною поверхнею бавовняного волокна.

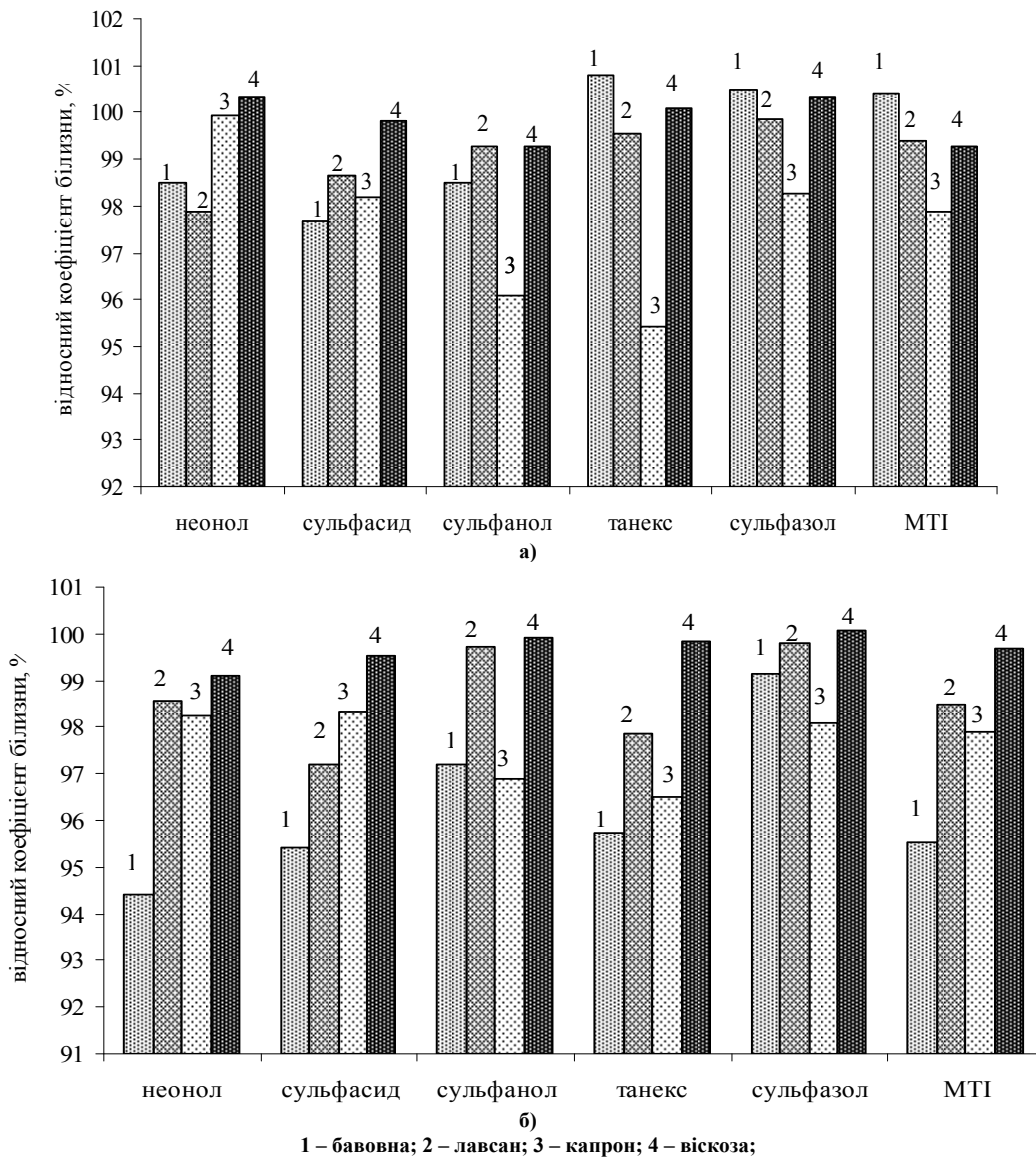


Рис. 1. Вплив виду волокна на ефективність видалення плям: а) чай; б) кава.

Аналогічний вплив виду волокнистого матеріалу на ефективність видалення плям смородини і вишні (рис. 2.)

В результаті проведених досліджень було виявлено, що танінові забруднення найбільш легко і ефективно видаляються з поліефірних матеріалів. З поліамідної тканини плями видаляються не повністю, про що свідчать відносні коефіцієнти білизни.

Віскозні матеріали ефективно очищаються від танінових забруднень; на бавовняній тканині не завжди досягається висока якість видалення танінових плям. Хоча в обох випадках необхідно прикласти більше зусиль, ніж при очищенні синтетичних матеріалів.

Таким чином, отримані результати дозволяють зробити висновок, що вид волокнистого матеріалу суттєво впливає на якість видалення танінових забруднень. Легко і якісно видаляються плями з поліефірних, віскозних матеріалів, важче і менш ефективно з бавовняних. Найнижча якість видалення плям спостерігається для поліамідних матеріалів.

На підставі вище наведених міркувань текстильні матеріали можна розмістити у ряд за ефективністю видалення з них танінових забруднень: лавсан – віскоза – бавовна – капрон.

Відомо [1] і результатами даного дослідження доведено, що забруднюваність волокнистих матеріалів залежить від фізичних властивостей волокон, від наявності на їх поверхні каналів, лусочок, тріщин та інших нерівностей поверхні, в яких утримуються часточки забруднень. Очевидно, що одним із факторів, який впливає на видалення забруднень, є вид переплетення текстильних матеріалів, що формує рівномірність поверхні тканини.

В роботі досліджували вплив виду переплетення на якість видалення танінових плям. Було обрано три види переплетення: полотняне, саржеве 3/1 і саржеве 2/2 (діагональ). Танінові плями наносили на білу бавовняну тканину, що мала різне переплетення і видаляли через добу після нанесення. Якість видалення оцінювали за відносними коефіцієнтами білизни.

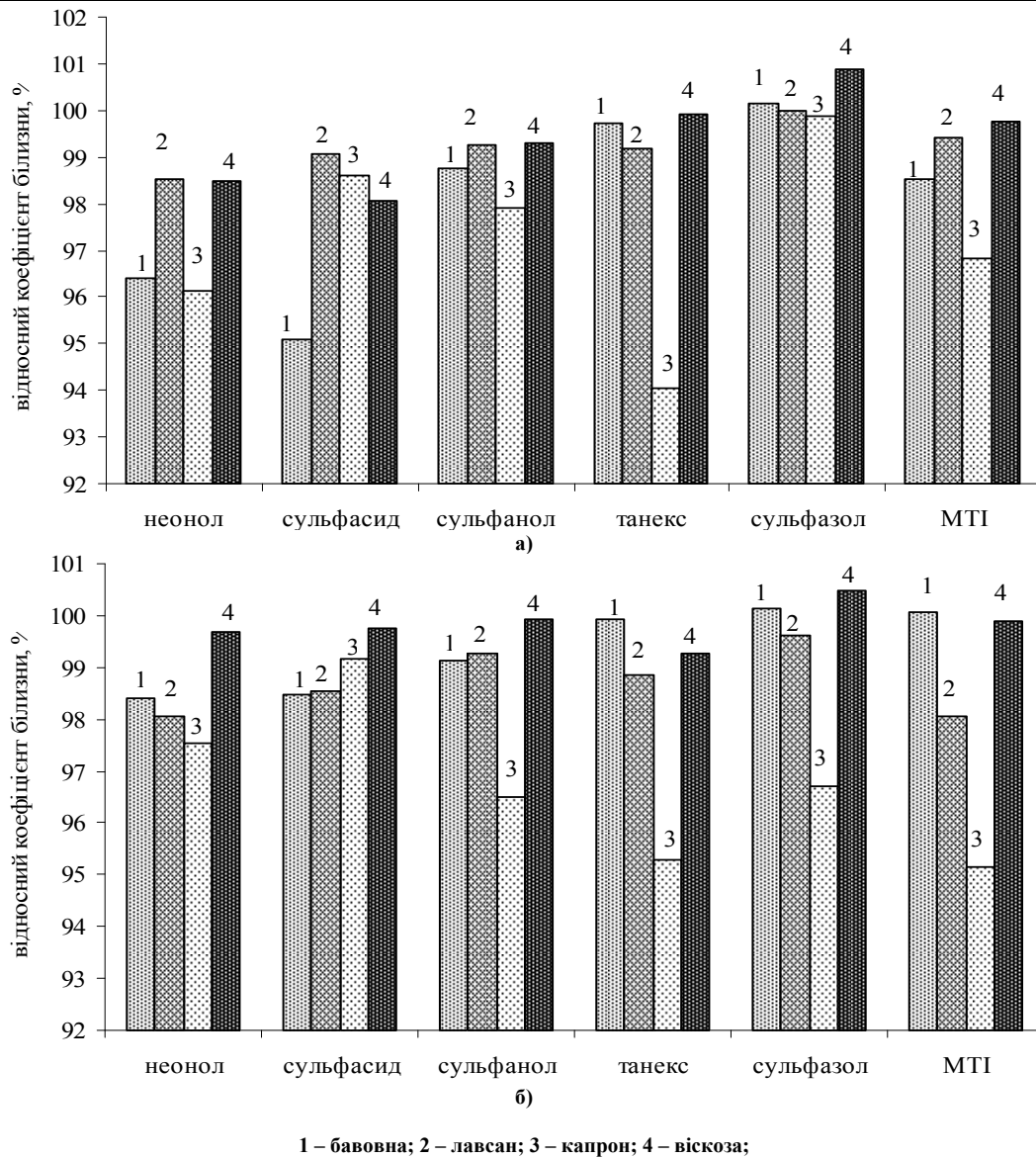


Рис. 2. Вплив виду волокна на ефективність видалення плям: а) смородина; б) вишня.

За результатами досліджень побудовані діаграми якості видалення плям чаю, кави, соків (смородина, вишня), які представлені на рис. 3.

Отримані експериментальні дані (рис. 3) свідчать, що таніновмісні плями менш ефективно видаляються з бавовняної тканини з переплетенням саржа 3/1. Для їх видалення необхідно прикласти чимало зусиль і часу, при цьому коефіцієнт білизни не досягає початкового значення в середньому на 7-10%. Тканина з таким переплетенням має характерні випуклі діагональні смуги (рубчик), що обумовлює складний і нерівномірний характер поверхні матеріалу (рельєф поверхні). Механічні дії при плямовиведенні (тертя) стають більш нерівномірними, що погіршує процес видалення забруднень.

Кращі результати отримані при видаленні плям із зразків саржевого переплетення 2/2, поверхня яких більш рівномірна. Найефективніше танінові забруднення видаляються із зразків бавовняних матеріалів полотняного переплетення, які мають гладку та рівномірну поверхню.

Результати досліджень дозволяють зробити наступний висновок: рельєф поверхні тканини впливає на ефективність видалення танінових забруднень, чим нерівномірніша поверхня, тим нижча ефективність її очищення і навпаки.

З метою покращення процесу плямовиведення з текстильних матеріалів, що мають нерівномірну поверхню, можна рекомендувати:

- підігрів плямовивідних засобів;
- інтенсивну механічну дію;
- послідовне використання декількох ефективних засобів.

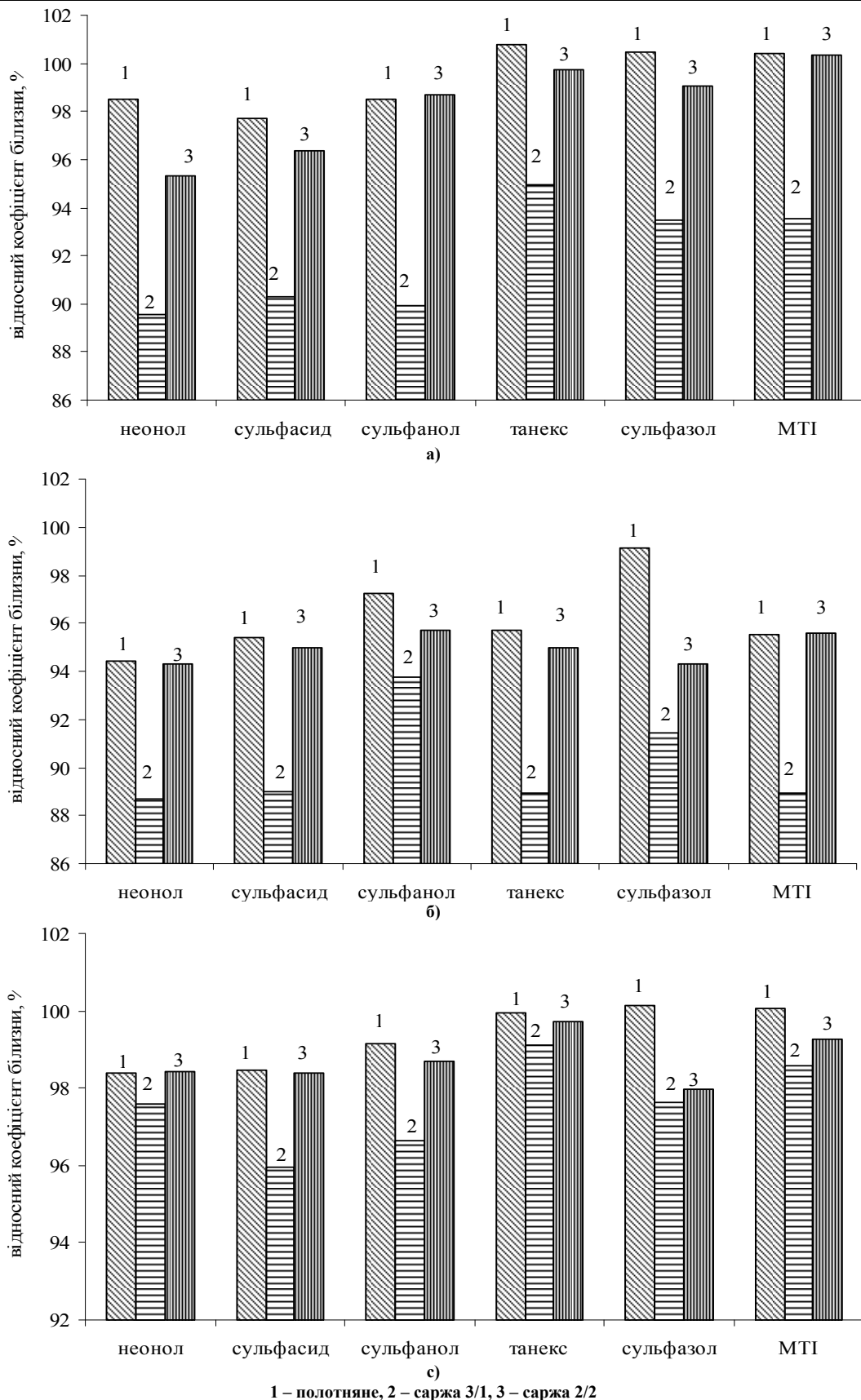


Рис. 3. Вплив виду переплетення на якість видалення плям: а) чай; б) кава; в) вишня

Таким чином, при дослідженні процесу видалення водорозчинних танінових забруднень з непофарбованих текстильних матеріалів ми звернули увагу на фактори, які, на нашу думку, впливають на ефективність результатів цього процесу:

- вид волокнистого матеріалу;
- ступінь старіння плями (тривалість знаходження забруднення на матеріалі);

- вид переплетення;
- вид текстильного матеріалу (тканина, трикотаж)

Вплив цих факторів доведено результатами експериментів і представлено у наших повідомленнях 1-3.

В роботі була проведена математична обробка експериментальних результатів за ранговим критерієм Дункана, яка підтвердила, що усі обрані фактори впливають на процес плямовиведення.

Література

1. Федорова А. Ф. Технология химической чистки и крашения: учеб. для вузов / А. Ф. Федорова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Легпромбытиздат, 1990. – 336 с.
2. Тебляшкіна Л.І., Брюхова І.Г., Ткаченко І. О. Дослідження процесу видалення водорозчинних забруднень з текстильних матеріалів (повідомлення 1). Вісник ХНУ. – 2010. – № 1. – С. 255-258.
3. Тебляшкіна Л.І., Брюхова І.Г., Ткаченко І. О. Дослідження процесу видалення водорозчинних забруднень з текстильних матеріалів (повідомлення 2). Вісник ХНУ. – 2010. – № 4 – С. 212-217.

Надійшла 19.11.2010 р.

УДК 687.157.017

Т.Г. ШАРАН

Хмельницький національний університет

ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО СКЛАДУ РОЗЧИНУ ПОЛІМЕРНОГО ПОКРИТТЯ ДЛЯ ПІДСИЛЮЮЧИХ НАКЛАДОК СПЕЦОДЯГУ РОБІТНИКІВ МЕТАЛООБРОБНИХ ЦЕХІВ

В статті запропоновано алгоритм вибору оптимального варіанту складових комплексу розчину полімера для підвищення захисних властивостей матеріалу. Алгоритм вибору базується на проведенні експериментів по визначенню залежностей вагомих властивостей матеріалу від нанесеного полімерного розчину комплексу (концентрації складових та кількості шарів нанесення).

In this article an algorithm for selection of optimal variant of the complex components of the polymer solution to increase the protective properties of the material. Selection algorithm based on the experiment for determining the dependence of significant material properties caused by polymer complex solution (concentrations of components and application layers)

Ключові слова: спецодяг, полімерне покриття, властивості матеріалів

Постановка проблеми

У комплексі заходів з охорони праці передбачено застосування засобів індивідуального захисту, а саме спеціальний одяг [1]. Спецодяг повинен забезпечувати безпеку праці, запобігати впливу шкідливих виробничих факторів та зберігати нормальний функціональний стан людини, її працездатність протягом усього робочого часу, а також не бути токсичним і не спричиняти подразнюючої дії на організм людини як в процесі експлуатації, так і під час виробництва. Крім того, спецодяг, що забезпечує безпечні умови, сприяє підвищенню продуктивності праці.

Створення спецодягу необхідної якості залежить як від властивостей матеріалів, що застосовуються, так і від його конструктивного виконання [1, 2].

Аналіз існуючого асортименту матеріалів для виготовлення спецодягу для працівників металообробних цехів (МОЦ) показав, що матеріали, які забезпечують належні захисні властивості, як правило, занадто дорогі для вітчизняного виробника [2]. Крім того, виявлено, що існує асортимент тканин з певним покриттям чи просочувачем, але складно обрати той чи інший у відповідності з умовами експлуатації і вартістю. Такий вибір вимагає виконання додаткових експериментів та вимірів.

Аналіз останніх досліджень

Проаналізовані дослідження щодо вибору матеріалу в результаті оцінки якості [3-6]. Переважно вибір виконувався за відповідністю одиничних показників властивостей матеріалів до базових [3, 4], або за допомогою диференційованого методу оцінки, користуючись відносними показниками якості [4-6]. Також вибір проводився з використанням комплексного методу оцінки [4, 6]. Тому для вибору оптимального складу розчину полімерного покриття матеріалу необхідно провести поетапну комплексну оцінку. Вибір матеріалу в [5] є недостатньо обґрунтованим.

Постановка мети та завдання досліджень

Щоб удосконалити захисні властивості спецодягу для робітників МОЦ, поставлено завдання, що полягає у створенні плівкового полімерного покриття на поверхні матеріалу для конструктивних елементів. Вказане полімерне покриття повинне забезпечити оливодіштовхувальність та запобігати потраплянню виробничого бруду в товщу матеріалу, сприяти покращенню зносостійкості вихідного матеріалу, бути досить доступним за ціновими характеристиками.

Мета дослідження – вибрати оптимальний варіант складових комплексу розчину полімеру для підвищення захисних властивостей та терміну експлуатації спецодягу робітників МОЦ.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- експериментально визначити вплив складових комплексу розчину полімеру (концентрації, кількості шарів) на вагомості властивості матеріалу для спецодягу робітників МОЦ;
- виконати комплексну оцінку якості матеріалу з плівковим покриттям та розробити блок-схему алгоритму вибору оптимального варіанту складу розчину полімерного покриття для матеріалу підсилюючих накладок спецодягу робітників МОЦ.

Виклад основного матеріалу

На основі літературних джерел в умовах лабораторії кафедри хімії Хмельницького національного університету дослідним шляхом розроблені рецептури нових захисних покриттів для спецтканин.

Для створення плівкового полімерного покриття було обрано полівініловий спирт (ПВС) 10 % [5]. В'язкість, водонерозчинність, механічна міцність і теплостійкість ПВС збільшується при обробці сполуками хрому (хроматами, біхроматами, хромовою кислотою). Для утворення комплексу ПВС з хромом використовували дві солі: біхромат натрію ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), сульфат хрому ($\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$).

Для утворення комплексу ПВС з хромом необхідно, щоб була достатня кількість координаційних зв'язків, що утворюються в результаті реакції комплексоутворення. Достатня кількість зв'язків утворюється при використанні складових комплексу $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ та $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ у співвідношенні до ПВС 10 % у кількості не менше 7 %. Проте при концентрації складових комплексу більше, ніж 15 %, виникає надлишок хрому (Cr), що не використовується для комплексоутворення.

Дані розчини наносились на поверхню матеріалу. Після нанесення кожного шару полімерного покриття матеріал опромінювали ультрафіолетовими променями. Визначали залежність оливовідштовхувальності [7] від кількості шарів покриття матеріалу розчином комплексу полімеру. Оливовідштовхувальність деяких матеріалів з одним шаром плівкового покриття була 3-го ступеню, що є недостатнім. Після нанесення 2-го та 3-го шарів оливовідштовхувальність залишалась сталою і була 8-го ступеню. При нанесенні розчину комплексу полімеру більше, ніж у 3 шари, спостерігалось збільшення товщини матеріалу, внаслідок чого відбувається збільшення жорсткості матеріалу та витрат на приготування розчину, що є небажаним.

Таким чином, план експерименту передбачає визначення трьох показників властивостей матеріалів для тканин при концентрації комплексу 7-15 %, що наноситься у 1-3 шари. Для кожної із запропонованих рецептур комплексу проведено окремих експеримент.

Для визначення залежності між відносними показниками вагомості властивостей матеріалів з полімерним покриттям для спецодягу робітників МОЦ та концентрацією складових комплексу розчину полімеру і кількістю шарів його нанесення, проведено двофакторний експеримент [8].

Розрахунки проводились у табличному процесорі Excel з використанням вбудованого модуля «Аналіз даних». За даними експерименту побудована графічна залежність між відносною зміною властивостей та параметрами складових комплексу (рис. 1).

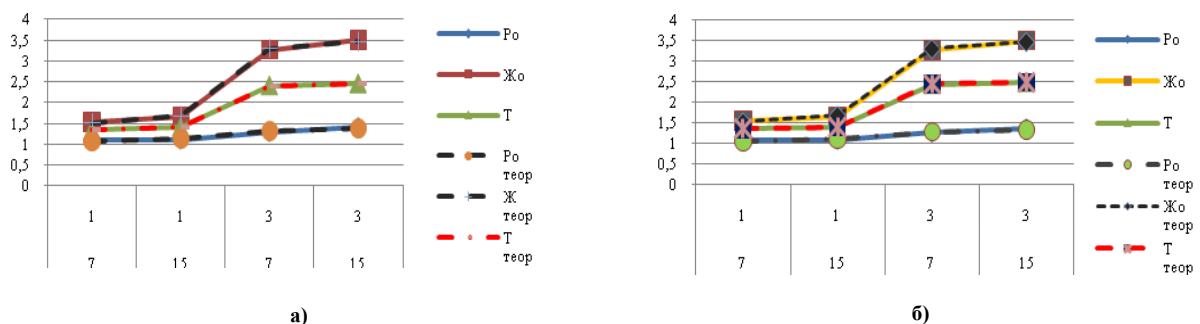


Рис1. Графіки залежності між відносними показниками вагомості властивостей матеріалів та параметрами складових розчину комплексу полімеру (а) ПВС з $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$; б) ПВС з $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$

В результаті дослідження отримані рівняння регресії залежності відносних показників вагомості властивостей матеріалів спецодягу робітників МОЦ від параметрів складових комплексу розчину полімеру. Представлені рівняння (1, 2, 3) залежності вагомості властивостей матеріалів (розривального зусилля, стійкості до дії тертя та зміни жорсткості при згині) від складових сполук комплексу розчину полімеру:

$$y_1 = 0,883 + 0,008 \cdot x_1 + 0,123 \cdot x_2 \quad (1) \quad y_2 = 0,466 + 0,021 \cdot x_1 + 0,895 \cdot x_2 \quad (2)$$

$$y_3 = 0,762 + 0,008 \cdot x_1 + 0,53 \cdot x_2 \quad (3)$$

де y_1, y_2, y_3 – відносні показники вагомості властивостей матеріалів матеріалів (розривального зусилля, зміни жорсткості при згині та стійкості до дії тертя відповідно); x_1 – концентрація складових розчину комплексу полімеру; x_2 – кількість шарів розчину комплексу полімеру.

На властивості матеріалів впливає два фактори: концентрація комплексу полімерного покриття, кількість його шарів. Такий висновок підтверджується аналізом графіків залежностей між механічними властивостями матеріалів та розглядуваними факторам (рис. 1), а також достовірністю апроксимації ($R^2=0,96-0,99$).

Вибір оптимальних складових комплексу (концентрації сполуки, та кількості його шарів)

пропонується виконувати за комплексним методом оцінювання. В якості узагальненого показника використовується величина площі трикутника [4]. Кожний узагальнений показник дозволяє одночасно враховувати три основних одиничних показника. В якості одиничних показників пропонується використовувати середньозважені показники (середнє арифметичне, середнє геометричне, середнє гармонічне) [9].

В даному випадку q_{jt} відносний показник розраховується за наступною формулою:

$$q_{jt} = \frac{\Pi_{\text{стандарт}}(F_0, T, J_0)}{\Pi_{\text{кл. max (min)}}} = \frac{\Pi_{\text{кл.}}}{\Pi_{\text{кл. max (min)}}} \quad (4)$$

де $\Pi_{\text{кл.}}$ - показник досліджуваної вагової властивості матеріалу (F_0, T, J_0) з плівковим покриттям після і-ої обробки; $\Pi_{\text{кл. max (min)}}$ - максимальне чи мінімальне значення показника досліджуваної вагової властивості матеріалу з плівковим покриттям.

Визначити $\Pi_{\text{кл.}}$ можна за наступною формулою:

$$\Pi_{\text{кл.}} = \Pi_{\text{мат.}} \cdot z \quad (5)$$

де $\Pi_{\text{мат.}}$ - показник досліджуваної вагової властивості матеріалу без плівкового покриття; z - коефіцієнт зміни величини досліджуваної властивості матеріалу з нанесеним розчином комплексу полімеру з визначеною концентрацією складових та кількістю шарів.

За базовий показник для порівняльних оцінок якості досліджуваних матеріалів використано площу трикутника, який отриманий шляхом з'єднання на графіку показників $Q_{\text{баз}}, G_{\text{баз}}, H_{\text{баз}}$. Значення цих показників дорівнює одиниці.

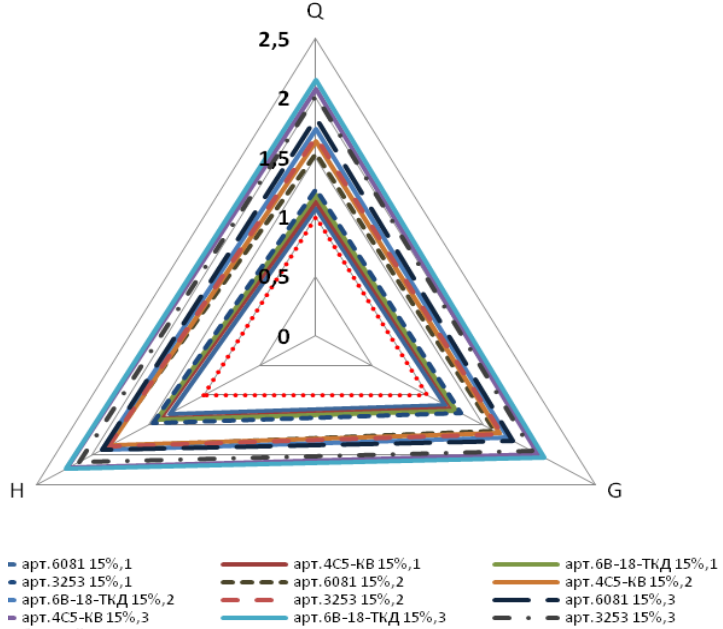


Рис. 3 Визначення узагальненого комплексного показника для матеріалів з плівковим покриттям

$$q_{\text{баз}} = \frac{\Pi_{\text{стандарт}}(F_0, T, J_0)}{\Pi_{\text{стандарт}}(F_0, T, J_0)} = \frac{F_{\text{стандарт}}}{F_{\text{стандарт}}} = \frac{J_0 \text{ min}}{J_0 \text{ min}} = \frac{T_{\text{стандарт}}}{T_{\text{стандарт}}} = 1 \quad (6)$$

де $F_{\text{стандарт}}, T_{\text{стандарт}}$ - максимальні значення розривного навантаження та стійкості до дії тертя для матеріалу з плівковим покриттям; $J_0 \text{ min}$ - мінімальне значення жорсткості матеріалу з плівковим покриттям.

За отриманими значеннями Q_{ij}, G_{ij}, H_{ij} для кожного артикулу тканини, для кожного виду сполук з відповідними параметрами та кількістю шарів нанесення полімерного розчину будуються кругові діаграми у вигляді трикутників (рис. 3).

На рис. 3 зображено приклад побудови кругової діаграми для матеріалів з плівковим покриттям, на основі сполуки $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ концентрація 15%. Для вибору оптимального матеріалу пропонується визначити мінімальне відхилення серед відхилень площі трикутника для кожного артикулу матеріалу від площі базового трикутника:

$$\begin{aligned} \Delta S_{i1} &= |S_{i1} - S_{b1}| \\ \Delta S_{i2} &= |S_{i2} - S_{b2}| \\ \Delta S_{i3} &= |S_{i3} - S_{b3}| \end{aligned} \quad (7)$$

де $\Delta S_{i1}, \Delta S_{i2}, \Delta S_{i3}$ - відхилення площі трикутника побудованого для і-го матеріалу та j-ю вконцентрацією сполук комплексу з одним шаром, двома, трьома шарами нанесеного розчину комплексу полімеру, відповідно

Площу трикутника визначено за формулою [10]:

$$S = \frac{1}{2} a \cdot b \cdot \sin \gamma \quad (8)$$

де a, b- сторони трикутника; γ - кут між ними.

З рис. 3 видно що трикутник $Q_{ij}G_{ij}H_{ij}$ складається з трьох трикутників, тому його площа буде визначатись за формулою:

$$S_{Q_{ij}G_{ij}H_{ij}} = \frac{1}{2} \sin 120^\circ G_{ij} \cdot H_{ij} + \frac{1}{2} \sin 120^\circ G_{ij} \cdot Q_{ij} + \frac{1}{2} \sin 120^\circ G_{ij} Q_{ij} \cdot H_{ij} \quad (9)$$

В результаті математичного перетворення формула (9) набуде наступного вигляду:

$$S_{Q_{ij}G_{ij}H_{ij}} = \frac{1}{2} \sin 120^\circ (G_{ij} \cdot H_{ij} + G_{ij} \cdot Q_{ij} + Q_{ij} \cdot H_{ij}) \quad (10)$$

Площа базового трикутника:

$$S_{\text{баз}} = \frac{1}{2} \sin 120^\circ (G_{\text{баз}} \cdot H_{\text{баз}} + G_{\text{баз}} \cdot Q_{\text{баз}} + Q_{\text{баз}} \cdot H_{\text{баз}}) \quad (11)$$

В результаті комплексної оцінки отримано, що оптимальним для створення розчину комплексу з ПВС є $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, концентрацією 10 %, нанесений на поверхню матеріалу «Грега» в 2 шари. На основі отриманих результатів, розроблена блок-схема автоматизованого вибору оптимального варіанту матеріалу з оптимальним складом розчину полімерного покриття для підсилюючих накладок спецодягу робітників МОЦ (рис. 4).

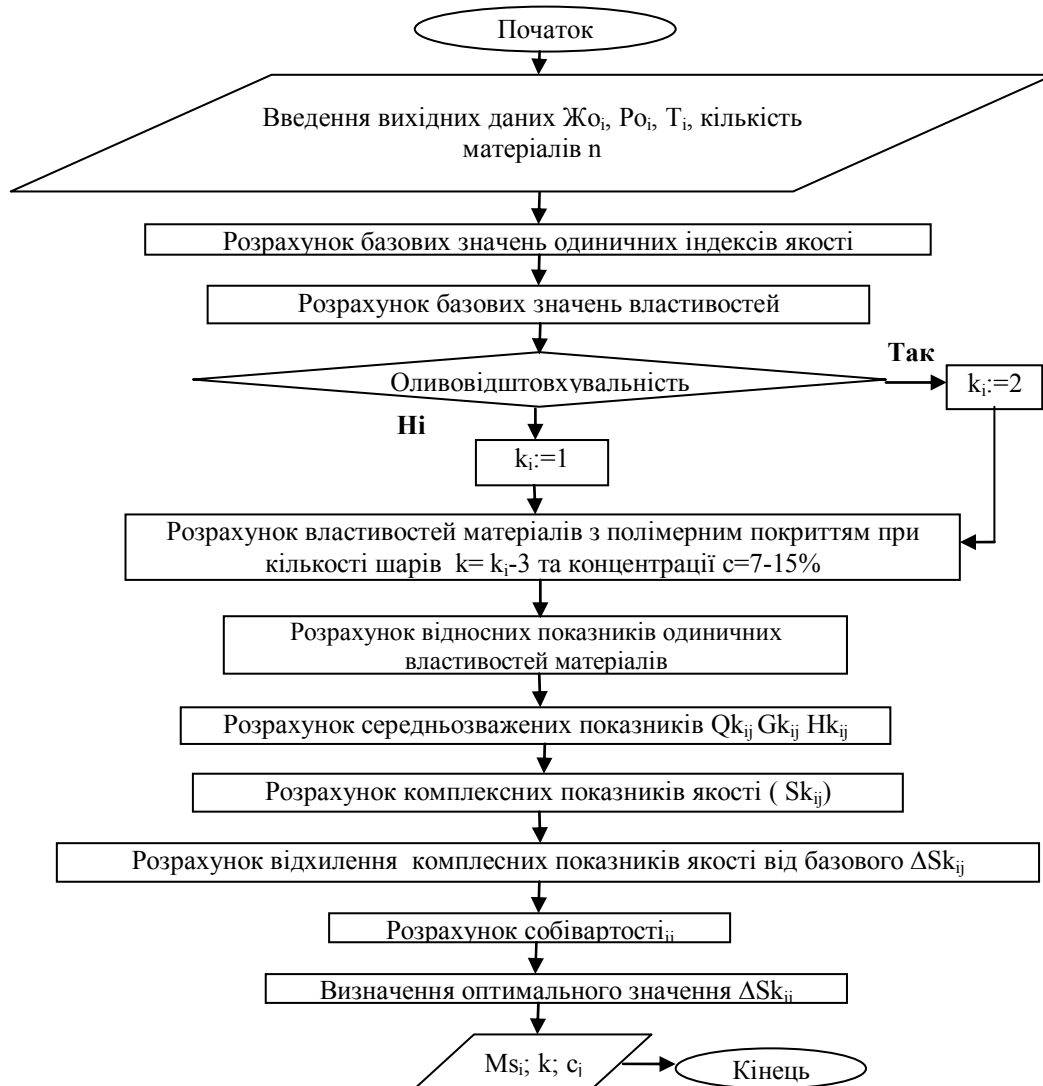


Рис. 4. Блок – схема алгоритму вибору оптимального складу розчину полімерного покриття

Висновки

Розраховані залежності відносного показника вагомих властивостей матеріалів з плівковим покриттям, дають змогу створити автоматизований вибір параметрів полімерного покриття для матеріалів спецодягу робітників МОЦ. Розроблена блок-схема наочно зображує процес вибору матеріалу для підсилюючих накладок спецодягу робітників МОЦ. Також на основі блок-схеми можна виконати вибір оптимального варіанту матеріалу без проведення додаткових експериментів та вимірів з розробленими полімерними покриттями при проектуванні спецодягу для робітників суміжних професій та при дії однотипних умов виробництва.

Література

1. Кокеткин П. П. Промышленное проектирование специальной одежды / Кокеткин П. П., Чубарова З. С., Афанасьева Р. Ф. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1982. – 184 с.
2. Фомченкова Л. Н. Современные текстильные материалы для спецодежды / Л. Н. Фомченкова // Текстильная промышленность. – 2007. – № 12. – С. 38-42.
3. Білей-Рубан Н. В. Завдання створення екологічно чистого форменого одягу: особливості комплексної експертизи якості камуфляжних матеріалів / Н. В. Білей-Рубан, О. І. Лопаткіна, Л. Б.

Білоцька // Вісник КНУТД. – 2004. – № 6. – С. 114-117.

4. Склянников В. П. Гигиеническая оценка материалов для одежды / В. П. Склянников., Р. Ф. Афанасьева, Е. Н. Машкова. – М.: Легпромбытиздат, 1985 – 144 с.

5. Шаран Т. Г. Дослідження впливу полімерного покриття на властивості матеріалів / Т. Г. Шаран, Н. В. Прошина, В. Й. Рокицька // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 1. – С. 172-174.

6. Соловьев А. Н. Оценка и прогнозирование качества текстильных материалов / А. Н. Соловьев., С. М. Кирюхин – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 215 с.

7. Оливовідшттовхувальність. Метод визначення стійкості до вуглеводнів (ISO 14419: 1998, IDT): ДСТУ ISO 14419: 2005. – [Чинний від 2007-01-01]. – К.: Держспоживстандарт України, 2007. – 8 с. – (Національний стандарт України)

8. Грушко И. М. Основы научных исследований / И. М. Грушко, В. М. Сиденко – 3 – е изд., перераб. и доп. – Харьков: Вища школа. Изд – во при Харьк. ун – те, 1983. – 224 С

9. Савчук Н. Г. Квалітологія швейного виробництва / Н. Г. Савчук, С. М. Березненко, М. П. Березненко.: Підручник. – 2-ге видання – К.: Арістей, 2006. – 464 с.

10. Выгодский М. Я. Справочник по элементарной математике / М. Я. Выгодский Таблицы, арифметика, алгебра, геометрия, тригонометрия, функции и графики [Текст]. – 22-е изд. – М.: Наука. – 1973. – 416с.

Надійшла 16.11.2010 р.

УДК 677.016.6

А.В. АНДРУШКЕВИЧ, В.М. ЛИСЮК

Херсонський національний технічний університет

В.В. НАЗАРОВА

ВНЗ «Херсонський державний морський інститут»

ВПЛИВ КРЕМНІЙОРГАНІЧНИХ СПОЛУК НА ЗДАТНІСТЬ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ДО ЗАБРУДНЕННЯ

Розвиток сучасних технологій, а також поширення імпорту товарів легкої промисловості вимагає від вітчизняної продукції наявності комплексних властивостей, в тому числі і проти забруднювальних властивостей. В статті розглянуто проблему впливу оздоблюючих полімерів на здатність текстильних матеріалів забруднюватися, а саме можливість поєднання високоякісної водо відшттовхувальної обробки кремнійполімерами з одночасною стійкістю тканин до забруднення.

Development of modern technologies, and also distribution of import of commodities of light industry requires from domestic products the presence of complex properties, including antidirt properties. In the article the problem of influence of decorating polymers is considered on ability of textile materials contaminated, namely possibility of combination of high-quality hydro-resist treatment of silicium based polymer with simultaneous firmness of fabrics to contamination.

Ключові слова: кремнійорганічні сполуки, текстильні матеріали.

Нанесення на волокно обробних препаратів впливає на забруднення текстильних матеріалів або на видалення бруду в процесі прання чи хімічного чищення.

Так, в роботі [1] експериментально доведено, що незалежно від вихідних параметрів волокнистого субстрату, після обробки текстильного матеріалу полімерним складом здатність виробу до забруднення визначається властивостями плівки полімеру, яка нанесена на волокно. При цьому забруднювальність текстильних матеріалів після апретування може як підвищуватися, так і зменшуватися.

На сьогоднішній день немає відомостей щодо того, як саме впливає той або інший полімер на забруднення тканин. В той же час споживач сьогодні вимагає від текстильних виробів високих санітарно-гігієнічних та експлуатаційних властивостей, з яких схильність тканини до забруднення є однією з найважливіших характеристик готової продукції.

Тому показник здатності тканини до забруднення сьогодні є одним з основних для всіх апретованих тканин і тканин зі спеціальними видами обробки.

Найбільш широко серед текстильних матеріалів зі спеціальними властивостями застосовуються текстильні матеріали з водовідшттовхувальним обробленням.

В зв'язку з вище вказаним, метою даної роботи було дослідження впливу гідрофобних апретів на основі кремнійорганічних полімерів на здатність текстильних матеріалів до забруднення та легкість видалення забруднень в процесі прання.

Для дослідження було використано бавовняні текстильні матеріали арт. 5В0005 виробництва «Херсонський бавовняний комбінат» та бавовняно-поліефірні текстильні матеріали виробництва «Черкаський шовковий комбінат», зокрема тканина арт. 2701.

Всі зразки були попередньо оброблені апретами на основі кремнійорганічних сполук різного складу. В роботі було досліджено вплив апретів на стійкість тканин як до сухого, так і до мокрого забруднення.

Для визначення забруднювальності текстильних матеріалів використовували метод нанесення

сухого бруду на текстильний матеріал під впливом механічних сил при перемішуванні у склянці, яка містила певну кількість металевих шариків [2]. В якості забруднювальної суміші використовували суміш тальку та сажі.

Для визначення стійкості текстильних матеріалів до мокрого забруднення використовували суміш наступного складу (г):

бентонітової глини – 50
 чернозему – 30
 ферум (II) оксиду – 1
 сажі – 0,05
 води – до 1000.

Для порівняльної оцінки ступеня забруднення зразків використовували гравіметричний метод – визначали кількість утриманих тканиною забруднень у відсотках відносно маси вихідного зразка, а також використовували фотометричний метод – зміну ступеня відбиття світла забрудненим зразком відносно вихідного [2,3].

Інтенсивність потемніння оцінювали за функцією Гуревича-Кубелкі-Мунка K/S:

$$\frac{K}{S} = \frac{(1 - R)^2}{2R}$$

де K, S, R – коефіцієнти поглинання, розсіювання та відбиття світла досліджуванним зразком тканини. Ступень забруднення розраховували як різницю в значеннях K/S до та після забруднення:

$$\Delta \frac{K}{S} = \frac{(1 - R_3)^2}{2R_3} - \frac{(1 - R_6)^2}{2R_6}$$

де R₃ – ступінь відбиття світла забрудненим зразком;
 R₆ – ступінь відбиття світла вихідним зразком.

Ступінь відпирання розраховували як різницю в значеннях K/S зразку після забруднення та після прання і вихідного зразку:

$$\Delta \frac{K}{S} = \frac{(1 - R_{3п})^2}{2R_{3п}} - \frac{(1 - R_6)^2}{2R_6}$$

де R_{3п} – ступінь відбиття світла забрудненим зразком після прання.

Для зручності використовували скорочені формули:
 для визначення ступеня забруднення:

$$\Delta R = \frac{R_6 - R_3}{R_6}$$

де R₃ – ступінь відбиття світла забрудненим зразком;
 R₆ – ступінь відбиття світла вихідним зразком.

Ступінь відпирання розраховували як різницю в значеннях K/S зразку після забруднення та після прання і вихідного зразку:

$$\Delta R = \frac{R_{3п} - R_3}{R_6 - R_3}$$

де R_{3п} – ступінь відбиття світла забрудненим зразком після прання.
 Отримані результати експерименту відображено в таблиці 1.

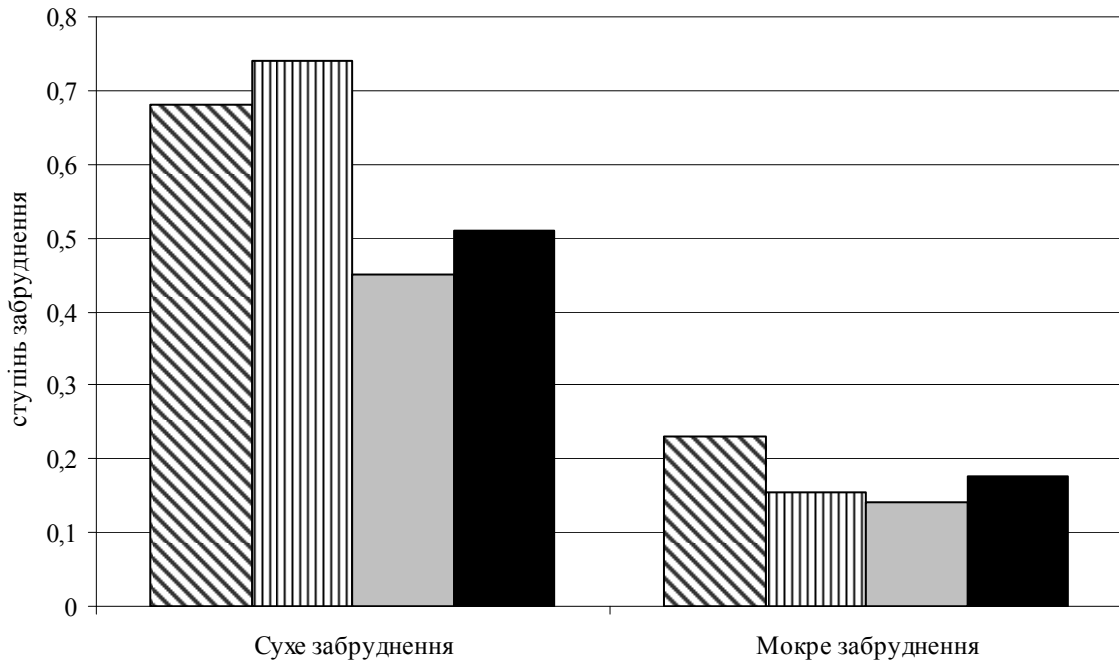
Таблиця 1

Вплив апретів на основі КОС на ступінь забруднення текстильних матеріалів

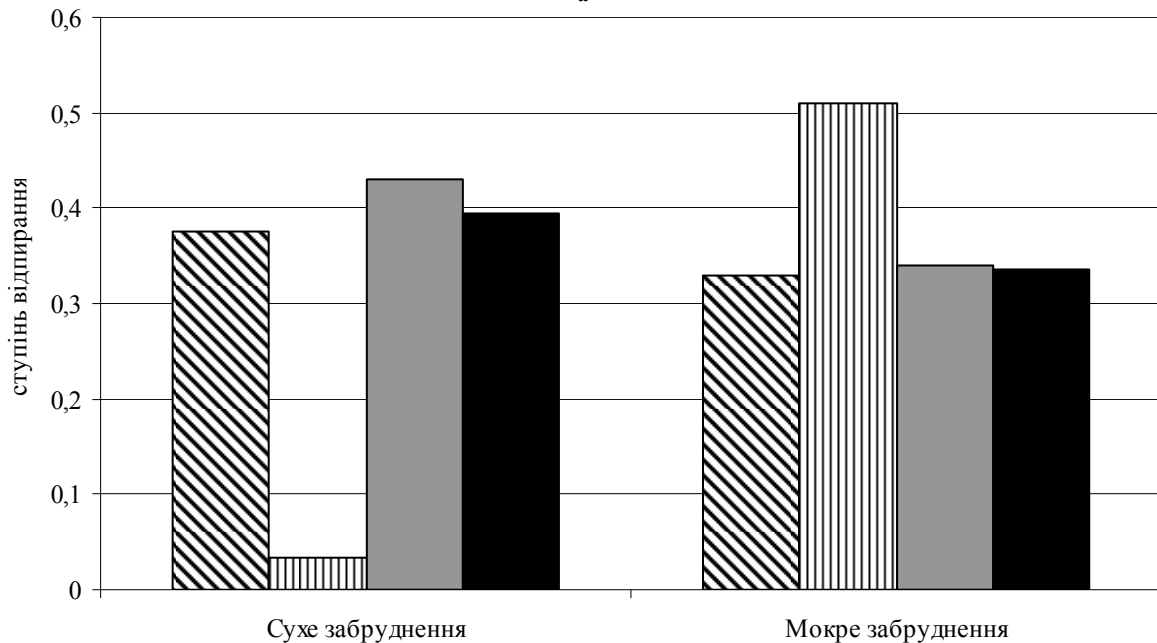
№ з/п	Склад апрету, г/л	Ступінь забруднення, %				Ступінь забруднення після прання, %			
		сухе забруднення		мокре забруднення		сухе забруднення		мокре забруднення	
		арт. 2701	арт. 5B0005	арт. 2701	арт. 5B0005	арт. 2701	арт. 5B0005	арт. 2701	арт. 5B0005
1	Неапретований зразок	4,9	2,3	1,8	2,92	4,7	3,1	0,6	0,7
2	Емульсія на основі ГКЖ-94М – 30 Сіль металу – 25	5,6	3,5	1,6	2,2	4,0	3,0	0,05	0,4
3	Натрій алюмометил- силіконат – 100 Сіль металу – 25	1,3	0,1	0,2	0,4	2,1	2,4	0,3	1,8
4	Емульсія на основі ГКЖ-94М – 30 Натрій алюмометил- силіконат – 50	1,5	0,63	1,5	1,2	3,4	2,6	0,55	2,7

Як видно з таблиці, вплив полімерних речовин, які використовуються для водовідштовхувального оброблення текстильних матеріалів, на здатність їх забруднюватися, різний, причому незалежно від типу полімеру спостерігається загальна тенденція: найбільші брудовідштовхувальні властивості текстильним матеріалам надає апрет на основі натрій алюмосилікату (вар. 3). Якщо для тканин, оброблених за варіантами 3 та 4, спостерігається однакова залежність і для сухого, і для мокрого видів забруднення, то текстильні матеріали, оброблені апретом на основі ГКЖ-94 М, набувають брудовідштовхувальних властивостей лише по відношенню до мокрих забруднювачів. Очевидно, це можна пояснити максимальною водовідштовхувальною здатністю, які набувають текстильні матеріали після оброблення складами на основі ГКЖ-94М [4]. Тим самим можна пояснити і більш легке відпирання текстильних матеріалів з обробкою емульсією на основі ГКЖ-94М після мокрих забруднень.

Показники зміни ступеню відбиття світла після забруднення та після прання, отримані для бавовняних зразків, підтверджують дані гравіметричного визначення забруднювальності текстильних матеріалів (рис. 1).



■ неапретований □ ГКЖ-94М ▒ натрій алюмометилсилікат ■ ГКЖ-94М + натрій алюмометилсилікат
а



■ неапретований □ ГКЖ-94М ▒ натрій алюмометилсилікат ■ ГКЖ-94М + натрій алюмометилсилікат
б

Рис. 1. Вплив кремнійорганічних полімерів на забруднювальність (а) та відпирання (б) бавовняних зразків

Як видно з рисунків, нанесення емульсії ГКЖ-94М значно підвищує схильність бавовняних тканин до сухого забруднення, а також ускладнює видалення частинок сухого бруду з поверхні текстильного матеріалу. При цьому по відношенню до мокрих забруднень апретовані емульсією на основі ГКЖ-94М зразки набувають брудовідштовхувальних властивостей та легко відпираються.

Висновки:

Отримані дані підтверджують, що вплив плівкоутворюючих речовин на здатність текстильних матеріалів до забруднення та відпирання різний, що можна пояснити різними фізико-хімічними та термодинамічними властивостями полімерів, які використовуються в процесах заключного опорядження текстильних матеріалів.

Отримані дані дають можливість також рекомендувати використання емульсій на основі ГКЖ-94 для отримання текстильних матеріалів з високими водовідштовхувальними властивостями та стійкістю до мокрих забруднень, що дозволить виключити протизабруднювальну обробку як самостійну технологічну операцію і тим самим підвищить рентабельність готової продукції.

Література

1. Шипилов Ю.Г. Придание текстильным материалам антиадгезионных свойств: дис. на здобуття вченого ступеня канд. техн. наук: 05.19.03 / Шипилов Юрий Геннадиевич. – Херсон, 2003. – 127 с.
2. Глубиш П.А. Противозагрязняемая отделка текстильных материалов. – М.: Легкая индустрия. – 1979. – 152с.
3. Федорова А.Ф. Технология химической чистки и крашения одежды. – М.: Легкая индустрия. – 1973. – 304с.
4. Назарова В.В. Дослідження процесу адсорбції кремнійорганічних полімерів текстильними матеріалами / В.В. Назарова, Г.В. Міщенко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 6 – С.144-147.

Надійшла 6.11.2010 р.

УДК 541.183: 628.515

М.С. МАЛЬОВАНІЙ

Національний університет «Львівська політехніка»

Г.В. САКАЛОВА

Вінницький державний педагогічний університет

Н.Ю. ЧОРНОМАЗ

Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя

**ВПЛИВ ТИПУ ПРИРОДНОГО СОРБЕНТУ
НА КІНЕТИКУ СОРБЦІЇ ІОНІВ АМОНІЮ ІЗ ВОДИ**

Досліджено процеси сорбційного очищення води від амонійного забруднення. Охарактеризовано сорбційну здатність природного палигорськіту за допомогою ізотерм, встановлені значення кінетичних коефіцієнтів адсорбції. Визначено, що процес очищення води від іонів амонію переважно відповідає моделям поверхневої дифузії при нелінійній ізотермі.

Sorptive processes of water purification from ammonia pollution were investigated in this research. The sorption capacity of natural paligorskite were characterized by means of the isotherm, importance were determined in dynamics. The upshot of the matter is that water purification process conforms to the superficial diffusion model during linear isotherm.

Ключові слова: амонійне забруднення, палигорськіт, адсорбція.

Постановка проблеми. Забезпечення населення якісною питною водою є одним з головних і найбільш важливих завдань екологічної та епідеміологічної безпеки. Однак, сучасний стан водного басейну та постійно зростаюча потреба у чистій питній воді, яка б відповідала усім гігієнічним вимогам, потребують інтенсивних дій, скерованих на пошук нових технологій водопідготовки. Останнім часом фізико-хімічний аналіз підземних вод виявив у них наднормативний вміст багатьох шкідливих сполук, зокрема амонійного азоту, що загрожує хронічним масовим отруєнням населення.

Аналіз та порівняння з техніко-економічної точки зору економічних методів вилучення амонійного азоту з водних розчинів дозволяє констатувати, що одним із найефективнішим є метод іонного обміну з використанням природних дисперсних сорбентів.

Очищення водних розчинів за допомогою дисперсних сорбентів відповідає багатьом вимогам екологічно чистого та енергоощадного виробництва, що базується на принципі безвідходності. Потужні геологічні запаси, дешеве видобування породи, проста підготовка до транспортування та використання, можливість використання відпрацьованих сорбентів у інших технологіях, завдяки чому відпадає потреба у дорогавартісній регенерації – основні переваги використання природних мінералів. Природні сорбенти, зокрема, цеоліти, палигорськіти, відзначаються доброю іонообмінною селективністю катіонів різних важких

металів, крім цього вони легко доступні і не вимагають попередньої складної обробки. Звичайно, вони застосовуються в подрібненому або меленому вигляді.

Виходячи із цього робота, яка направлена на дослідження сорбції іонів амонію із питної води на природних сорбентах, охоплює вирішення перерахованих вище завдань, є актуальною і важливою для забезпечення життєдіяльності суспільства.

Аналіз останніх публікацій показує, що дослідні роботи з застосуванням природних сорбентів зосереджуються в основному на визначенні іонообмінної ємності, чи визначені умов їх регенерації. На жаль немає в них однозначного підходу до механізму процесів, які відбуваються. Для пізнання процесів, їх розрахунку та впровадження, необхідно встановити масообмінні та кінетичні константи, які характеризують процес. Відомо, що аналіз одиничних процесів, таких, як, сорбція на природних сорбентах, може бути проведений із застосуванням методів математичного моделювання. Але для цього обов'язково потрібно провести експериментальні дослідження. За умови проведення комплексу експериментальних досліджень, розробки математичного апарату для аналізу досліджуваного процесу, розроблення та апробації комп'ютерної програми для проведення розрахунків, представляється можливість визначення констант, необхідних для розрахунку процесу.

Метою роботи є дослідження процесу адсорбції іонів амонію із питної води на природному дисперсному сорбенті палигорськіті, проведення теоретичного аналізу процесу адсорбції іонів амонію дисперсним сорбентом та здійснення ідентифікації експериментальних даних відомим методикам.

Матеріал та результати досліджень. Експериментально досліджено процес адсорбції іонів амонію із питної води сорбентом палигорськітом та ідентифіковано отримані дані відомим теоретичним моделям.

Палигорськіті (торгова назва – атапульгіті) належать до групи мінералів, що у природному виді мають високі адсорбційні властивості, які зумовлені своєрідною будовою кристалічних ґраток мінералу, що утворюється з породи – палигорськіту. В Україні інтерес до палигорськітових глин різко посилюється після відкриття Черкаського родовища. Було доведено можливість широкого використання глин у буровій, нафтохімічній та газовій промисловості для очищення й осушення нафти і природних газів, виготовлення солестійких глинистих розчинів та ін. Почато роботи з вивчення можливості застосування палигорськітів у виробництві рідких комплексних та твердих комплексних добрив, хімічних засобів захисту рослин, у виробництві кормів та ін. Використання палигорськітів як очисних сорбентів водних ресурсів теж представляє неабиякий інтерес.

Проводились експериментальні дослідження впливу температури на процес адсорбції іонів амонію для природного сорбенту палигорськіту. Результати експериментальних досліджень, які лягли в основу побудови експериментальної ізотерми адсорбції, представлені на рис. 1.

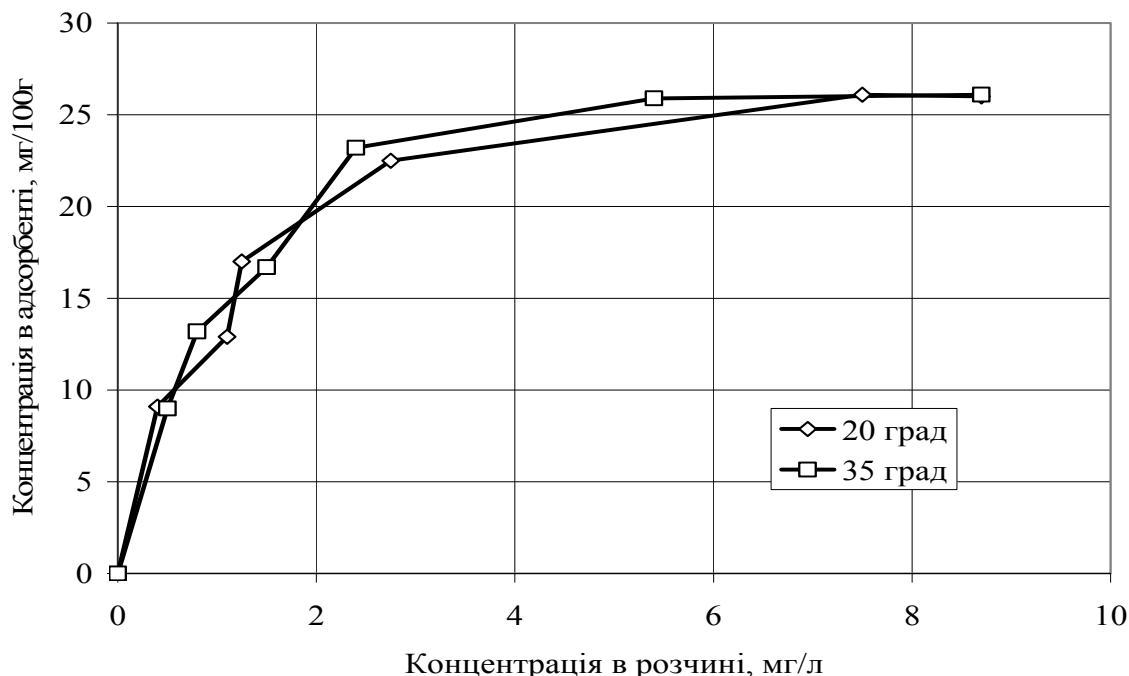


Рис. 1. Експериментальні ізотерми адсорбції іонів амонію на палигорськіті

Як видно із рис. 1, експериментальні ізотерми відхиляються від лінійності, що викликає необхідність аналізу їх за допомогою ідентифікації відомим теоретичним моделям. Разом з тим, рис. 1 свідчить, що температура практично не впливає на адсорбційну ємність іонного обміну, що дозволило об'єднати весь масив даних однією ізотермою.

Для ідентифікації обрано 4 теоретичні моделі: модель Ленгмюра та модель, а також моделі бі-Ленгмюра та Фрейндліха. Почергово проводимо ідентифікацію експериментальних даних цим моделям,

вибравши на 1 етапі апроксимацію з допомогою алгебраїчних функцій за методом Маркварта.

Графічні результати ідентифікації представлені на рис. 2-5.

Як видно із рис. 2-5, з достатньою мірою коректності експериментальні дані можуть бути проаналізовані ізотермами Ленгмюра, бі-Ленгмюра та Нікольського. Ізотерма Фрейндліха у цьому випадку неприйнятна, оскільки вона має зовсім інший характер.

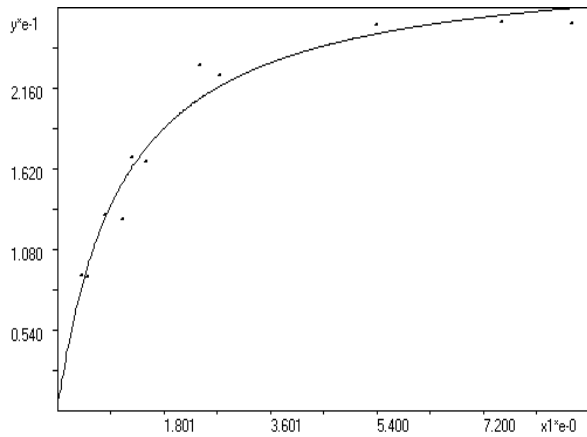


Рис. 2. Ідентифікація експериментальних даних ізотермі Ленгмюра

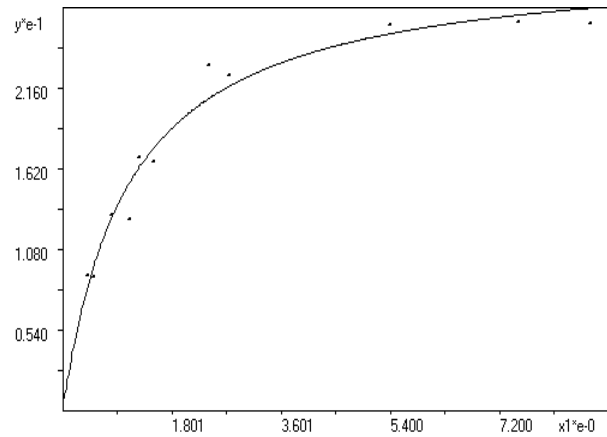


Рис. 3. Ідентифікація експериментальних даних ізотермі бі-Ленгмюра

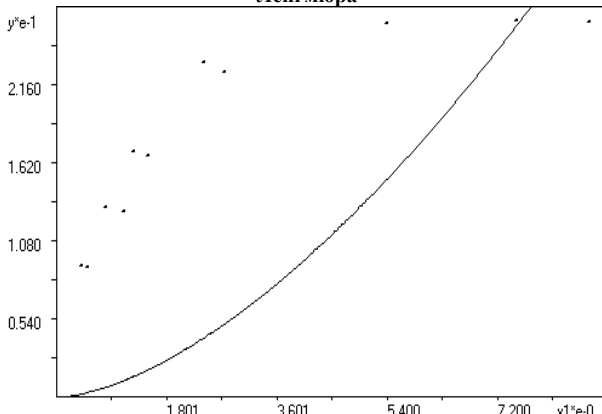


Рис. 4. Ідентифікація експериментальних даних ізотермі Фрейндліха

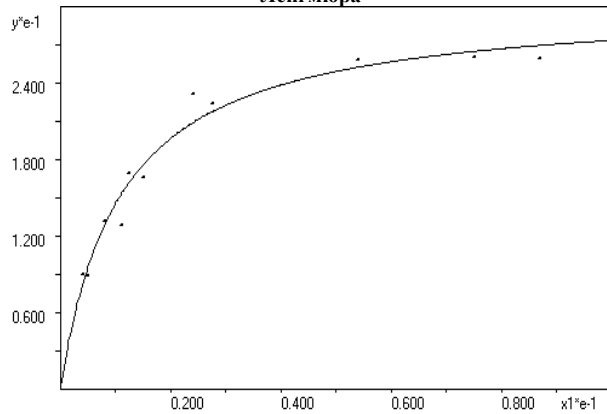


Рис. 5. Ідентифікація експериментальних даних ізотермі Нікольського

Для вибору моделі із перерахованих вище трьох, які придатні для аналізу, і встановлення моделі, яка найбільш коректно описує експериментальні дані, необхідно провести аналіз статистичних оцінок ідентифікації. За такі статистичні оцінки, які обчислюються програмою, нами прийнято критерій Фішера – для оцінки збіжності 2 дисперсій (експериментальних даних та розрахункової моделі) і критерій t – Стьюдента для оцінки значущості обрахованих коефіцієнтів масообміну, які порівняні із стандартними значеннями критерію t – Стьюдента з довірчим інтервалом 95 %.

Розраховані параметри для аналізованих теоретичних моделей приведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Розрахункові параметри ідентифікації теоретичних даних експериментальним моделям

Параметри	Значення параметрів	Критерій t-Стьюдента	Стандартне значення критерію t-Стьюдента (довірчий інтервал 95 %)	Критерій Фішера
Модель Ленгмюра				
P ₁	2.812E+0001	2.583E+0000	5.844E+0000	25,82
P ₂	9.259E-0001	1.139E-0001	2.577E-0001	
Модель бі-Ленгмюра				
P ₁	2.713E+0001	2.577E+0000	5.828E+0000	19,17
P ₂	9.235E-0001			
P ₃	1	2.577E+0000	2.659E-0001	
P ₄	1			
Модель Нікольського				
P ₁	7.666E+0008	2.258E+0016	5.206E+0016	22,95
P ₂	2.726E+0007	8.027E+0014	1.851E+0015	
P ₃	2.524E+0007	7.432E+0014	1.714E+0015	

Аналіз значень критерію Фішера для досліджуваних теоретичних ізотерм (таблиця 1, рис. 2) дозволяє стверджувати, що найбільш коректно описує процес адсорбції ізотерма Ленгмюра. Разом з тим можна стверджувати, що з достатньою мірою точності для опису процесу можуть бути використані всі 3 ізотерми: Ленгмюра, бі-Ленгмюра та Нікольського. Розраховані значення констант масообміну, які приведені в таблиці 4.1, можуть бути використані для розрахунку реальних процесів. Значущість їх підтверджена розрахунковими значеннями критерію t-Стюдента, які у всіх випадках не були нижчими стандартних значень критерію Стюдента із довірчим інтервалом 95 %.

Висновки. В роботі розглянуто результати експериментального дослідження адсорбції іонів амонію на природному сорбенті палигорськіті. Показано, що в границях досліджуваних температур (20⁰С та 35⁰С) температура мало впливає на процес масообміну. Експериментальні дані для цих температур можуть бути описані однією залежністю.

Експериментальні дані адсорбції іонів амонію палигорськітом з використанням розробленої програми ідентифіковані відомим теоретичним ізотермам – Ленгмюра, бі-Ленгмюра, Френдліха та Нікольського. Шляхом аналізу розрахованих значень критерію Фішера встановлено, що найкраще описує процес ізотерма Ленгмюра. Для всіх досліджуваних теоретичних ізотерм розраховані значення констант масообміну, які можуть бути використані для розрахунку реальних процесів.

Література

1. Запольский А.К. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / Запольский А.К., Мішкова – Клименко Н.А., Астрелін І.М. та ін. – К.: Лібра, 2000. – 552 с.
2. Тарасевич Ю.И. Адсорбция на глинистых минералах / Тарасевич Ю.И., Овчаренко Ф.Д. -К.: Наукова думка, 1975. – 351С.
3. Петрусь Р. Технології очищення стоків із застосуванням природних дисперсних сорбентів / Петрусь Р., Мальований М., Варчол Й., Одноріг З., Петрушка І., Леськів Г // Хімічна промисловість України, № 2 (55), 2003. – С.20-22.

Надійшла 1.11.2010 р.

УДК 687.1

О.В. ЯКИМЧУК

Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОСТРУМИННОГО ФОРМУВАННЯ ГОЛОВОК ГОЛОВНИХ УБОРІВ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЗМІНИ КУТА АТАКИ

Визначені оптимальні значення кутів атаки та отримані математичні моделі процесу гідроструминного формування головок головних уборів для тканин костюмно-пальтового асортименту.

Optimal values of attack corners and the mathematical models of process of the hydro-jet forming of heads of head-dresses for fabrics of suit-overcoat assortment are defined.

Ключові слова: гідроструминний спосіб формування, параметр оптимізації, математична модель, кут атаки, ділянки деталі, оптимальне значення.

Постановка проблеми

Актуальним та перспективним завданням на сьогоднішній день є задоволення смаків та уподобань споживачів з метою гармонізації костюму (плечовий верхній одяг та головний убір) за кольором та фактурою матеріалів. Оскільки ринок головних уборів представлений переважно виробами із хутра, шкіри, фетру та тканин, формованих за допомогою конструктивного втручання, необхідною є розробка нових технологій формування деталей головних уборів із тканин костюмно-пальтового асортименту [1].

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Для підвищення якості формування деталей (головок) головних уборів із тканин було розроблено гідроструминний спосіб формування, який дозволяє покращити їхні деформаційні властивості шляхом збільшення вологовмісту та пластифікації волокон з використанням рідинно-активного робочого середовища (РАРС) [2, 3]. Сутність способу полягає в тому, що закріплена на формуючому елементі тканина поміщається в робочу камеру установки для формування, яка наповнюється РАРС. Далі на тканину діє керований затоплений гідрострум, що повторює контур деталі, яка обертається навколо своєї осі. При цьому струменеформуючий насадок (сопло) рухається на певній відстані та під певним кутом нахилу (кут атаки) до поверхні деталі [4].

Для розробки технології гідроструминного формування було досліджено вплив основних параметрів на процес формування: форма та геометричні розміри струменеформуючого насадка, відстань від торця насадка до поверхні деталі, тиск РАРС в системі, час формування, частота обертання деталі [5, 6,]. Проте залишається невідомим характер впливу кутів атаки на якість відформованих головок гідроструминним способом.

Формулювання мети

Дослідження особливостей впливу кутів атаки на якість відформованих головок та визначення технологічних режимів гідроструминного формування та потребує знаходження відповідних математичних моделей та оптимальних значень вказаних параметрів.

Виклад основного матеріалу

Для повноти вивчення процесу, що розглядається, необхідно дослідити характер та ступінь впливу одного із значних факторів формотворення головок головних уборів із тканин костюмно-пальтового асортименту – кута атаки. Найбільший практичний інтерес представляють оптимальні значення кутів атаки для другої та третьої ділянок деталі, оскільки необхідність застосування кута атаки для першої ділянки $\alpha_1 = 90^\circ$ обґрунтовано теоретично [7], а більш глибоке дослідження четвертої та п'ятої ділянок є недоцільним, оскільки вони потрапляють в область з'єднання головки з полями головного убору.

Для вирішення поставленого завдання було проведено ряд експериментів з використанням коноїдального струменеформуєчого насадка з еліптичним вихідним отвором площею $S_{нас} = 7,2 \text{ мм}^2$ на відстані до поверхні деталі $l = 5 \text{ мм}$. Фіксованими факторами виступали тиск РАРС в системі P , час формування t , частота обертання деталі n , кути атаки для першої $\alpha_1 = 90^\circ$, четвертої та п'ятої ділянок деталі $\alpha_{IV-V} = 45^\circ$. Враховуючи отримані раніше результати, стабілізація P , t , n здійснювалася на оптимальних значеннях, а для не значимих факторів – на основному рівні [6]. Рівні та інтервали варіювання вхідних факторів наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Рівні та інтервали варіювання факторів

Рівні варіювання	Фактори	
	Кут атаки другої ділянки α_{II} , град.	Кут атаки третьої ділянки α_{III} , град.
	x_1	x_2
Основний	45	45
Інтервал варіювання	20	20
Верхній	85	85
Нижній	5	5

Оцінка якості відформованих деталей проводилася графоаналітичним методом [8]. Для цього використовувалися два параметра оптимізації: виправлена вибіркова дисперсія нормованих відхилень реальних значень ординат точок контуру відформованої деталі від значень ординат точок контуру формуючого елемента d та величина релаксації деталі після 48-годинного відпочинку R , %.

При проведенні досліджень використовувався рототабельний план другого порядку.

Зображення фрагментів гідроструминного формування зі зміною кутів атаки на різних ділянках дозволяє наочно представити процес (рис. 1).

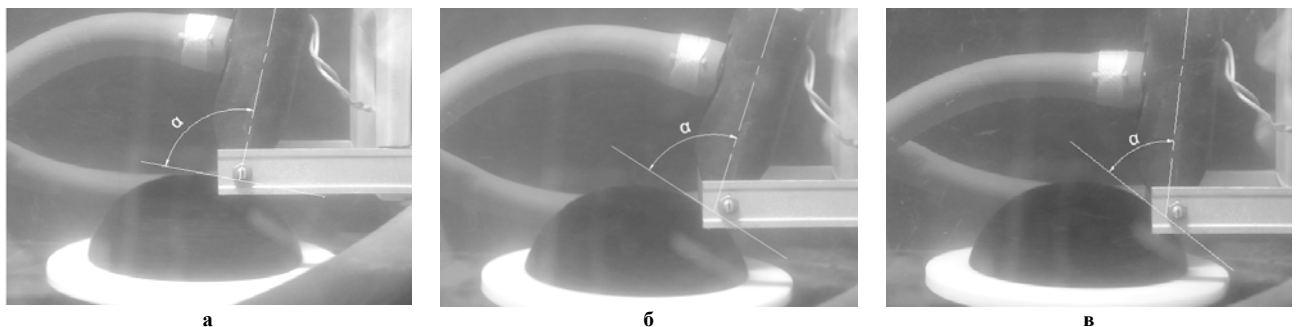


Рис. 1. Фрагменти процесу гідроструминного формування деталей головних уборів при різних кутах атаки:
а – $\alpha_1 = 90^\circ$; б – $\alpha_{II} = 85^\circ$; в – $\alpha_{III} = 73^\circ$

В результаті статистичної обробки експериментальних даних отримані рівняння регресії, значимість коефіцієнтів яких перевірена за критерієм Стюдента, а адекватність підтверджена за критерієм Фішера. Математичні моделі в натуральному вигляді, а також оптимальні значення кутів атаки α_{II} , α_{III} із врахуванням дисперсії нормованих відхилень та релаксації форми деталі наведені в таблиці 2.

Аналіз математичних моделей показав, що вхідні фактори x_1 (α_{II}) та x_2 (α_{III}) виявилися значимими при оцінці якості формування тканин костюмно-пальтового асортименту із врахуванням показників формовідтворення (d) та формозбереження (R). При цьому найбільший вплив на якість відформованої деталі здійснює величина кута атаки α_{III} . Дане явище пояснюється тим, що формування третьої ділянки головки потребує створення більших навантажень, в порівнянні з другою ділянкою. Це зумовлено тим, що третя ділянка знаходиться біля основи головки, де тканина має найменшу одягаючу здатність [7].

Графічні залежності параметрів оптимізації від вхідних факторів процесу гідроструминного формування α_{II} та α_{III} зображені на рис. 2. Як видно, поверхні відгуку для d та R мають різний характер, тому доцільним є вирішення компромісної задачі визначення оптимальних значень вхідних факторів для

гідроструминного формування тканин костюмно-пальтового асортименту розрахунком середнього квадратичного значення отриманих факторів (табл. 3).

Таблиця 2

Результати статистичної обробки експериментальних даних

Назва та призначення тканини	Математична модель процесу формування	Оптимальні значення факторів	
		α_{II}	α_{III}
«Мартіна» пальтова	$d = 0,00319 - 0,00002\alpha_{II} - 0,000017\alpha_{III} + 0,000002\alpha_{II}^2 + 0,0000017\alpha_{III}^2$	43	50
	$R = 4,142 - 0,00105\alpha_{II} - 0,0055\alpha_{III} + 0,00021\alpha_{II}\alpha_{III} - 0,00028\alpha_{III}^2$	17	49
«Моніка» пальтова	$d = 0,001047 - 0,00007\alpha_{II} - 0,000025\alpha_{III} + 0,0000022\alpha_{III}^2$	39	42
	$R = 4,327 - 0,00109\alpha_{II} - 0,0058\alpha_{III} + 0,00022\alpha_{II}\alpha_{III} - 0,00031\alpha_{III}^2$	24	49
«Соната» пальтова	$d = 0,0058797 + 0,00002\alpha_{II} + 0,00003\alpha_{III} - 9,877 \cdot 10^{-7} \alpha_{II}\alpha_{III} + 1,481 \cdot 10^{-7} \alpha_{III}^2$	30	62
	$R = 4,089 - 0,00109\alpha_{II} - 0,0058\alpha_{III} + 0,00021\alpha_{II}\alpha_{III} + 0,00012\alpha_{III}^2$	17	52
«Персей» костюмна	$d = 0,00842 - 0,00005\alpha_{II} + 0,000016\alpha_{III} - 0,000001\alpha_{II}\alpha_{III} + 0,0000023\alpha_{III}^2$	31	46
	$R = 4,291 - 0,00108\alpha_{II} + 0,00742\alpha_{III} + 0,000217\alpha_{II}\alpha_{III} + 0,00012\alpha_{III}^2$	17	51
«Магелан» костюмна	$d = 0,00832 - 0,00004\alpha_{II} + 0,000005\alpha_{III} - 0,000001\alpha_{II}\alpha_{III} + 1,975 \cdot 10^{-7} \alpha_{III}^2$	29	62
	$R = 4,233 - 0,00106\alpha_{II} + 0,00571\alpha_{III} + 0,000213\alpha_{II}\alpha_{III} + 0,00028\alpha_{III}^2$	24	52
«Меркурій» костюмна	$d = 0,00861 + 0,00004\alpha_{II} + 0,000005\alpha_{III} - 0,000001\alpha_{II}\alpha_{III} + 1,975 \cdot 10^{-7} \alpha_{III}^2$	29	62
	$R = 4,587 - 0,00115\alpha_{II} + 0,00607\alpha_{III} + 0,000231\alpha_{II}\alpha_{III} + 0,00032\alpha_{III}^2$	23	49

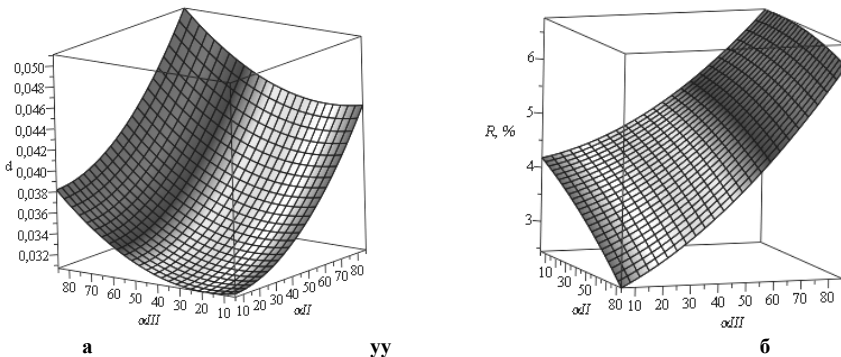


Рис. 2. Поверхні відгуку для гідроструминного формування пальтової тканини «Мартіна» зі зміною кутів атаки α_{II} та α_{III} : а – дисперсія; б – релаксація

Таблиця 3

Оптимальні значення технологічних режимів гідроструминного формування (α_{II} , α_{III}) для тканин костюмно-пальтового асортименту

Назва та призначення тканини	Оптимальні значення кутів атаки	
	α_{II} , град	α_{III} , град
«Мартіна» пальтова	23	35
«Моніка» пальтова	23	32
«Соната» пальтова	17	40
«Персей» костюмна	17	34
«Магелан» костюмна	19	40
«Меркурій» костюмна	18	39

В результаті аналізу отриманих даних, виявлено, що оптимальні значення кутів атаки для гідроструминного формування пальтових тканин знаходяться в межах $\alpha_{II} = 17^\circ \div 23^\circ$, $\alpha_{III} = 32^\circ \div 40^\circ$; для костюмних тканин – $\alpha_{II} = 17^\circ \div 19^\circ$, $\alpha_{III} = 34^\circ \div 40^\circ$.

Висновки: в результаті проведених досліджень процесу гідроструминного формування отримані

математичні моделі, які адекватно відображують процес та визначені оптимальні значення кутів атаки, що сприяють кращому вкладанні тканини на другій та третій ділянках деталі головного убору.

Література

1. Попович О.В. Особливості нетрадиційних способів формування деталей швейних виробів / Попович О.В., Кушевський М.О // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 6. – С. 209-212.
2. Пат. 46731 UA, D06F 73/00. Гідроструминний спосіб формування деталей швейних виробів об'ємно-просторової форми / Попович О.В., Кушевський М.О. – № u 2009 02654; заявл. 23.03.2009; опубл. 11.01.2010, Бюл. № 1.
3. Пат. 46811 UA, A42C 1/00. Установа для формування деталей головних уборів гідроструминним способом / Прибега Д.В., Кушевський М.О., Злотніков В.О., Попович О.В. – № u 2009 06453; заявл. 22.06.2009; опубл. 11.01.2010, Бюл. № 1.
4. Якимчук О.В. Автоматизація процесу керування затопленим гідроструменем при формуванні об'ємних деталей головних уборів / О.В. Якимчук, О.П. Войтюк, М.О. Кушевський // Современные направления теоретических и прикладных исследований: сб. науч. трудов по материалам междунар. научно-практ. конф. – Одесса, 2010. – С. 76–79.
5. Якимчук О.В. Дослідження релаксації деталей головних уборів при гідроструминному формуванні / О.В. Якимчук, М.О. Кушевський // Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте: сб. науч. трудов по материалам междунар. научно-практ. конф. – Одесса, 2010. – С. 87–90.
6. Якимчук О.В. Оптимізація процесу гідроструминного формування деталей головних уборів із тканин костюмно-пальтової групи / О.В. Якимчук, М.О. Кушевський // Сучасні технології в легкій промисловості і сервісі: тези доп. – Хмельницький: ХНУ, 2010. – С. 48–49.
7. Попович О.В. Дослідження характеру дії сил при формуванні деталей одягу гідроструминним способом / О.В. Попович, Д.В. Прибега, М.О. Кушевський // Вісник Хмельницького національного університету. – 2009. – № 5. – С. 174–178.
8. Якимчук О.В. Графоаналітичний спосіб оцінки якості формування об'ємних деталей головних уборів / О.В. Якимчук, М.О. Кушевський // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 2. – С. 35–40.

Надійшла 19.11.2010 р.

УДК 666.9.058. 684

Г.І. ГОЛОДЮК

Луцький національний технічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОМПОНЕНТІВ ФАРБУВАЛЬНОЇ КОМПОЗИЦІЇ І ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ШОРСТКІСТЬ ПОВЕРХНІ ДЕРЕВИНИ

У статті наведено результати досліджень основних якісних показників одержаного покриття на деревині після нанесення фарбувальної композиції, проведена статистична обробка експериментальних даних на підставі якої було одержано рівняння регресії, що адекватно описує процес, що відбувається в лакофарбовому покритті.

In the article the results of researches of basic high-quality indexes of the got coverage are resulted on wood after causing of painting composition. In the article the conducted statistical experimental data processing which equalization of regression was got on the basis of, that adequately describes a process, that takes place in lakokrasochnykh coverage.

Ключові слова, алкідні смоли, лакофарбові покриття, фарбувальна композиція, шорсткість, якість, ґрунтлак.

Постановка проблеми у загальному вигляді і її зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями. Одним з показників, що характеризують якість одержаного покриття на деревині після нанесення фарбувальної композиції, є шорсткість. Відповідно до цього були проведені експериментальні дослідження вимірювання шорсткості поверхні (після нанесення складу) від рівня вмісту ґрунтлаку, пігментної пасти при змінній витраті і температурі сушки композиції.

Цілі статті. Дослідження впливу компонентів фарбувальної композиції і технологічних параметрів на шорсткість поверхні деревини.

Об'єкти досліджень. Об'єктом дослідження є споживчі властивості отриманого покриття на деревині.

Вклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих нових результатів. Шорсткість поверхні деревини визначається відповідно до ГОСТ 7016-82 «Изделия из древесины и древесных материалов. Параметры шероховатости поверхности», по середньому

арифметичному висот $R_{m \max}$.

Для визначення шорсткості поверхні деревини використовувався мікроскоп МИС -11. Мікроскоп є системою двох тубусів: проектуючого (освітлювача) і наглядного. На наочний столик мікроскопа поміщають контрольний зразок так, щоб світлова смужка була перпендикулярна волокнам деревини, і за допомогою гвинтів настройки фіксують мікроскоп так, щоб в окулярі спостерігалось різке зображення відображеної від поверхні деревини світлової щілини. Сітку поворотом окулярного мікрометра встановлюють так, щоб одна з ліній перехрестя мала в своєму розпорядженні паралельно довгу сторону щілини. Потім лінію перехрестя послідовно суміщають з вершиною і западиною зображення щілини і виробляють відповідні відліки розподілів h_1 і h_2 за шкалою сітки і шкалою барабанчика окулярного мікрометра. Величину нерівностей H_{\max} в мікронах обчислюють за формулою:

$$H_{\max} = 10 \cdot a \cdot \frac{1}{2N}, \quad (1)$$

де a – різниця відліків окулярного мікроскопа h_1 і h_2 ;

10 – ціна поділок барабана;

$\frac{1}{2N}$ – ціна поділок окулярного мікрометра (0,047).

Середнє арифметичне з найбільших віддалених відстаней від вершини виступу до дна западини профілю поверхні, мкм:

$$R_{m \max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n H_{\max i}, \quad (2)$$

де $H_{\max i}$ – відстань від вищої крапки i – го найбільшого виступу до базової лінії, що не перетинає профіль;

n – кількість вимірів, ≥ 5 .

Дані експериментів були сформовані в емпіричний ряд і поміщені в ПЕОМ, де за допомогою пакету «Microsoft Excel» були оброблені, а на їх основі одержані результати.

Проведена статистична обробка експериментальних даних на підставі якої було одержано рівняння регресії другого порядку, що адекватно описує процес, що відбувається в лакофарбовому покритті. Значущість коефіцієнтів регресії перевіряли за допомогою критерію Стюдента, а адекватність математичної моделі за допомогою критерію Фішера.

Математична модель має вигляд:

$$y_1 = 11,56 - 0,72x_1 + 0,016x_2 - 0,34x_3 - 0,35x_4 - 1,291x_1^2 - 0,598x_2^2 + 0,096x_3^2 - 0,533x_4^2 + 0,043x_1x_2 - 0,21x_1x_3 - 0,08x_1x_4 - 0,35x_2x_3 + 0,392x_2x_4 + 0,03x_3x_4. \quad (3)$$

За наслідками експериментальних даних була побудована графічна залежність зміни шорсткості від змінних чинників (рис. 1- 4).

Для розгляду окремого впливу кожного з одиничних чинників на вихідний параметр, необхідно виключити з рівняння регресії решту чинників, по черзі залишаючи той, що розглядається. Виключивши з рівняння y_1 змінні чинники x_2, x_3, x_4 одержимо рівняння:

$$y_1(x_1) = 11,56 - 0,72x_1 - 1,29x_1^2 \quad (4)$$

впливу кількості лаку, що вводиться у фарбувальний склад на шорсткість поверхні підкладки з деревини після нанесення складу.

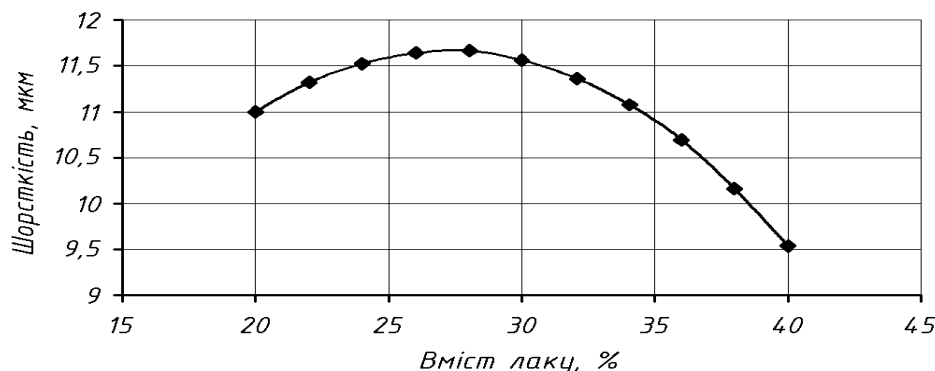


Рис. 1. Залежність зміни шорсткості поверхні від вмісту лаку, що вводиться у фарбувальний склад (початкова шорсткість деревної підкладки перед нанесенням фарбувальної композиції < 16 мкм)

На графіку (рис. 1) спостерігається шорсткість 10,99 мкм при вмісті лаку 20 %, дане зниження шорсткості деревної підкладки з 13 мкм до 10,99 мкм пояснюється формуванням на поверхні підкладки тонкої плівки лаку.

Збільшення вмісту лаку з 20 % до 28 % приводить до збільшення шорсткості з 10,99 мкм до 11,65 мкм. Невелике збільшення лаку приводить до збільшення часу сушки, збільшення часу знаходження складу в рідкому стані. Фарбувальна композиція, за рахунок адсорбції, проникає в порожнини перерізанних кліток,

судин деревини і на поверхні деревини залишається плівка лаку меншої товщини.

Збільшення вмісту лаку у фарбувальному складі з 28 до 40 % приводить до зменшення шорсткості до 9,55 мкм. Велика кількість лаку у фарбувальному складі приводить до заповнення перерізнаних порожнин кліток, судин, створюючи більш товсту плівку на поверхні деревної підкладки, закриваючи всі структурні нерівності.

Виключимо з рівняння y_1 змінні чинники x_1, x_3, x_4 . Отримаємо рівняння:

$$y_1(x_2) = 11,56 + 0,016x_2 - 0,598x_2^2 \quad (5)$$

впливу кількості пігментної пасти, введеної у фарбувальний склад, на шорсткість деревної підкладки після нанесення складу.

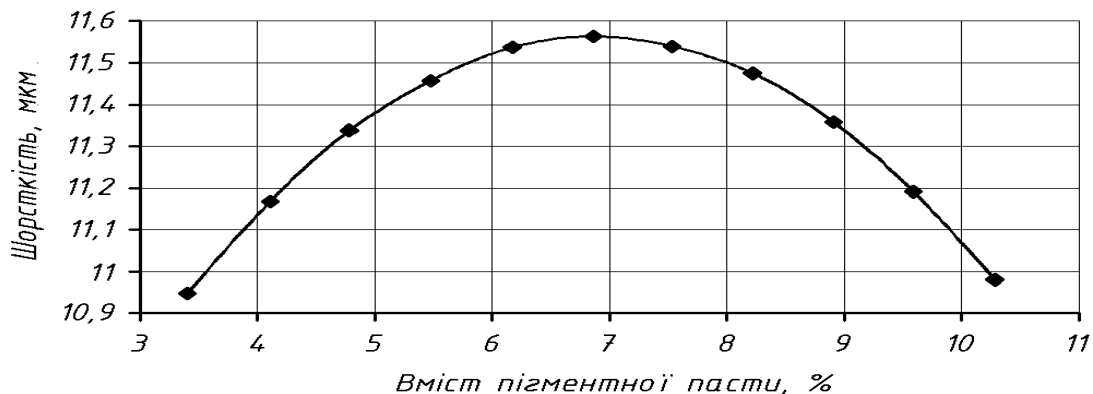


Рис. 2. Залежність зміни шорсткості поверхні від вмісту пігментної пасти, що вводиться у фарбувальний склад

На графіку (рис. 2) спостерігається шорсткість 10,94 мкм при вмісті пігментної пасти 3,42 %, і 11,56 мкм при вмісті пігментної пасти 6,84 %. Дану зміну шорсткості можна пояснити тим, що пігментна паста при малому вмісті (3,42 %) в складі заповнює лише западини в шорсткій поверхні. При збільшенні вмісту пігментної пасти до 6,84 % шорсткість збільшується за рахунок того, що пігментна паста заповнює не тільки западини поверхні, але і закриває виступи. При подальшому збільшенні вмісту пігментної пасти від 6,84 до 10,26 % шорсткість зменшується до 10,97 мкм. Це пов'язано з тим, що пігментна паста товстим шаром закриває западини і вершини шорсткої поверхні.

Виключимо рівняння y_1 змінні чинники x_1, x_2, x_4 . Одержимо рівняння:

$$y_1(x_3) = 11,56 - 0,34x_3 - 0,096x_3^2 \quad (6)$$

впливу витрати фарбувального складу на шорсткість деревної підкладки після його нанесення.

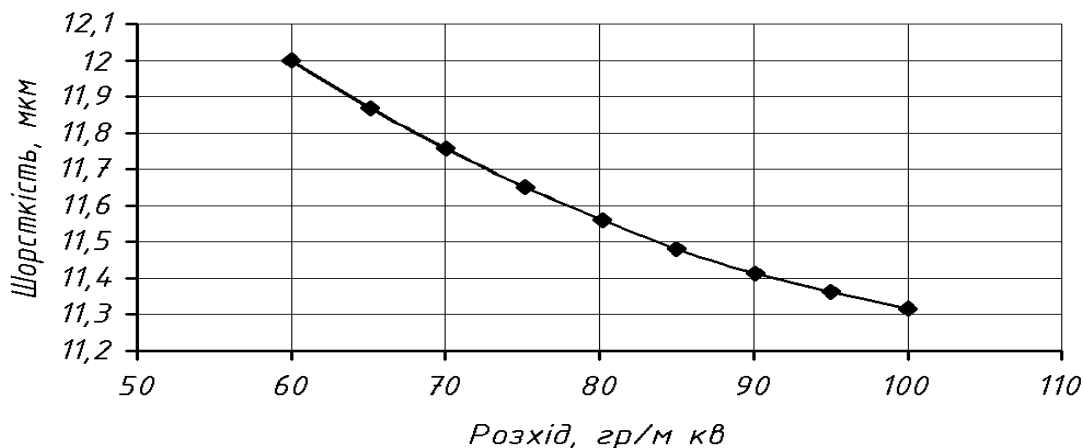


Рис. 3. Зміна шорсткості від витрати фарбувального складу

На графіку (рис. 3) спостерігається зменшення шорсткості від 11,99 мкм до 11,31 мкм із збільшенням витрати фарбувального складу від 60 до 100 г/м². Дане зниження шорсткості пояснюється тим, що велика кількість нанесеного на деревну підкладку складу, закриває шорсткість поверхні.

Виключимо з рівняння y_1 змінні чинники x_1, x_2, x_3 . Одержимо рівняння:

$$y_1(x_4) = 11,56 - 0,35x_4 - 0,533x_4^2 \quad (7)$$

впливу температури сушки фарбувального складу, на шорсткість деревної підкладки після його нанесення і сушки.

На графіку (рис. 4) спостерігається збільшення шорсткості з 11,37 до 11,61 мкм при збільшенні температури від 20 до 26 °С. Дану шорсткість можна пояснити тим, що швидкість сушки складу невисока і склад просочується в підкладку, трохи приховуючи шорсткість. При подальшому збільшенні температури до 40 °С шорсткість поверхні зменшується до 10,67 мкм. Зменшення шорсткості пояснюється тим, що швидкість сушки зростає і склад не встигає вбиратися в підкладку, висихаючи на поверхні, приховуючи

шорсткість деревної підкладки.

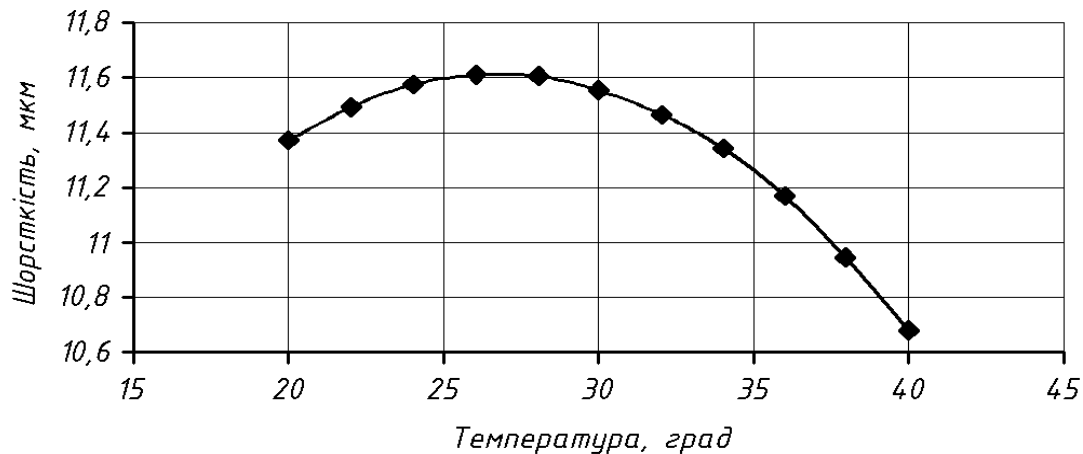


Рис. 4. Залежність зміни шорсткості поверхні від температури сушки фарбувального складу

Шорсткість деревної підкладки знижується після нанесення фарбувального складу, що видно з усіх графіків. Початкова шорсткість деревної підкладки ≤ 16 мкм після нанесення складу шорсткість знижується до 20-25 %.

Висновок. На підставі результатів проведення експерименту розроблені математичні моделі однокритерійної оптимізації параметрів фарбувальної композиції на основі алкідних смол для деревини, що адекватно описують процес, і мінімізують шорсткість поверхні деревини, величину дифузної складової кольору покриття, час сушки покриття; одержана модель максимізує величину проникнення фарбувального складу в деревину.

Застосування фарбувальної композиції на основі алкідних смол знижує шорсткість поверхні забарвленої деревини на 16-20 %. Шорсткість поверхні деревних підкладок до нанесення фарбувального складу складала < 16 мкм, а після нанесення 11,4 мкм. Зниження шорсткості відбувається за рахунок заповнення ґрунтлаком перерізаних порожнин кліток, судин, створюючи мікро плівку на поверхні деревної підкладки, закриваючи всі структурні нерівності.

Література

1. Доронин Ю.Г. Синтетические смолы в деревообработке / Ю.Г. Доронин, М.М. Свиткина. – М.: Лесная промышленность, 1979. – 98 с.
2. Газеев М.В. Теоретическое исследование процесса формирования защитно-декоративного покрытия на древесине с применением пропитывающего тонирующего состава на основе алкідних смол / М.В. Газеев // Технология древесных плит и пластиков. Межвуз. сборн. науч. трудов. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2004. С. 79-85.

Надійшла 7.11.2010 р.

УДК 677.03

Л.О. НЕСТЕРОВА, Г.С. САРІБЕКОВ

Херсонський національний технічний університет

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ СТИЧНИХ ВОД У ПРОЦЕСАХ ФАРБУВАННЯ АКТИВНИМИ БАРВНИКАМИ

У статті розглянуто способи очищення стічних вод після процесу фарбування текстильних матеріалів активними барвниками з метою їх повторного використання в технологічних процесах. Повторне використання очищених стічних вод після процесу фарбування текстильних матеріалів дозволить обмежити потрапляння шкідливих речовин у навколишнє середовище.

The article describes methods of sewage treatment process after dyeing textile materials active dyes for their reuse in the industrial processes. Reuse of treated wastewater after the process of dyeing textile materials will limit the harmful substances into the environment.

Ключові слова: активні барвники, фарбування, очищення стічних вод.

Вступ. Враховуючи досить складну ситуацію, що склалася на підприємствах текстильної промисловості України, велика увага приділяється енерго- і ресурсозберігаючим технологіям. У зв'язку із цим виникає необхідність у розробці технологій, які б не тільки знизили витрати хімічних матеріалів, але й водоспоживання виробництва.

Фарбувально-оздоблювальні підприємства відносять до витратних на водні ресурси. При цьому у водне середовище потрапляють стічні води, що містять барвники, неорганічні сполуки й поверхнево-активні речовини. Дані компоненти становлять велику небезпеку для живих організмів.

Світлове виробництво текстильних матеріалів використовує активні барвники з високими колористичними характеристиками й стійкістю до фізико-хімічних і фізико-механічних показників. Висока реакційна здатність активних барвників, забезпечуючи якість пофарбованим текстильним матеріалам, одночасно веде до протікання численних реакцій з речовинами, що містяться в стоках.

Відомо, що при фарбуванні активними барвниками 1 т целюлозних матеріалів у стічні води надходить 200-350 кг забруднень, у тому числі від 3,7 до 4,9 кг барвників. Аналіз літературних джерел і стану очищення стічних вод текстильних підприємств показує, що технологій з повторним використанням води в нашій країні не використовуються [1-3]. Невивченість даного питання веде до неможливості вибору раціонального методу очистки стічних вод та оптимальних параметрів технологічного процесу. Надзвичайна важкість знезараження стічних вод пов'язана з тим, що стоки які зливають текстильні підприємства містять токсичні та біологічно важкоокиснювальні речовини.

В зв'язку з цим постає питання про раціональне використання стічних вод, яке досягається впровадженням замкнених систем водовикористання. При цьому стічні води очищуються та повертаються безпосередньо в технологічний процес.

Рішення даної проблеми можливе шляхом впровадження на фарбувально-оздоблювальних підприємствах раціональних способів очищення стічних вод, що дозволяють очищувати стоки й повторно повертати їх у технологічний процес. З метою підвищення ефективності й зниження витрат на процес очищення стічних вод від активних барвників необхідно, по-перше, впровадження локального очищення стоків. Це дозволить зменшити об'єми оброблюваної води, і, по-друге, використовувати комплекс методів, як для знебарвлення розчинів, так і для водопідготовки з метою наступного повернення води у виробничий процес.

Застосування замкнених схем водопостачання підприємств із багаторазовим використанням води у виробництві й створення оборотних систем, що включають локальне очищення найбільш забруднених стічних вод, також дають можливість різко скоротити кількість стоків, що надходять на загальні очисні спорудження.

Багатокомпонентний склад стічних вод утруднює розробку універсальної технології, яка була б придатна для всіх галузей промисловості. В зв'язку з цим тільки локальне очищення з врахуванням складу стоків забезпечить достатньо ефективну обробку стічних вод.

Основний розділ. Мета даної роботи полягала в розробці технології багаторазового використання очищених стічних вод у процесах фарбування бавовняних тканин активними барвниками.

Експериментальна частина. Для досліджень використовували активні барвники фірми «SOLAR FINE CHEMICAL»: Yellow SP – 3R, Yellow HE – 4RW, Red SP – 3B, Red HE – 7B, Navy blue SP – BR, Blue HE – RD. Для одержання стічних води у лабораторних умовах здійснювали фарбування бавовняної тканини активними барвниками при модулі 1:30 періодичним способом за технологією, рекомендованою виробником.

Стічні води піддавали очищенню двома способами: сорбційним та іонообмінним. Ступінь очищення стічних вод аналізували за наступними показниками: вміст хлорид-, сульфат-іонів, катіонів кальцію. Очищені стічні води використовували для процесів фарбування двічі, і відповідно, водовикористання у лабораторних умовах складало три цикли.

У таблиці 1 представлені результати аналізу очищених стічних вод після фарбування активними барвниками Yellow SP – 3R, Yellow HE – 4RW. Встановлено, що після першого циклу водоспоживання для процесу фарбування активним Yellow SP – 3R концентрація іонів хлору досягала 568 мг/л при іонообмінному способі і 258 мг/л після застосування сорбційного способу. Однак, після другого циклу, спостерігається тенденція до підвищення кількості хлорид-іонів в очищених стічних водах. Після третього циклу величина досягала максимального значення у випадку сорбційного способу - 756 мг/л при ГДК 700 мг/л. Концентрація сульфат-іонів після всіх циклів перебувала в межах від 417 до 458 мг/л. Вміст катіонів кальцію не перевищував ГДК.

Таблиця 1

Показники якості очищених стічних вод після процесу фарбування барвниками: Yellow SP – 3R, Yellow HE – 4RW

№	Показники якості	ГДК	Очищення іонообмінним способом			Очищення сорбційним способом		
			1 цикл	2 цикл	3 цикл	1 цикл	2 цикл	3 цикл
Yellow SP – 3R								
1	Вміст катіонів кальцію, мг/л	450	200	284	320	258	268	270
2	Вміст хлорид-іонів, мг/л	700	568	615	640	426	563	756
3	Вміст сульфат-іонів, мг/л	500	417	420	465	436	440	458
Yellow HE – 4RW								
1	Вміст катіонів кальцію, мг/л	450	71	200	450	370	395	430
2	Вміст хлорид-іонів, мг/л	700	570	586	652	462	581	600
3	Вміст сульфат-іонів, мг/л	500	436	450	458	449	456	459

Проведені дослідження якості очищеної води при фарбуванні активним Yellow HE – 4RW показують, що вміст іонів хлору збільшується після кожного циклу водовикористання. Після третього циклу концентрація іонів хлору складає 652 і 600 мг/л після очищення іонообмінним і сорбційним способом відповідно. Вміст сульфат-іонів - 436-459 мг/л, що перебуває в межах ГДК. Результати свідчать про підвищення концентрації іонів кальцію, яке може негативно вплинути на якість пофарбованого текстильного матеріалу.

Якісні показники очищених стічних вод після фарбування Red SP – 3B, Red HE – 7B представлено в таблиці 2. У всіх випадках вміст іонів хлору не перевищує 690 мг/л. Концентрація сульфат-іонів при сорбційному і іонообмінному способах досягає 440-460 мг/л. Підвищення вмісту катіонів кальцію спостерігається після третього циклу водовикористання, що може спричинити зниження якості пофарбованих текстильних матеріалів.

Таблиця 2

Показники якості очищених стічних вод після процесу фарбування барвниками: Red SP – 3B, Red HE – 7B

№	Показники якості	ГДК	Очищення іонообмінним способом			Очищення сорбційним способом		
			1 цикл	2 цикл	3 цикл	1 цикл	2 цикл	3 цикл
Red SP – 3B								
1	Вміст катіонів кальцію, мг/л	450	140	160	350	410	412	423
2	Вміст хлорид-іонів, мг/л	700	568	584	650	410	530	568
3	Вміст сульфат-іонів, мг/л	500	449	452	456	449	450	458
Red HE – 7B								
1	Вміст катіонів кальцію, мг/л	450	160	160	330	108	120	247
2	Вміст хлорид-іонів, мг/л	700	607	680	690	359	367	400
3	Вміст сульфат-іонів, мг/л	500	440	448	456	446	452	460

Аналіз якості стічних вод, одержаних при фарбуванні текстильних матеріалів Navy blue SP – BR, Blue HE – RD (таблиця 3), показують, що всі досліджувані показники перебувають у межах норм, передбачених стандартами. У випадку очищення сорбційним способом вміст катіонів кальцію після першого циклу водовикористання досягає 800 мг/л, другого й третього циклу - 760 і 722 мг/л відповідно.

Таблиця 3

Показники якості очищених стічних вод після процесу фарбування барвниками Navy blue SP – BR, Blue HE – RD

№	Показники якості	ГДК	Очищення іонообмінним способом			Очищення сорбційним способом		
			1 цикл	2 цикл	3 цикл	1 цикл	2 цикл	3 цикл
Navy blue SP – BR								
1	Вміст катіонів кальцію, мг/л	450	320	360	420	360	372	380
2	Вміст хлорид-іонів, мг/л	700	320	470	490	106	265	315
3	Вміст сульфат-іонів, мг/л	500	445	457	460	448	453	459
Blue HE – RD								
1	Вміст катіонів кальцію, мг/л	450	240	400	420	280	352	380
2	Вміст хлорид-іонів, мг/л	700	231	312	455	235	263	280
3	Вміст сульфат-іонів, мг/л	500	447	450	453	438	440	452

Таким чином, досліджені способи очищення доцільно застосовувати для використання очищених стічних вод двічі. Фарбування текстильних матеріалів активними барвниками на третинних водах приведе до погіршення якості використовуваної води і як результат до значного зниження якості пофарбованих тканин.

Одним з основних критеріїв технологічної доцільності повернення очищених стічних вод у процес фарбування текстильних матеріалів є показник вибираємості барвника. Отримані нами дані, свідчать, про те, що при багаторазовому використанні стічних вод сорбційного та іонообмінного способів значно знижується вибираємість барвника на третьому циклі водовикористання [4].

У зв'язку із цим виникає необхідність для багаторазового використання води вводити багатостадійне очищення, з метою видалення неорганічних аніонів і катіонів, що входять до складу фарбувальних ван. У такий спосіб очищення стічних вод здійснювали комплексно в три стадії. Після подвійного очищення аніонітом і очищення катіонітом, аналізували воду на вміст якісних показників.

**Показники якості стічних вод після комплексного очищення
іонообмінним способом Navy blue SP – BR, Blue HE – RD**

	Показники якості	ГДК	Комплексне очищення іонообмінним способом	
			Цикл водовикористання	
			I	II
Navy blue SP – BR				
1	Вміст катіонів кальцію, мг/л	450	150	200
2	Вміст хлорид-іонів, мг/л	700	201	420
3	Вміст сульфат-іонів, мг/л	500	201	236
Blue HE – RD				
1	Вміст катіонів кальцію, мг/л	450	120	200
2	Вміст хлорид-іонів, мг/л	700	219	420
3	Вміст сульфат-іонів, мг/л	500	212	253

Результати досліджень (таблиця 4) свідчать про те, що комплексне очищення дозволяє зменшити вміст катіонів кальцію до 200 мг/л. Концентрація іонів хлору після першого циклу водовикористання становить 200-219 мг/л, після другого циклу – 420 мг/л. Вміст сульфат-іонів зменшується в 2 рази, ніж при використанні сорбційного або одностадійного іонообмінного способу й досягає 200-253 мг/л.

Висновки. Розроблена технологія повторного використання стічних вод у процесах фарбування текстильних матеріалів активними барвниками. Для багаторазового використання очищених вод рекомендується комплексне очищення іонообмінним способом.

Локальне очищення стоків з наступним поверненням у технологічний процес забезпечить зниження витрат на споживання водних ресурсів, скидання стічних вод у водні об'єкти, а також обмежить потрапляння шкідливих речовин у навколишнє середовище.

Література

1. Мальований М.С. Адсорбційне очищення стоків від синтетичних барвників. Технологічні аспекти / Мальований М.С., Леськів Г.С., Петрушка І.М., Одноріг З.С. // Хімічна промисловість України. – 2007. – №3. – С.49.
2. Запольский А.К. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод/ Запольский А.К., Мішкова-Клименко Н.А., Астрелін І.М., Брик Т.М., Гвоздяк І.П., Князькова Т.В. . – К.: Лібра, 2000. – 552с.
3. Исаев А.В. Влияние давления кислорода на электрохимическую очистку сточных вод от органических красителей / Исаев А.В., Алиев З.М., Расулова Ш.У. // Текстильная промышленность. – 2008. – № 4. – С.12-15.
4. Нестерова Л.А. Эффективность использования оборотных систем водопотребления на текстильных предприятиях / Нестерова Л.А., Сарибеков Г.С. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2010. – № 4/8 (46). – С. 25-28.

Надійшла 22.11.2010 р.

УДК 685.34.054

А.К. КАРМАЛІТА, Д.М.ЯКИМЧУК
Хмельницький національний університет**МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО
ВИРУБУВАЛЬНОГО ПРЕСА КОНСОЛЬНОГО ТИПУ**

Авторами проведено аналіз характеру дії сил, що виникають під час виконання процесу вирубування в системі пресове обладнання-різак-матеріал-плита на основі якого побудовано математичну модель електрогідрравлічного преса консольного типу

The authors are conducted the analysis character of action of forces which arise up during implementation of process of felling in the system press equipment-cutter-material-flag on the basis which is built the mathematical model of electro-hydraulic press of console type.

Ключові слова: електрогідрравлічний прес, пресове обладнання, математична модель, вирубування.

Постановка проблеми. На сьогодні актуальним завдання є підвищення якості виконання різних операцій і покращення енергоефективності на вже існуючому обладнанні без внесення суттєвих змін в його конструкцію. Однак, таке покращення вимагає досконалого знання операції і обладнання, а також наявності резервів модернізації.

При дослідженні різного обладнання важливим аспектом постає розробка математичних моделей, які з високою достовірністю описують всі перехідні процеси, що відбуваються під час вирубування.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Аналіз умов роботи електрогідрравлічних пресів консольного типу показав, що під час вирубування елементи їх конструкцій сприймають значні навантаження, що призводить до погіршення якості вирубування, передчасного виходу з ладу інструмента і виникнення різних несправностей [3– 7]. В зв'язку з цим виникає необхідність розробки математичної моделі, яка враховувала б зазначені моменти.

Формулювання мети

Для врахування всіх сил, що виникають в системі “пресове обладнання– різак– матеріал– плита”, а також з метою мінімізації потужності електродвигуна потрібно розробити математичну модель електрогідрравлічного преса консольного типу під час виконання технологічної операції вирубування з врахуванням системи “електродвигун– маховик– насос”.

Виклад основного матеріалу

Основним виконавчим механізмом електрогідрравлічного вирубувального преса консольного типу є скалка з ударником. Моделювання процесу руху скалки з ударником є досить важливим завданням. Потрібно проаналізувати сили, які діють на прес під час виконання операції вирубування.

Нижче проаналізовано сили, що виникають в системі пресове обладнання-різак-матеріал-плита під час виконання технологічної операції вирубування (рис. 1).

Усі сили умовно поділено на дві групи. До першої групи віднесено сили, які забезпечують рух скалки з ударником під час виконання операції вирубування. До другої групи віднесено сили, які перешкоджають руху ударника.

Рушійними силами є сила тиску масла на дно гідроциліндра скалки F_p , а також вага скалки з ударником та інших, пов'язаних з ними рухомих мас G .

До сил, які перешкоджають руху ударника належать: сила опору повітря F_{on} , яке закачується під тиском через ніпель у порожнину скалки над поршнем і призначене для підйому ударника після завершення технологічної операції вирубування; сили тертя $F_{тр}$, які виникають в направляючих скалки та ущільненнях поршня.

Сила інерції $F_{ін}$ на ділянці руху ударника до контакту з різакком до точки x_2 є силою опору і має від'ємне значення. Після контакту з різакком, коли починається виконання технологічної операції вирубування, сила $F_{ін}$ стає рушійною силою до точки x_3 .

Сила вирубування $F_{вир}$, яка виникає під час виконання даної технологічної операції, є корисною силою опору [1].

Під час складання математичної моделі процесу вирубування на електрогідрравлічному пресовому обладнанні було прийнято наступні припущення: насос за одиницю часу забезпечує постійну продуктивність; температура і в'язкість рідини в гідросистемі не змінюються протягом всього часу роботи преса; температура в порожнині над скалкою постійна.

Враховуючи вплив усіх проаналізованих вище сил, які діють на прес, запишемо умову виконання технологічної операції вирубування наступним чином:

$$F_p \geq -F_{in} + F_{on} + F_{mp} + F_{вир} - G . \quad (1)$$

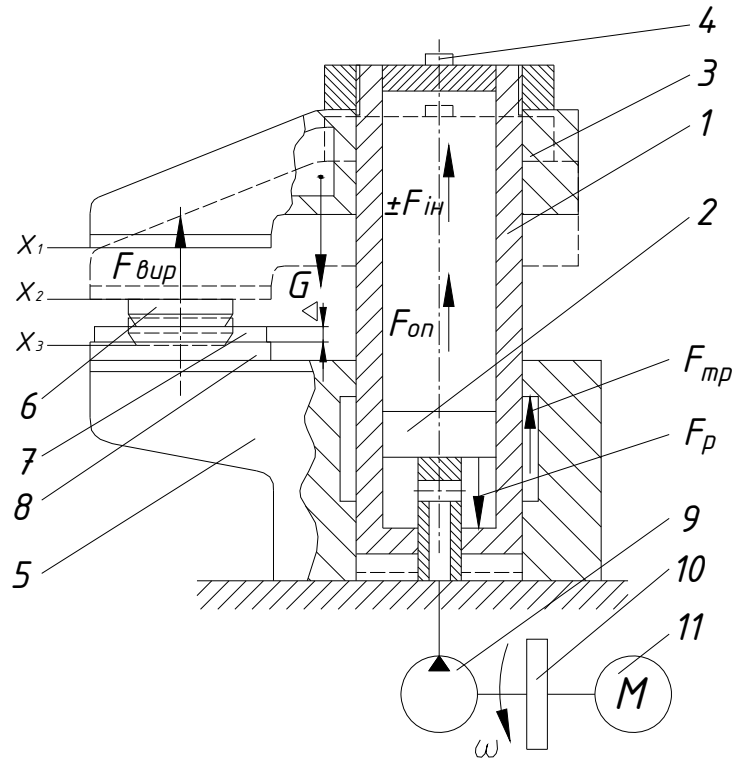


Рис. 1. Схема дії сил, що виникають в електрогідравлічному пресовому обладнанні під час виконання технологічної операції вирубання: 1 – скалка; 2 – поршень; 3 – ударник; 4 – повітряний клапан; 5 – станина преса; 6 – різак; 7 – матеріал; 8 – вирубувальна плита; 9 – насос; 10 – маховик; 11 – електродвигун; Δ – товщина матеріалу; X_1 – координата початку руху ударника; X_2 – координата початку вирубання; X_3 – координата завершення вирубання; ω – кутова швидкість маховика; $F_{вир}$ – сила вирубання; G – вага ударника; F_{in} – сила інерції; F_{on} – сила опору повітря; F_p – рушійна сила; F_{mp} – сили тертя

Сила тертя F_{mp} враховує опір від тертя скалки об ущільнення поршня, а також об направляючу станини.

Запишемо силу тертя F_{mp} наступним чином [2]:

$$F_{mp} = \sum F_{mp} = F_{mp1} + F_{mp2}, \quad (2)$$

де F_{mp1} – сила тертя скалки об ущільнення поршня;

F_{mp2} – сила тертя об направляючу станини.

Тоді робота від сил тертя отримає вигляд:

$$A_{mp} = \int_0^{x_{px}} (F_{mp1} + F_{mp2}) \cdot dx, \quad (3)$$

де x_{px} – хід ударника.

Робота сил ваги рухомих частин пресового обладнання визначається за відомою залежністю [2]:

$$A_{ваги} = \int_0^{x_{px}} m \cdot g \cdot dx, \quad (4)$$

де m – маса рухомих частин електрогідравлічного пресового обладнання;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,8 \text{ м/с}^2$.

Робота сил інерції знаходиться наступним чином [2, 3]:

$$A_{in} = \int_0^{x_{px}} m_n \cdot a \cdot dx, \quad (5)$$

де m_n – маса деталей, які переміщуються разом з ударником, приведена до робочого циліндра (циліндра скалки);

a – прискорення деталей, що переміщуються разом з ударником.

Для визначення сили опору повітря F_{on} розглянемо тиск повітря в порожнині скалки над поршнем і умовно поділимо на два можливих етапи: стан до моменту початку руху ударника гідроциліндра скалки (px_1); рух ударника гідроциліндра скалки після моменту його контакту з різаком аж до завершення повного прорубування матеріалу (px_2).

За законом Бойля-Маріотта [2] при незмінній температурі t і масі m повітря можна записати наступне рівняння (рис. 2.):

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2, \quad (6)$$

де p_1, V_1 – тиск та початковий об'єм стисненого повітря (px_1);

p_2, V_2 – тиск та об'єм стисненого повітря після вирубання (px_2).

Виразимо з рівняння (6) тиск робочого ходу гідроциліндра скалки p_2 :

$$p_2 = \frac{p_1 \cdot V_1}{V_2}. \quad (7)$$

Враховуючи рівняння (6) і (7), запишемо вираз для визначення сили опору повітря під час виконання робочого ходу:

$$F_{on} = \frac{p_1 \cdot H_1 \cdot S}{H_2}, \quad (8)$$

де S – площа поршня гідроциліндра скалки.

Остаточний вираз для визначення роботи сили опору повітря отримає вигляд:

$$A_{on} = \int_0^{x_{px}} \frac{p_1 \cdot H_1 \cdot S}{H_2} \cdot dx. \quad (9)$$

Для побудови математичної моделі потрібно розглянути повну роботу привода преса. Для цього необхідно врахувати роботу, яку виконує електродвигун і маховик.

Повна робота привода в процесі виконання технологічної операції вирубання має вигляд [4,5]:

$$A_n = A_m + A_{дв}, \quad (10)$$

де A_n – повна робота привода;

A_m – робота, яку виконує маховик;

$A_{дв}$ – робота, яку виконує електродвигун.

Роботу, яку виконує маховик, можна записати наступним чином [6]:

$$A_m = \frac{1}{2} \cdot J(\omega_1^2 - \omega_2^2), \quad (11)$$

де J – момент інерції обертових мас привода;

ω_1 – кутова швидкість до початку робочого циклу;

ω_2 – кутова швидкість в кінці робочого ходу.

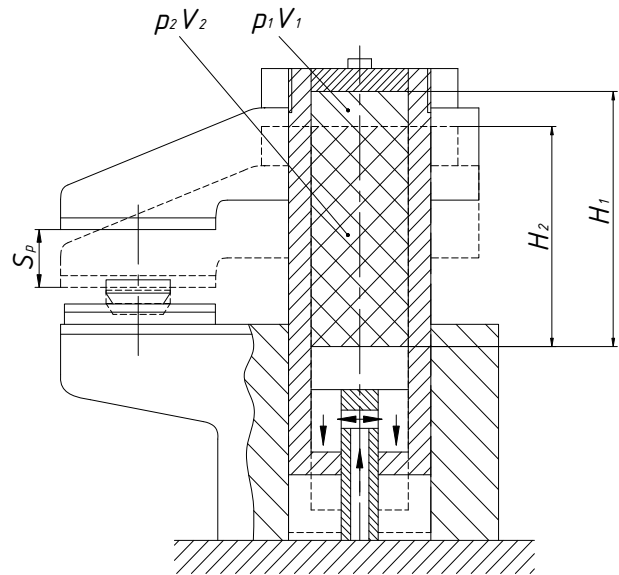
Роботу, яку виконує електродвигун, запишемо наступним чином [4]:

$$A_{дв} = \int_0^{\varphi_1} M \cdot d\varphi, \quad (12)$$

де M – обертовий момент електродвигуна;

φ – кут повороту вала електродвигуна.

Підставивши рівняння (11) і (12) в рівняння (10) отримаємо остаточний вираз для визначення повної



роботи приводу:

$$A_n = \frac{1}{2} \cdot J(\omega_1^2 - \omega_2^2) + \int_0^{\varphi_1} M \cdot d\varphi. \quad (13)$$

Для врахування усіх динамічних навантажень, які виникають в системі “пресове обладнання– різак– матеріал– плита” потрібно також враховувати роботу преса на вирубування. Тому рівняння (10) отримає вигляд:

$$A_{вир} = A_M + A_{дв}, \quad (14)$$

де $A_{вир}$ – робота преса на вирубування.

Корисна робота, яка витрачається пресом на вирубування визначається за відомою залежністю [7]:

$$A_{вир} = \int_0^{x_{px}} P \cdot dx, \quad (15)$$

де P – зусилля, яке створює прес.

Зусилля, яке створює прес, P є рушійною силою F_p , що виникає в гідроциліндрі скалки. Рушійна сила, яка створюється тиском масла в порожнині скалки розширює її і опускає скалку разом з ударником вниз. Вона повинна бути такою, щоб подолати такі сили: вирубування $F_{вир}$, опору повітря $F_{он}$, інерції $F_{ин}$ та тертя $F_{тер}$.

Відомо [7,8], що рушійна сила F_p , яка створюється тиском масла на дно гідроциліндра скалки вирубувального преса, визначається за наступною залежністю:

$$F_p = k_{\epsilon} \cdot p \cdot \frac{\pi \cdot (d_{св}^2 - d_{ум}^2)}{4}, \quad (16)$$

де k_{ϵ} – узагальнений коефіцієнт витрат ($k_{\epsilon} = 0,5-0,9$);

p – тиск, що діє на дно гідроциліндра скалки;

$d_{св}$ – внутрішній діаметр гідроциліндра скалки;

$d_{ум}$ – діаметр штока.

Як відомо, вирубування під час робочого ходу здійснюється одночасною дією кінетичної енергії ударника і енергією тиску масла [9]:

$$A_{вир} = E + s \cdot \int_0^{x_{px}} p_{ц} \cdot dx, \quad (17)$$

де E – кінетична енергія ударника;

s – площа поршня робочого циліндра;

$p_{ц}$ – тиск масла в робочому циліндрі.

Кінетична енергія ударника E визначається за наступною залежністю:

$$E = \frac{m_y \cdot V^2}{2}, \quad (18)$$

де m_y – маса ударника;

V – швидкість руху ударника в момент початку вирубування.

З рівняння (17) видно, що вираз енергії тиску масла E – рушійна сила F_p . Тоді запишемо рівняння (17) з врахуванням (16) і (18). Одержимо вираз для визначення корисної роботи вирубування:

$$A_{вир} = \frac{m_y \cdot V^2}{2} + \int_0^{x_{px}} k_{\epsilon} \cdot p \cdot \frac{\pi \cdot (d_{св}^2 - d_{ум}^2)}{4}, \quad (19)$$

Існує рівняння, для визначення сили вирубування $F_{вир}$ залежно від технологічних параметрів процесу вирубування та динамічних процесів, що виникають в системі “різак– матеріал– плита” [10]:

$$F_{вир} = k_v \cdot L \cdot [P_{он} \cdot k_3 + 2 \cdot t \cdot \sigma_{см}(f + tg\beta)], \quad (20)$$

де k_v – коефіцієнт динамічності

L – периметр деталі, що вирубується;

$P_{он}$ – сила пружного опору матеріалу, яка залежить від пружних властивостей матеріалу, радіуса

заокруглення вістря леза різачка, величини зношення різачка, а також нерівностей його поверхні;

k_3 – коефіцієнт, який враховує величину зношення вістря леза різачка в процесі експлуатації;

t – глибина занурення різачка в матеріал;

σ_{cm} – розподілене навантаження на грані леза різачка, яке дорівнює тимчасовому опору матеріалу на стискання;

f – коефіцієнт тертя між вістрям леза різачка і матеріалом;

β – кут загострення леза різачка.

Підставимо рівняння (7), (8), (9), (20) в рівняння (1) враховуючи (14). Отримаємо ще один вираз для визначення роботи вирубування з врахуванням всіх сил, що виникають в системі "пресове обладнання–різач–матеріал–плита":

$$A_{вир} = \int_0^{x_{px}} k_v \cdot L \cdot [P_{on} \cdot k_3 + 2 \cdot t \cdot \sigma_{cm} (f + tg\beta)] - \int_0^{x_{px}} m_n \cdot a \cdot dx + \int_0^{x_{px}} F_{on} \cdot dx + \int_0^{x_{px}} (F_{mp1} + F_{mp2}) \cdot dx - \int_0^{x_{px}} m \cdot g \cdot dx \quad (21)$$

Під час виконання технологічної операції вирубування потрібно враховувати не тільки кінетичну енергію маховика, енергію тиску масла, роботу маховика і електродвигуна, але й обидва отриманих вирази, для визначення роботи преса на вирубування. Тому, враховуючи всі рівності, описані вище, можна записати наступну систему рівнянь:

$$\begin{cases} \frac{1}{2} \cdot J(\omega_1^2 - \omega_2^2) + \int_0^{\varphi_1} M \cdot d\varphi = \frac{m_y \cdot V^2}{2} + \int_0^{x_{px}} k_e \cdot p \cdot \frac{\pi \cdot (d_{cv}^2 - d_{um}^2)}{4}; \\ \frac{1}{2} \cdot J(\omega_1^2 - \omega_2^2) + \int_0^{\varphi_1} M \cdot d\varphi = \int_0^{x_{px}} k_v \cdot L \cdot [P_{on} \cdot k_3 + 2 \cdot t \cdot \sigma_{cm} (f + tg\beta)] - \\ \int_0^{x_{px}} m_n \cdot a \cdot dx + \int_0^{x_{px}} F_{on} \cdot dx + \int_0^{x_{px}} (F_{mp1} + F_{mp2}) \cdot dx - \int_0^{x_{px}} m \cdot g \cdot dx \end{cases} \quad (22)$$

Система рівнянь (22) є математичною моделлю технологічного процесу вирубування на електрогідравлічному пресовому обладнанні, що враховує властивості матеріалу, параметри інструмента, швидкість вирубування, енергетичні та силові показники електрогідравлічного пресового обладнання, а також дозволяє аналітично описати процеси, які відбуваються в системі "пресове обладнання–різач–матеріал–плита".

Проінтегрувавши систему рівнянь (22), отримаємо кінцеву математичну модель електрогідравлічного вирубувального преса консольного типу:

$$\begin{cases} \frac{J}{2} \cdot (\omega_1^2 - \omega_2^2) + M \cdot \varphi_1 = \frac{m_y \cdot V^2}{2} + k_e \cdot p \cdot \frac{\pi \cdot (d_{cv}^2 - d_{um}^2)}{4} \cdot x_{px}; \\ \frac{J}{2} \cdot (\omega_1^2 - \omega_2^2) + M \cdot \varphi_1 = k_v \cdot L \cdot [P_{on} \cdot k_3 + 2 \cdot t \cdot \sigma_{cm} (f + tg\beta)] \cdot x_{px} - \\ - m_n \cdot a \cdot x_{px} + F_{on} \cdot x_{px} + (F_{mp1} + F_{mp2}) \cdot x_{px} - m \cdot g \cdot x_{px} \end{cases} \quad (23)$$

Система рівнянь (23) розв'язується при відомих величинах факторів, які визначають конструктивні та енергетичні параметри пресового обладнання, технологічні параметри різачка і матеріалу, швидкість вирубування.

Висновки: розроблено математичну модель технологічної операції вирубування на електрогідравлічному пресовому обладнанні консольного типу з врахуванням системи "електродвигун–маховик–насос", яка враховує властивості матеріалу, параметри інструмента, швидкість вирубування, енергетичні та силові показники вирубувальних пресів, а також дозволяє аналітично описати процеси, які відбуваються в системі "пресове обладнання–різач–матеріал–плита" з можливістю мінімізації потужності двигуна.

Література

1. Поліщук О. С. Підвищення ефективності застосування пресового обладнання в легкій

промисловості: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.10 «Машини легкої промисловості» / О. С. Поліщук. – К.: КНУТД, 2001. – 155 с.

2. Справочник по физике / [под ред. Б. М. Яворского и А. А. Детлафа]. – М.: Наука, 1964. – 847 с.

3. Колосков В. И. Оборудование и механизация обувного производства: [учебник] / В. И. Колосков, Б. П. Колясин. – М.: Легкая индустрия, 1979. – 320 с.

4. Харизоменов И. В. Электрооборудование кузнечно-штамповочных машин: [учебник для вузов] / Харизоменов И. В. – М.: Высшая школа, 1970. – 185 с.

5. Живов Л. И. Кузнечно-штамповочное оборудование / Живов Л. И., Овчинников А. Г., Складчиков Е. Н. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 560 с.

6. Бочаров Ю. А. Кузнечно-штамповочное оборудование: [учебник для студ. высш. учеб. заведений] / Бочаров Ю. А. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 480 с.

7. Добринский Н. С. Гидравлический привод прессов / Добринский Н. С. – М.: Машиностроение, 1975. – 222 с.

8. Кармаліта А. К. Методика математичного моделювання технології та механізмів легкої промисловості: [навч. посібник] / Кармаліта А. К., Піскорський Г. А., Скиба М. Є. – К.: ІЗМН, 1997. – 184 с.

9. Проектирование и расчет машин обувных и швейных производств: учеб. пособие для вузов / [Комиссаров А. И., Жуков В. В., Никифоров В. М., Сторожев В. В.]. – М.: Машиностроение, 1978. – 431 с.

10. Прибега Д. В. Удосконалення технології розкroювання та перфорування деталей верху взуття: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.19.06 «Технологія взуттєвих та шкіряних виробів» / Д. В. Прибега. – Хмельницький: Хмельницький національний університет, 2006. – 155 с.

Надійшла 5.11.2010 р.

УДК 621.785: 620.178

Н.С. СВИРНЕВСКИЙ, Т.К. СКРИПНИК
Хмельницкий национальный университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕОРИИ ПАРАМЕТРИЗАЦИИ ПРИ ПОСТАНОВКЕ ЗАДАЧИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ

Изложена методика подачи материала по постановке задачи геометрического моделирования объектов с использованием теории параметризации студентам направления компьютерных наук.

The technique of presenting the material on the formulation of the problem of geometric modeling of the objects using the theory parameterization areas of computer science students

Ключевые слова: теория параметризации, геометрическое моделирование.

Постановка проблемы. Постановка задачи геометрического моделирования требует описания данных на входе и выходе, а также алгоритма (рис. 1).

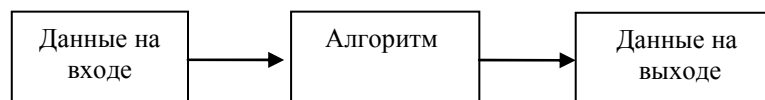


Рис. 1. Алгоритмическая обработка данных

Постановка задачи, по сути, является и ее решением и доказать корректность постановки задачи можно путем фактического описания процесса. Описание процесса может быть весьма сложным и не всегда завершается успешно – решение в первоначальной постановке может отсутствовать или оказаться неоднозначным.

Элементы теории параметризации позволяют осуществить постановку задачи геометрического моделирования еще до того, когда известен алгоритм ее решения. При этом методы теории параметризации позволяет корректно выбирать данные на входе и выходе, а также оценивать однозначность или многозначность решения задачи еще до описания алгоритма.

Анализ последних исследований и публикаций. В ряде публикаций, например [1, 2], описаны теоретические основы решения различных проблем с помощью теории параметризации. С развитием информационных технологий элементы теории параметризации находят свое дальнейшее применение.

Формулирование цели статьи. Специфика использования элементов теории параметризации при постановке задачи компьютерного моделирования требует изложения материала с учетом алгоритмического и объектно-ориентированного подхода к решению задач.

Изложение основного материала. Параметры – независимые числовые величины, которые позволяют выделить геометрический объект из n -параметрического множества объектов в заданной системе параметризации (рис. 2).

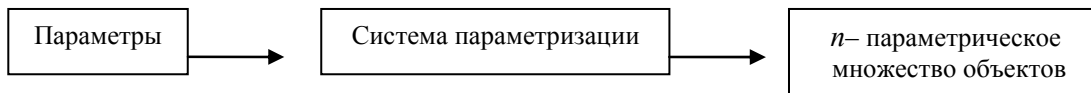


Рис 2. Параметрическая обработка данных

n – параметрическое множество – множество объектов, для выделения одного из которого необходимо связать n параметров. Понятие степени свободы связано с таким понятием, как размерность. В математике размерность – это количество независимых параметров, необходимых для описания состояния объекта, или, другими словами, для определения его положения в некоем абстрактном пространстве.

Система параметризации – совокупность заданных геометрических элементов (примитивов) и геометрических условий, которые ставят в соответствие каждому объекту набор параметров.

Основы метода параметризации (определение параметрического множества точек). Точки могут формировать одномерную линию. Линия, перемещаясь в пространстве, формирует двумерную поверхность. Поверхность, повторяясь в пространстве, образует трехмерный объем. Переходя на параметрическую терминологию, можно увеличивать размерность точечного множества (T^k) за счёт высвобождения параметров. Например, вращая (рис. 3) точку (T^0) вокруг центра (параметр – угол φ) получаем окружность (T^1). Перемещаем окружность (T^1) в направлении, перпендикулярно к ее плоскости, получаем цилиндрическую поверхность (T^2). Если одновременно с этим изменять радиус окружности r , получаем множество T^3 .

Пример последовательного перехода от точки к окружности, цилиндру и пространству демонстрируют так называемый кинематический способ определения точечного множества. Согласно ему, точечное множество T^k можно задавать, как однопараметрическое множество объектов точечного множества T^{k-1} . Поверхность можно рассматривать как однопараметрическое множество линий, а точечное множество T^3 – как однопараметрическое множество поверхностей. Точечное множество T^3 можно, также, рассматривать как двухпараметрическое множество линий. Так, если при перемещении окружности вдоль оси меняется и радиус, то получаем точечное множество.

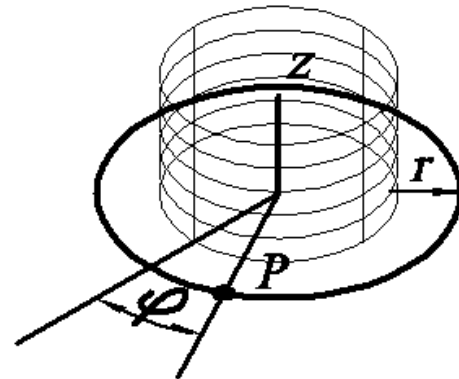


Рис 3. Изменение размерности точечного множества

От точечного множества большей размерности можно перейти к точечному множеству меньшей размерности, связывая точки множества какими-либо геометрическими условиями.

Каждое из заданных точечных множеств T^k может рассматриваться как пространство R^n ($n = k$), в котором могут определяться точечные подмножества с размерностью $k < n$, причем, размерность пространства n равна минимальной размерности заданного точечного множества, в котором находятся точки определяемого подмножества. Определение точечного подмножества T^k в пространстве R^n ($k < n$) реализуется через условие принадлежности этому подмножеству, которое связывает $(n - k)$ параметров. В случае принадлежности точек определяемого подмножества двум и более заданным множествам количество связываемых параметров суммируется. Так, при пересечении 2-х множеств с размерностью k_1 и k_2 образуется точечное множество с размерностью k , определяемой из соотношения

$$n - k = (n - k_1) + (n - k_2). \quad (1)$$

При $k < 0$ получаем пустое множество точек.

Для демонстрации описанного способа рассмотрим предыдущий пример (рис. 3) в обратном порядке. Цилиндрическая поверхность с нефиксированным радиусом (множество T^3) представляет пространство R^3 . Связывая параметр $r = r_0$, определяем цилиндр (множество T^2). Связывая параметр $z = z_0$, определяем плоскость (множество T^2). При пересечении цилиндра и плоскости получаем окружность (множество T^1). Задаем в плоскости (пространстве R^2) прямую (множество T^1), проходящую из центра под углом $\varphi = \varphi_0$, на пересечении с окружностью определяем точку (множество T^0).

Т.о., переопределение размерности точечного множества T^k сводится к описанию геометрических условий, которые либо высвобождают параметры множества меньшей размерности либо связывают параметры точечного пространства R^n , в котором определяется множество (рис. 4).

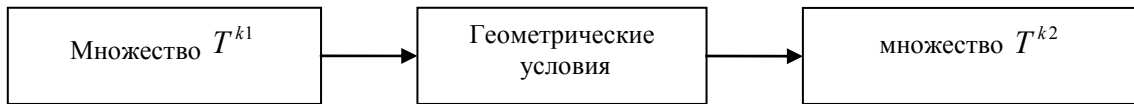


Рис. 4. Переопределение размерности точечного множества

Методика определения параметрического числа объекта. Описательная модель объекта включает геометрические примитивы и алгоритм создания из них объекта (рис. 4).

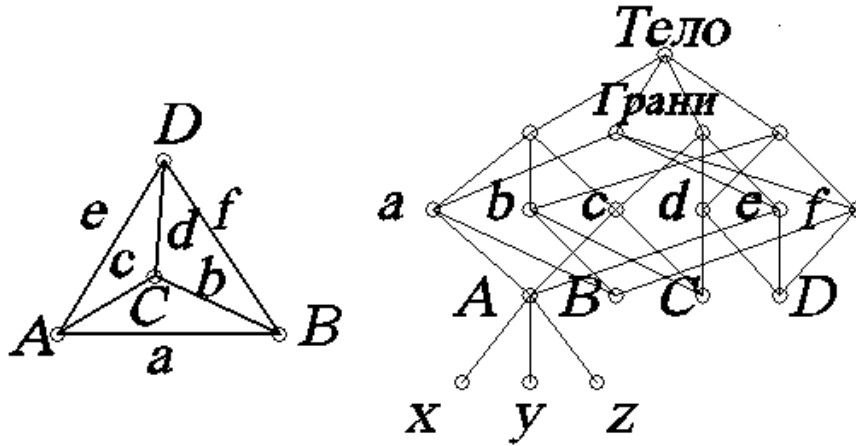


Рис. 4. Параметризация точечного объекта

Каждый из примитивов, в конечном итоге, выражаются через параметры. Суммарное число параметров примитивов определяет параметрическое число объекта.

Простейшим геометрическим объектом является точка. Будем различать 2 вида точек – фиксированная и текущая. Параметрическое число фиксированной точки P совпадает с размерностью пространства R^n ($P = n$). Параметрическое число текущей точки множества T^k определяется степенью свободы перемещения текущей точки в пределах точечного пространства R^n – из соотношения $P = n - k$ (табл. 1).

Таблица 1

Параметрическое число текущей точки множества T^k в пространстве R^n

Множество T^k	Пространство R^n			
	R^0	R^1	R^2	R^3
T^0	0	1	2	3
T^1		0	1	2
T^2			0	1
T^3				0

Определителем отрезка являются 2 фиксированные точки. Следовательно, в пространстве R^3 отрезок определяется 6-ю параметрами ($P = 3 + 3 = 6$) в плоскости (пространство R^2) $P = 4$. Пирамида определяется 4-я фиксированными точками в пространстве R^3 ($P = 12$).

Не все геометрические объекты было бы правильно определять через фиксированные точки. Так, например, если определить прямую по 2-м фиксированным точкам, то окажется, что мы имеем на плоскости 4-х параметрическое множество прямых (на самом деле 2-х параметрическое). На рис. 5 показаны объекты, которые определяются текущими точками, в таблице 1 приведены параметрические числа текущих точек.

Прямая определяется 2-я текущими точками, плоскость – тремя. Суммируя параметры точек в пространстве R^2 получаем $P = 2$, в пространстве R^3 – $P = 4$. Параметрическое число для плоскости $P = 4$. Определитель эллипса включает 2 фиксированных точки (фокусы эллипса) и 1 текущую точку линии, получаем $P = 5$.

Зная параметрические числа прямых и плоскостей, можно их использовать для параметризации более сложных объектов. Например, треугольник (рис. 6) можно определить как фигуру, ограниченную прямыми, а пирамиду – как фигуру, ограниченную плоскостями. Каждая линия на плоскости определяется 2-я параметрами, соответственно, треугольник определяется 6 параметрами. Аналогично рассуждая, получим число параметров для пирамиды $P = 15$ (по три для каждой из плоскостей). Однако, их не 15, а

14. В данном случае необходимо учитывать, что три боковые плоскости, пересекаясь, определяют одну точку (вершину пирамиды) и, следовательно, для определения 4-й боковой плоскости необходимо добавить еще 2 текущих точки поверхности (2 параметра).

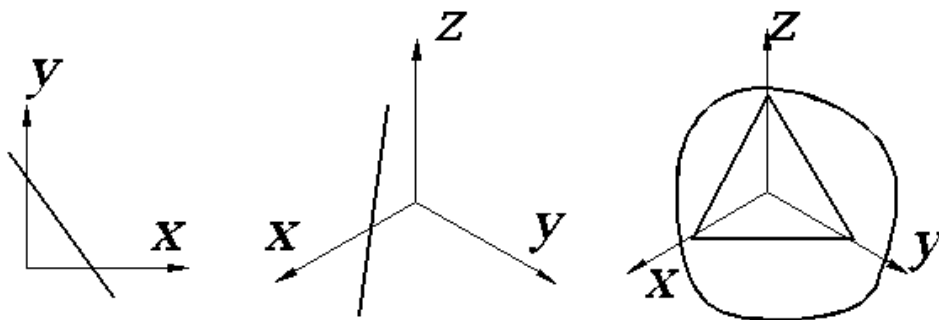


Рис 5. Определение объекта текущими точками

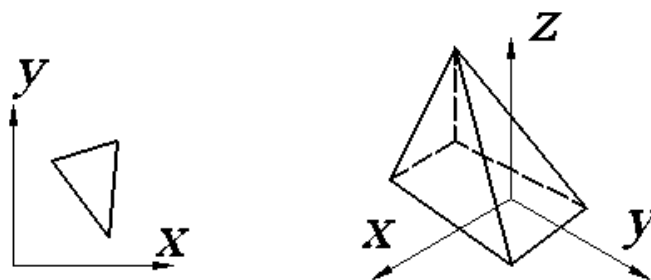


Рис 6. Определение объекта прямыми и плоскостями

Определитель фигуры может быть различным, но корректная параметризация объекта при элементарных знаниях геометрии обеспечит один и тот же результат. Например, определителем окружности может быть одна фиксированная точка (центр окружности) и одна текущая точка, а также определителем окружности могут быть 3 текущие точки. В обоих случаях получаем $P = 3$. Другой пример – параметризация пирамиды по точечному каркасу. Для 5 фиксированных точек в пространстве R^3 получаем $P = 15$. Однако, следует учесть, что одна из точек основания пирамиды определяется в плоскости (пространстве R^2). Получаем тот же результат, что и для определителя пирамиды из 5 плоскостей ($P = 14$).

Параметризация геометрических условий. На рис. 7 показаны объекты, связанные геометрическими условиями (параллельность, касание и симметрия).

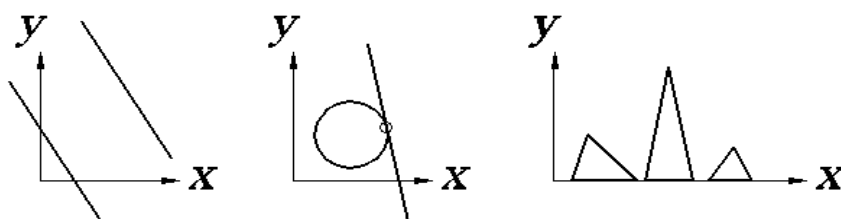


Рис 7. Объекты, связанные геометрическими условиями

Прямая, параллельная заданной, определяется одним параметром вместо двух. Окружность, касательная к линии, двумя параметрами вместо трех. Для симметричной фигуры требуется меньше параметров. Из этих примеров видно, что геометрические условия заменяют параметры. Следовательно, при расчете размерности параметрического множества N геометрического объекта необходимо не только просуммировать параметрические числа геометрических элементов определителя, но и вычесть параметрические размерности геометрических условий.

$$N = N_1 + N_2 + \dots + N_k - (N_{y1} + N_{y2} + \dots + N_{yp}) \quad (2)$$

Размерность геометрического условия определяется разницей параметрического числа объекта, несвязанного условием, и параметрического числа объекта, связанного условием:

$$N_y = N_1 - N_2 \quad (3)$$

Перпендикулярность прямой к плоскости. Прямая общего положения 4-х параметрическая. Прямая, перпендикулярная к плоскости, определяется точкой в плоскости, следовательно 2-х параметрическая.

$$N_y = 4 - 2 = 2 \quad (4)$$

Точно такой же результат можно получить, если в качестве исследуемого объекта выбрать не прямую, а плоскость. Плоскость общего положения 3-х параметрическая. Плоскость, перпендикулярная к прямой, определяется точкой на прямой, следовательно однопараметрическая.

$$N_y = 3 - 1 = 2 \quad (5)$$

Перпендикулярность 2-х плоскостей. Плоскость общего положения 3-х параметрическая. Плоскость, перпендикулярная к заданной плоскости, определяется прямой в плоскости, следовательно 2-х параметрическая.

$$N_y = 3 - 2 = 1 \quad (6)$$

Перпендикулярность 2-х прямых (в плоскости). Прямая общего положения 2-х параметрическая. Прямая, перпендикулярная к прямой, определяется точкой на прямой, следовательно однопараметрическая.

$$N_y = 2 - 1 = 1 \quad (7)$$

Параллельность 2-х плоскостей. Плоскость общего положения 3-х параметрическая. Плоскость, параллельная к заданной, определяется текущей точкой на плоскости, следовательно однопараметрическая.

$$N_y = 3 - 1 = 2 \quad (8)$$

Параллельность прямой и плоскости. Прямая общего положения 4-х параметрическая. Прямые, параллельные к заданной плоскости, находятся в параллельной к ней плоскости. Положение последней плоскости определяется текущей точкой в этой плоскости, т.е. одним параметром. В плоскости можно провести двухпараметрическое множество прямых. Следовательно, прямая, параллельная к плоскости, определяется 3-я параметрами.

$$N_y = 4 - 3 = 1 \quad (9)$$

Параллельность 2-х прямых (в плоскости). Прямая общего положения 2-х параметрическая. Прямая, ей параллельная, определяется текущей точкой на прямой, следовательно однопараметрическая.

$$N_y = 2 - 1 = 1 \quad (10)$$

Параллельность 2-х прямых (в пространстве). Прямая общего положения 4-х параметрическая. Прямые, ей параллельные, перпендикулярны к одной и той же плоскости. Прямая, перпендикулярная к плоскости 2-х параметрическая, следовательно и прямая, параллельная к заданной прямой, тоже двухпараметрическая.

$$N_y = 4 - 2 = 2 \quad (11)$$

Касание 2-х линий (на плоскости). Рассмотрим касание прямой и кривой. Прямая общего положения 2-х параметрическая. Через точку на гладкой кривой можно провести единственную касательную. Точка на линии определяется одним параметром, следовательно и касательных к кривой можно провести однопараметрическое множество.

$$N_y = 2 - 1 = 1 \quad (12)$$

Касание 2-х линий (в пространстве). Рассуждая по аналогии с предыдущим случаем, получим:

$$N_y = 4 - 3 = 1 \quad (12)$$

Касание 2-х поверхностей. Рассмотрим касание плоскости и поверхности. Плоскость общего положения 3-х параметрическая. Через точку на гладкой поверхности можно провести единственную касательную плоскость. Точка на поверхности определяется двумя параметрами, следовательно и касательных поверхностей можно провести двухпараметрическое множество.

$$N_y = 3 - 2 = 1$$

Касание линии к поверхности. Рассмотрим касание прямой к поверхности. Прямая общего положения 4-х параметрическая. Через точку на гладкой поверхности можно провести единственную касательную плоскость (определяется 2-я параметрами), а в ней, через ту же точку можно провести однопараметрическое множество прямых. Следовательно, прямых, касательных к поверхности можно провести 3-х параметрическое множество.

$$N_y = 4 - 3 = 1$$

Симметрия. При условии явно или неявно заданных центра, оси или плоскости симметрии учитываются параметры только одной из двух симметричных точек. Следовательно условие симметрии заменяет количество параметров, равное параметрическому числу лишь одной из симметричных частей.

Выделение параметров формы и положения

Практически все геометрические объекты характеризуются параметрами формы и положения (рис. 8). Исключения составляют точка, прямая и плоскость. Эти элементы различаются в пространстве только лишь положением.

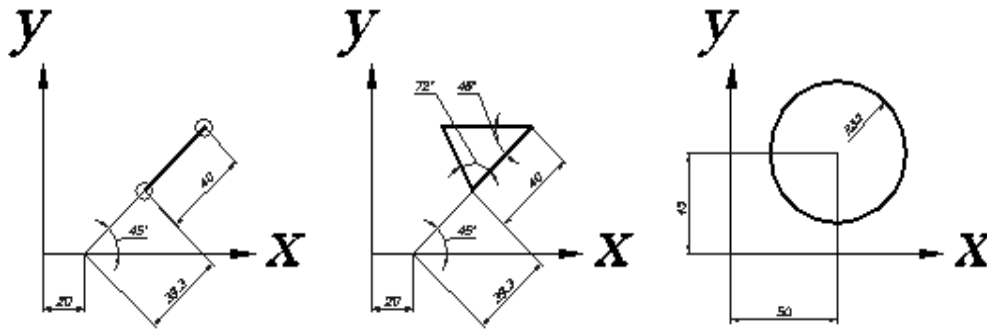


Рис. 8. Параметры формы и положения

Параметры положения Nn и параметры формы N_f в сумме определяют общее параметрическое число N :

$$N = Nn + N_f$$

Число параметров положения зависит от размерности пространства. В общем случае $Nn = 3$ для объектов на плоскости и $Nn = 6$ для объектов в пространстве. Этот факт несложно доказать, используя приемы параметризации.

На рис. 9 показано положение систем координат, относительно базовых в пространствах R^2 и R^3 .

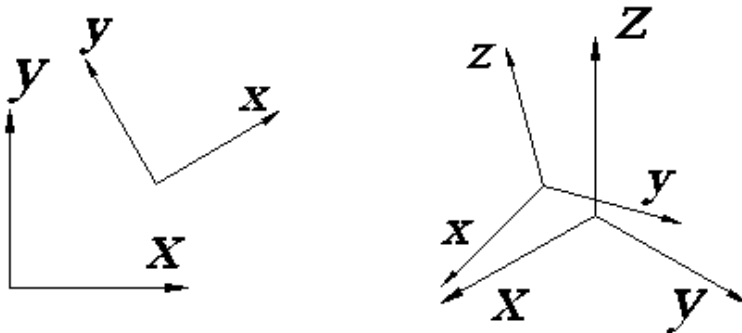


Рис. 9. Указание параметров формы и положения

Определение параметров положения на плоскости. Система координат определяется:

- точкой (2 параметра);
- прямой, которая проходит через заданную точку и текущую точку линии (ещё один параметр);
- прямой, которая проходит через заданную точку перпендикулярно к заданной прямой (без параметров);

Всего 3 параметра.

Определение параметров положения в пространстве. Система координат определяется:

- точкой (3 параметра);
- прямой, которая проходит через заданную точку и текущую точку линии (ещё 2 параметра);
- прямой, которая проходит через заданную точку, лежит в плоскости, перпендикулярной к заданной прямой, и проходит через текущую точку линии (1 параметр);
- прямой, которая проходит через заданную точку перпендикулярно к заданной плоскости (без параметров);

Всего 6 параметров.

Рассмотрим метод разделения параметров формы и положения объектов на примере эллипса. Первоначально воспользуемся описательной моделью эллипса. Эллипс – множество точек на плоскости, сумма расстояний от каждой из которых к 2-м точкам (фокусам) есть величина постоянная (больше, чем расстояние между фокусами). Затем отделяем геометрическую часть от алгоритмической. Геометрическая часть состоит из 2-х фиксированных точек на плоскости и одной текущей точки на линии. Выражаем элементы определителя через параметры:

$$N = 2 + 2 + 1 = 5$$

Определяем количество параметров формы и положения.

$$Nn = 3, N_f = 5 - 3 = 2 \quad (14)$$

Исследование задачи методами параметризации. В теории алгоритмов одна из важных проблем – доказать отсутствие алгоритма для решения той или иной задачи. Доказать наличие алгоритма можно путем фактического описания процесса. Доказать же отсутствие алгоритма сложнее. То, что Вы его не сумели

описать, отнюдь не означает, что алгоритм не существует. Приемы параметризации позволяют в некоторой степени решить эту проблему в отношении моделирования геометрических объектов. Рассмотрим это на примере.

Задача. Провести прямую, которая пересекает 3 (4 или 5) заданных прямых (рис. 10).

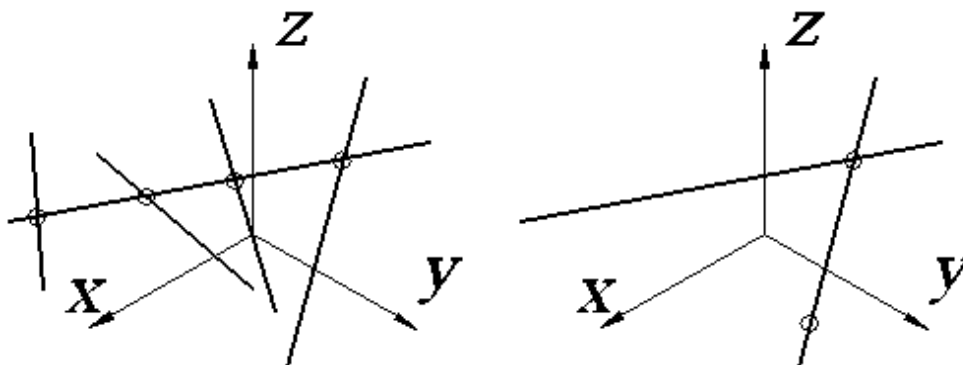


Рис. 10. Пересечение прямой 4-х прямыми

Для того, чтобы оценить, какое множество решений имеет задача, необходимо определить:

1. Какая размерность множества прямых в трехмерном пространстве?
2. Какая размерность геометрического условия (определяется разницей параметрического числа объекта, несвязанного условием, и параметрического числа объекта, связанного условием)?
3. Сколько необходимо условий, чтобы получить 0-мерное множество прямых?

В пространстве R^3 имеем ∞^4 прямых. Если же прямая, пересекает какую-либо линию, то имеем ∞^3 прямых, поскольку одна из 2-х точек определяется в пространстве R^1 на заданной линии (рис. 10). Размерность геометрического условия пересечения линий $N_y = 4 - 3 = 1$. Следовательно, чтобы получить ∞^0 прямых достаточно 4 условия пересечения прямой с линией.

Аналогично можно доказать, что можно провести прямую, которая пересекает 2 заданные прямые и параллельна к 2-м заданным плоскостям, или провести прямую, касательную к 4-м сферам.

Перспективы дальнейших исследований. Программные системы служат для моделирования различных аспектов реального мира. И сложность системы соответствует сложности предметной области. Следовательно, для обнаружения эффективных методов проектирования программных систем необходимо осуществить поиск порядка в хаосе реального мира. Параметрическая модель точечного пространства позволяет в определенной степени решить эту проблему. Используя парадигмы объектно-ориентированного подхода (абстрагирование, иерархия, модульность) на основе параметрической модели точечного пространства можно создавать эффективные системы геометрического моделирования.

Литература

1. Четверухин Н. Ф. Параметризация и ее применение в геометрии / Н. Ф. Четверухин, Л. А. Яцкевич // Математика в школе. – 1965. – № 5. – С. 15– 23.
2. Инженерная геометрия с элементами теории параметризации / [Михайленко В. Е., С. Н. Ковалев и др.]. – К.: УМК ВО, 1989. – 84 с.

Надійшла 15.11.2010 р.

ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДИКИ ПРОЕКТУВАННЯ ВІБРАЦІЙНОГО ОБЛАДНАННЯ НА ОСНОВІ ГІДРОПУЛЬСАТОРА ДЛЯ ВПЛИВУ НА ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ ТА ЇЇ ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ

Наведено аналіз використання вібраційних коливань та кавітації у рідині. Запропоновано технологію та вібраційне обладнання для зміни властивостей води та її знезаражування. Наведено особливості методики проектування вібраційного обладнання на основі гідропульсатора.

The analysis of use of vibrating fluctuations and catching in a liquid is given. It is offered technology and vibrating equipment for change of properties of water and anthemion. It is offered scientific bases of a general technique of designing of the vibrating equipment on a basis vibrating.

Ключові слова: коливання рідини, кавітація, проектування вібраційних машин.

Вступ. Використання вібраційних коливань у технологіях обумовлюється потребами підвищення інтенсивності, поліпшення якісних показників, а в деяких випадках і можливістю реалізації технологічних процесів. Унікальні можливості вібраційного поля дозволяють успішно здійснювати не тільки оздоблювально-зачистну та зміцнювальну операції, але і такі операції, як сепарація, перемішування, вібротранспортування за важких експлуатаційних умов, гомогенізацію, фільтрування, сушіння, насичення середовища певними речовинами, руйнування поверхонь та ряд інших процесів. Це обумовлює ефективність застосування вібраційних технологічних машин в багатьох галузях промислового виробництва.

У багатьох галузях промисловості усе більш широке застосування знаходять вібраційні технологічні процеси, розроблені під керівництвом Р.Ф. Ганієва, Н.І. Кобаско, І.М. Федоткіна, І.С. Гулого, у яких використовуються багатофазні рідинні середовища. Це можуть бути розплави металів, скла і полімерів, суспензії твердих часток і газових пухирців у рідині, мілкодисперсні суспензії крапель у газоподібному чи рідкому середовищі і т.п. При здійсненні процесів, пов'язаних з необхідністю рівномірного розподілу різних фаз у рідкій основі (одержання композитів і піноматеріалів) або їхньої сепарації з рідини (дегазація і флотаційне збагачення), теплогенерації та зміни властивостей води, істотного значення набуває можливість прогнозування реакції таких систем на різного роду зовнішні періодичні впливи.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Як показали раніше виконані дослідження динамічних явищ у багатофазних рідинних середовищах, підданих керованим вібраційним впливам [1, 2], багато з них можуть бути успішно використані як для інтенсифікації зазначених процесів, так і при розробці і реалізації принципово нових технологічних прийомів, а саме зміни властивостей та знезаражування водних потоків [3–11].

На даний час накопичено чисельний експериментальний матеріал про фізико-хімічні властивості чистої води та водних систем, надійно встановлені деякі деталі будови та властивостей води, однак багато питань поки що залишається без відповіді. Власне структура та властивості чистої води визначають комплекс специфічних властивостей її як розчинника і цим відрізняють від неводних розчинників. Воді властива також винятково висока діелектрична проникність, що обумовлює велику її розчинну здатність [12].

Таким чином, змінюючи структуру води і форми перебування в ній домішок, можна регулювати фізико-хімічні властивості води.

Від структурованості води залежать і багато інших її властивостей, наприклад, зміна діаманітної сприйнятливості води при підвищенні температури. Причиною цього явища вважається порушення упорядкованості структури води [13]. Структура молекули води встановлена досить точно (рис.1, рис.2). [12].

Геометрія молекули води, з точки зору описання їх у вигляді форм електронних хмарин, які приймають участь у зв'язках, представлена на рис.3. Молекула води складається з 10 електронів (5 пар), з яких одна пара електронів (внутрішніх) розташована поблизу ядра кисню, а в інших 4 парах електронів (зовнішніх) по одній парі усупільнено між кожним із протонів і ядром кисню, тоді як 2 пари залишаються неподіленими і спрямовані до протилежних від протонів вершин тетраедра. Саме ці неподілені пари відіграють велику роль у виникненні міжмолекулярних водневих зв'язків [12]. Наявність водневих зв'язків додає воді специфічну, лабільну структуру. Основні роботи в цій області Вернала і Фаулера [14] одержали надалі широкий розвиток.

Докладна систематизація й аналіз досліджень у цьому напрямку отримали подальший розвиток у багатьох монографіях [15–18].

Важливі моделі структури води, що пояснюють її аномальні властивості, розроблені О.Я. Самойловим, Полингом, Франком-Немети, Шарага, Поплом та ін. Ажено, виходячи з загальних квантово-механічних положень, обґрунтував можливість існування лише двох зв'язків у молекулі води й утворення структури, що складається з кілець або лінійних ланцюжків.

Оцінюючи безліч гіпотез про структуру води, не можна не погодитися, що жодна з теорій не є цілком задовільною і жодна з них не позбавлена істини [18].

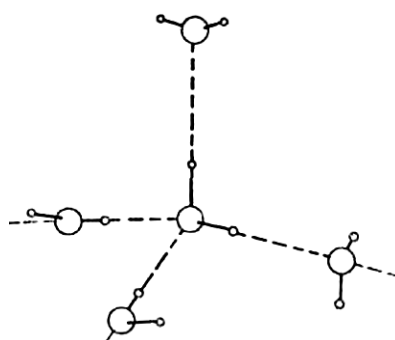


Рис. 1. Схема водневих зв'язків у молекулі води: O – кисень; o – водень; — — — хімічний зв'язок; - - - - водневий зв'язок

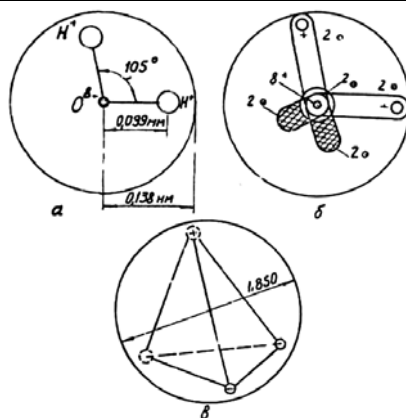


Рис. 2. Модель молекули води: а – плоска модель; б – просторова модель з розподілом мас та електронної конфігурації; в – просторова тетраедрична

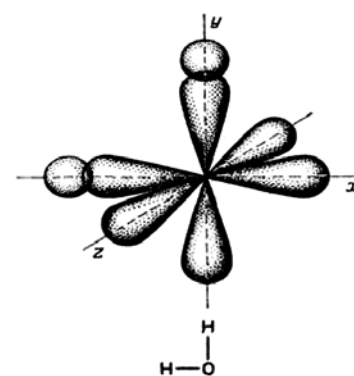


Рис. 3. Схема побудови молекули води у вигляді електронних орбіталей водню та орбіталей кисню

При поясненні багатьох експериментальних даних найчастіше користуються так названими дво-структурними моделями, що припускають одночасну присутність у воді льодоподібних і щільно упакованих структур.

Особливості водневого зв'язку у воді обумовлюють можливість виникнення і зникнення довго живучих мікрообластей з льодоподібною структурою, так званих "мерехтливих груп", їхнє плавлення і розпад не зв'язані із значними енергетичними змінами.

Варто оцінити, хоча б приблизно, енергію, необхідну для зміни структури води. Важко знайти першопричину, але часто вказується, що розриви водневих зв'язків є обов'язковою передумовою зміни структури води. Отже, для такої зміни необхідно затратити енергію порядку 16,7–26,1 кДж/моль (4–6 ккал/моль) [12]. Однак є ряд вагомих розумінь, насамперед у роботах Й. Попла [19], що свідчать про необов'язковість розриву водневих зв'язків. Структурні зміни під впливом різних зовнішніх впливів – температури, тиску або магнітних полів – визначаються також великим або меншим вигином зв'язків (зміною кута між лінією, що з'єднує центри найближчих молекул води, і напрямком зв'язку O-H однієї з цих молекул). Енергія, необхідна для вигину водневих зв'язків, незмірно менше енергії їхнього розриву, бо того ж одночасна деформація кута і довжини зв'язку молекул енергетично більш вигідна, ніж деформація тільки кута або тільки довжини зв'язку [17].

Таким чином, зміна структури води можлива при витратах енергії набагато меншої енергії водневих зв'язків.

Дослідження показали, що вода є відкритою, динамічною, структурно-складною системою, у якій стаціонарний стан легко порушується при будь-якому зовнішньому впливі.

Справа в тім, що молекула води має здатність утворювати водневі зв'язки. Простіше говорячи, створювати «водневі містки» (асоціати), якими вона може дотикатися до інших молекул води. Однак ці водневі містки вважалися недовговічними: одна мільярдна частка секунди – і їх вже немає.

Провідний науковий співробітник, кандидат хімічних наук, кандидат філософських наук С. В. Зенин (доктор біологічних наук, керівник проблемної лабораторії наукового обґрунтування традиційних методів діагностики і лікування НКЭЦ ТМДЛ МЗРФ – науковий клініко-експериментальний Центр традиційних методів діагностики і лікування, МЗРФ) разом із групою колег знайшов у воді водневі містки-довгожителі, а потім виявив і так звані суперстабільні кластери (скупчення) – структурні елементи води.

Саме з таких елементів, вигадливо зв'язаних один з одним, і складається знайома нам рідина. Кожна молекула води являє собою «диполь». Це значить, що вона складається з позитивного і негативного полюсів, що взаємно притягаються. Завдяки цьому молекули через водневі містки з'єднуються у великі розвинуті структури – кластери (рис.4) [20]. Існує нескінченна розмаїтість кластерів, тому що водневі містки дозволяють молекулам води з'єднуватися всілякими способами.

Українські дослідники, А.Н. Смірнов, В.Б. Лапшин та ін., при вивченні структури води виявили гігантські гетерофазні кластери води та кооперативний анізотропний рух дисперсних гідрофільних часток з розміром 0,5–10 мкм, що відновлюється після будь-якого механічного гідродинамічного збурювання розчину в межах однієї хвилини [21].

Для пояснення кооперативності руху гідрофільних часток було висунуте припущення про утворення молекулярними комплексами води фрактальних структур більш високих порядків розмірів, що формують осцилюючі полімерні гігантські гетерофазні кластери води, що і відіграють роль напрямних при русі часток дисперсної фази.

За допомогою методів малокутового розсіювання й амплітудно-фазової модуляції лазерного випромінювання (633 нм) показане існування гігантських гетерофазних кластерів упорядкованої води з розмірами від 10 до 120 мкм, що чергуються з менш упорядкованими ділянками. Розміри і просторове розташування кластерів різні для звичайної і важкої води, а також залежать від складу водяних розчинів. Показано, що при змішуванні етанолу з водою чи важкої води з H₂O спирт (чи D₂O) заповнює спочатку ділянки неупорядкованої води (перша швидка екзотермічна стадія тривалістю декілька секунд), а потім

реагує із зазначеними (друга, ендотермічна, стадія тривалістю від десятків секунд до хвилин) кластерами води. В роботі [21] обговорюються умови кінетичної стабілізації гігантських гетерофазних кластерів, а також їхня роль у переносі забруднюючих речовин у поверхневих природних водах.

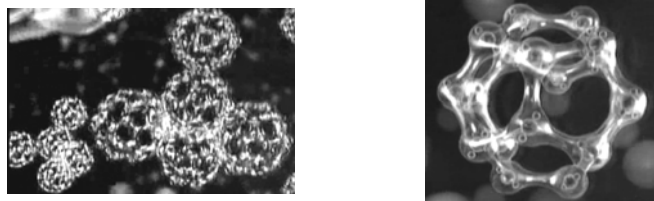


Рис. 4. Моделі кластерних структур води

Молекули води та деякі інші складові її частинки мають по два електричних різноіменних рівних за величиною точкових заряди, які знаходяться на деякій відстані один від одного, тобто вони є диполями води. Диполі є основною причиною утворення мікрокластерної структури води. Молекули питної води зазнають в організмі структурно-орієнтаційну впорядкованість, тобто перетворення її в так звану живу воду, на що витрачається близько 70% енергії її засвоєння організмом.

Одним з явищ, яке впливає на дисперсність та хімічний склад рідини, є кавітація. Кавітація – явище розриву краплинної рідини під дією напруг, які виникають при розрідженні в розглянутій краплині рідини. При розриві краплинної рідини утворюються порожнини - кавітаційні пухирці, заповнені паром чи газом. Отже, розрив рідини обумовлений зміною характеристик поля швидкостей і тисків.

Кавітаційні пухирці утворюються в тих місцях, де тиск у рідині стає нижче деякого критичного. Якщо тиск знижується внаслідок зростання місцевих швидкостей потоку краплинної рідини, то кавітація називається гідродинамічною, якщо зниження тиску викликане проходженням акустичних хвиль, то кавітація називається акустичною.

Критичний тиск, при якому відбувається розрив рідини, залежить від багатьох факторів: від чистоти рідини, вмісту повітря, стану поверхні, на якій виникає кавітація. Кавітація може виникати в потоці рідини, що має перемінне поле тиску, а також поблизу і на поверхні тіл різної форми — у місцях найбільшого розрідження. Перемінне поле тиску створюється різним чином: у результаті зміни швидкості потоку (руху тіла), впливу форми тіла, внаслідок коливальних впливів на рідину (ультразвукових або вібраційних).

Отже, міцність рідини визначити можна, у всякому разі, можна поставити розумно задумані досліди з її визначення. А от результати цих дослідів виявляються дуже різними. Різні автори повідомляють самі різні дані про міцність води, визначеної відцентровим способом: 49 Н/см²; 56 Н/см²; 2800 Н/см²; 32500 Н/см². Якому числу вірити? Усі числа отримані надійними методами, усі експериментатори сумлінні. З загальних розумінь ясно, що, коли мова йде про міцність, вірити треба більшому числу, тому що в силу якоїсь випадкової причини міцність може лише понизитися, але ніяк не може випадково зрости.

Отже тут слід зробити висновок: міцність води напряму залежить від вмісту газових пухирців.

Газовий пухирець у рідині, навіть маленький, навіть невидимий оком, що навіть ховається від сильного мікроскопа, здатний значно зменшити її міцність.

Природою кавітації та різним ефектам, які впливають на зношування металів, займалось багато авторів [22-24]. Але в основному дослідження були направлені на пояснення кавітаційного, кавітаційно-ерозійного зношування поверхні металів, а які зміни складу середовища, в якому виникала кавітація, були поза інтересами досліджень. Якщо на робоче середовище за значний термін часу впливає кавітація, то які фактори діють під час цих процесів, як змінюється хімічний склад робочого середовища? Щоб відповісти на ці запитання, необхідно розглянути механізм кавітаційно-ерозійного процесу. В зв'язку з виключною складністю процесу кавітації та зв'язаного з ним кавітаційного руйнування поверхні в літературі висловлюються різні припущення про можливий механізм процесу, та існує тенденція пояснювання кавітаційного руйнування якимись одним фактором. Всі ці гіпотези можна поділити на чотири групи [25]: які базуються на теорії гідромеханічної дії [26], електрохімічної теорії кавітаційної ерозії [27], теорії миттєвих хімічних реакцій [28], та на термодинамічній теорії кавітаційної ерозії [29]. Аналіз робіт по кавітаційному руйнуванні показує, що більшість авторів у якості робочої гіпотези приймають гідродинамічну теорію, розроблену Релеєм, і рахують, що одним з факторів є механічна дія руйнування пухирця на поверхні. Але також значна роль відводиться також корозійному фактору [30], а у ряді випадків головну роль кавітаційного руйнування [31].

Френкелем Я.І. було висловлено припущення, що при утворенні кавітаційних порожнин на їх границях утворюються іони рідини різних знаків, у результаті чого в пухирцях виникає електричне поле, напруга якого при малих розмірах пухирця може досягати кілька сотень вольт на сантиметр. Такі місцеві електричні поля дають можливість виникненню розрядів у середині пухирця, що у свою чергу, викликає іонізацію молекул розчинених газів. Знову утворені іони можуть бути причиною виникнення хімічних реакцій між рідиною та металом, рідиною та домішками у рідині. Такий підхід отримав розвиток у подальших роботах багатьох дослідників [32, 33]. Наприклад Вайс В. [34] вважає, що кавітація є причиною зміни хімічної активності середи. Швидкість хімічних реакцій може бути збільшена завдяки місцевому прискоренню рідини при обтіканні каверни, завдяки дифузії розчину у каверну, виникненню компонентів

реакції у електроліті. Автором [35] запропонована оригінальна теорія, згідно з якою процес кавітаційного руйнування йде по різному в хімічно активних та неактивних рідинах. При цьому характер руйнування розглядається залежно від інтенсивності кавітації. При помірній кавітації у не корозійній рідині, коли зусилля при сплескуванні кавітаційного пухирця не більше межі текучості метала, удар сприймається дружно і руйнувань поверхні не відбувається. Коли напруження зсуву більше межі текучості, то пластична деформація призводить до наклепу поверхневого слою. А значні локальні температури у місцях пульсації кавітаційних пухирців, викликаних перетворенням енергії деформації у тепло, можуть призвести до значного локального розігріву як поверхні, так і робочої середі. Процес розвитку кавітаційної області передбачується в такий спосіб. При сплескуванні кавітаційний пухирець може втрачати стійкість і розпадатися на частині, а тому що тиск і температура в цей момент у пухирці максимальні, то тиск і температура парогазовій суміші в "уламках, що утворилися," теж підвищені. У фазі розтягання вони легко розширюються і стають новими зародками кавітації, менш міцними, чим постійно наявні в рідині. Кавітаційні порожнини, що виникли на цих зародках, пробуджують нові. Всередині кавітаційної області йде безперервний процес розмноження і коагуляції кавітаційних пухирців, причому кавітаційний поріг трохи зменшується, тому що в сталому режимі роль кавітаційних зародків починають виконувати рівноважні пухирці, обсяг і газоміст в яких більше, ніж у зародків [33].

Необхідно відзначити, що зниження тиску в рідині до тиску насичених пар можливо також при кипінні або вакуумуванні рідини. Але ці процеси поширюються по всьому об'єму рідини на відміну від кавітації, що має обмежену область. Розрізняють гідродинамічну кавітацію, що виникає за рахунок місцевого зниження тиску у потоці рідини при обтіканні твердого тіла, і акустичну кавітацію, що виникає при проходженні через рідину акустичних коливань. В даний час немає задовільної моделі кавітаційної області, що адекватно описує її поведінку і поведінку приналежного до неї окремого кавітаційного пухирця. Поведінку кавітаційної області залежить від багатьох явищ і факторів: розмноження і коагуляція (коалесценція) пухирців; їхня взаємодія; зміна характеру пульсації пухирця за рахунок ударних хвиль і звукового випромінювання сусідніх пухирців; зміна середніх акустичних властивостей середовища - мікропотоки усередині кавітаційної області і на границі пухирця; розподіл зародків кавітації; газоміст і т.п.

Таким чином, кавітаційна область являє собою своєрідний трансформатор потужності, у якому енергія, що повільно накопичується, звільняється протягом дуже короткого часу, у результаті чого миттєва потужність у багато разів перевершує середню, що вводиться випромінювачем у кавітаційну область [34].

Формулювання цілі статті. Виникло нове направлення зі створення вібраційного обладнання для обробки води, з ціллю придання воді нових властивостей та її знезараження.

Відомі наукові роботи, в яких розглядаються наведені вище технологічні процеси та машини, стосуються здебільшого вузькоспеціалізованого різновиду обладнання. На даний час є фундаментальні праці, які присвячені теоретичним основам вібраційного руху сипкого або рідинного середовища, розрахунку вібраційних приводів, але відсутні основи проектування та практичного розрахунку вібраційних технологічних машин, де рідина є об'єктом обробки.

У зв'язку з цим дослідження процесу коливань рідини та розробка нових конструкцій технологічного вібраційного енергозберігаючого обладнання як спеціалізованого, так і універсального типу, у якому рідина виступає як рідина – об'єкт, який піддається керованим вібраційним впливам для зміни властивостей та знезараженню, розвиток наукових основ методики проектування і зумовлюють актуальність роботи.

Виклад основного матеріалу. Запропоновано спосіб та обладнання для утворення пульсуючих струменів рідини [35–39], в якому використовується зворотно-поступальний рух рідини через насадок із гострими крайками на вході. При цьому на виході з насадка гідропульсатора (ГП) отримується пульсуючий струмінь рідини, а при певних режимах його роботи струмінь рідини з включеннями газових пухирців, що виділяються з рідини внаслідок кавітаційних явищ.

Для реалізації, описаних вище технологій, використовуються гідропульсатори, конструкції яких зображено на рис.5 та рис.6.

Пульсуючий газорідинний потік утворюється в пристрої (рис.5), який працює так: при русі мембрани 3 вниз в камері 1 створюється розрідження і рідина втягується в камеру через насадок 2. При ході мембрани вверх відбувається стискання рідини і вона під тиском виштовхується через насадок із камери. При протіканні рідини через насадок утворюється кільцева ізольована порожнина, яка руйнується при досягненні певного тиску рідини в пульсаційній камері. При руйнації кільцевої ізольованої порожнини з рідини починає виділятися у вигляді газових пухирців повітря, що розчинене в рідині.

Пульсуючий потік рідини у ГП (рис.6) виникає при зворотно-поступальному русі штока 3, з'єднаного з поршнем 4, в якому є отвори. Для гасіння струменів рідини, які виникають при ході поршня вниз, застосовано гумовий відбійник 5. При певних режимах коливань в момент руху поршня вверх виникають кавітаційні пухирці в зоні розрядження між кришкою 2 та поршнем 4 з одночасним створенням струменів рідини у отворах, насичених газовими пухирцями.

На стадії, коли здійснюються непрямі дії акустичних коливань, на хід процесу можуть впливати практично тільки хімічно активні гази – O_2 і H_2 . У кінцевому рахунку, вплив кавітації на водні розчини зводиться до єдиного процесу – розщеплення молекул води в кавітаційних пухирцях. Незалежно від природи розчинених речовин, звук діє на одну речовину – воду, що приводить до зміни її фізико-хімічних

властивостей: збільшенню рН, електропровідності води, збільшенню числа вільних іонів і активних радикалів, структуризації й активації молекул. Дослідження сонолюмінесценції, звукохімічних реакцій і висунуті численні гіпотези, що пояснюють ці явища, на даний момент дозволяють зробити тільки один висновок: природа первинної активації молекул всередині кавітаційного пухирця є або тепловою, або електричною [40–42]. Крім цього, різко збільшується швидкість реакції коливальне збуджених молекул води з радикалами Н з виділенням складових – ОН, Н₂ і коливальної енергії. Ці процеси насичують рідину елементами ОН⁻, О[•], О⁺, О₂, Н₂ і коливальною енергією. З іншого боку, зростають електричні нестационарні сили взаємодії між сусідніми диполями, які посилюють їх коливання як цілісного об'єкту і збільшують вірогідність руйнування рідкокристалічної структури рідини.

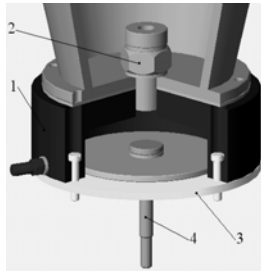


Рис. 5. Конструкція мембранного гідропульсатора: 1 – камера; 2 – насадок; 3 – мембрана; 4 – шток

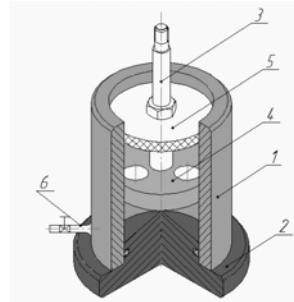


Рис. 6. Конструкція поршневого гідропульсатора: 1 – корпус; 2 – кришка; 3 – шток; 4 – поршень з отворами; 5 – гумовий відбійник струменів; 6 – кран.

Для підвищення ефективності процесу необхідно збільшити крім того, одноразовість вказаних впливів, що обумовлює високий ступінь зворотності реструктуризації, що, у свою чергу, призводить до часткового повернення води до попередньої структури, та як наслідок, до низького ступеня її кінцевої реструктуризації.

Багато методів очищення, насамперед пов'язане з хімічними та біологічними методами очистки. Хімічні методи використовують хлорування в якості фундаментальної реакції. Хлорування забезпечує обеззаражування. Але хлориди, розкладаючись в воді, створюють хімічні радикали, які впливають на здоров'я людини.

На даний час для знезаражування стоків використовується рідкий хлор, озон й ультрафіолет. Як правило, для цього необхідні проміжні контактні резервуари великої місткості, щоб забезпечити тривалість контакту не менше ніж 0,5 години.

Знезаражуюча дія кавітації заснована на ефектах, які виникають у турбулентних потоках рідини. Так при гідродинамічних коливаннях рідини виникають і зникають кавітаційні пухирці, при цьому стимулюються фазові переходи, підвищуються локальні температури й тиск. Крім того, у моменти утворення й зникнення кавітаційних пухирців у газонаповненій порожнині створюються умови для появи електричних зарядів, електричних і магнітних полів. У такий спосіб рідина оброблювана кавітацією піддається термобаричній й електромагнітній дії.

Особливістю кавітаційного методу полягає в тому, що високий ступінь знезаражування води від яєць і личинок паразитів досягається за рахунок їхнього механічного розриву ударними хвилями. Для руйнування бактерій і вірусів термобаричний вплив підсилюється локальною електромагнітною дією, коли наведені електричні потенціали пробивають їхні мембрани й оболонки.

Механічні та фізичні способи очистки води вільні від цих недоліків, тому механічні способи очистки води є дуже перспективними. На даний час розроблено ряд нових вібраційних машин та обладнання на основі ГП. В них вода піддається багаторазовому зворотно-поступальному проходженню (циклічній гідрокавітації) через кавітаційний пристрій ГП [36–39]. Розроблено методологію загального синтезу вібраційного обладнання [43].

Розглянемо та проаналізуємо результати експериментальних досліджень гідрокавітаційного процесу, отриманого у ГП.

Автор [40] припускає, що пухирці одержують додаткову енергію при відриві від великого деформованого пухирця (ВДП) або від вільної поверхні рідини. Можливо при цьому здійснюється розщеплення і локальна електризація пухирців. У [40] показано, що в низькочастотних акустичних полях при частотах від 7 Гц до 200 Гц виникають окислювально-відновні реакції, обумовлені утворенням радикальних продуктів розщеплення Н₂О (реакції I типу, що раніше виявлені й досліджені в ультразвукових полях).

Експериментально (за допомогою швидкісної відеозйомки) досліджено, що в процесі коливального циклу у ГП при зниженні тиску спостерігається злиття мілких пухирців до великого деформованого пухирця (ВДП) (рис.7 та рис.8) та його руйнування до мілких пухирців при збільшенні тиску у камері ГП (рис.9).



Рис. 7. Злиття мілких пухирців до ВДП



Рис. 8. Зростання розмірів ВДП



Рис. 9. Руйнування ВДП до мілких пухирців

Розглянемо визначення енергії заряду ВДП, якщо n малих пухирців радіусом r , кожен заряджений до потенціалу φ , з'єднуються у ВДП.

При рішенні нехтуємо енергією взаємодії пухирців один з одним. Сумарна енергія визначається сумою енергій окремих пухирців:

$$\sum E_{\text{пх}} = n \frac{C\varphi^2}{2} = n \cdot 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r \cdot \varphi^2, \quad (1)$$

де C – ємність пухирця. $C = 4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot r$;

$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ ф/м;

ε – діелектрична проникливість середовища;

R – радіус пухирця;

φ – потенціал пухирця.

При зливанні пухирців в ВДП його заряд дорівнює сумі зарядів усіх пухирців:

$$Q = n \cdot q = n \cdot 4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r \cdot \varphi,$$

а енергія ВДП визначається:

$$E_{\text{ВДП}} = \frac{Q^2}{2 \cdot c} = \frac{Q^2}{8 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot R}, \quad (2)$$

де $R = r \cdot \sqrt[3]{n}$ – радіус великого пухирця.

Тоді маємо:

$$E_{\text{ВДП}} = \frac{16 \cdot n^2 \cdot \pi^2 \cdot \varepsilon_0^2 \cdot r^2 \cdot \varphi^2}{8 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r \cdot \sqrt[3]{n}} = 2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r \cdot \varphi^2 \cdot n^{5/3}, \quad (3)$$

Взявши відношення $\frac{E_{\text{ВДП}}}{\sum E_{\text{пх}}} = \frac{n^{5/3}}{n} = n^{2/3}$, отримаємо висновок, що енергія заряду ВДП збільшується

в $n^{2/3}$ раз. Графік (рис.10) демонструє кількісну зміну енергії заряду ВДП від кількості мілких пухирців, що об'єдналися.

В процесі руйнування ВДП до мілких пухирців, відбувається іонізація газу у пухирцях, а надлишкова енергія переходить у теплову. Отримані результати дозволяють з певністю вказати на протікання при низьких частотах різноманітних окислювально-відновних реакцій. Структура та параметри низькочастотного акустичного поля впливає на швидкість окислювально-відновних реакцій, газофазних процесів у кавітаційному пухирці та ланцюгових реакцій.

Таким чином дослідження [40] показали, що існують два типи кавітаційних пухирців – мілких сферичних і великих деформованих пухирців (ВДП), причому перші можуть створюватися в процесі руйнування других. Рух та розщеплення першого типу пухирців обумовлює виникнення хімічних реакцій, а другого – механічне руйнування та інші фізико-хімічні ефекти.

Для підтвердження запропонованих положень були проведені експериментальні дослідження по визначенню властивостей, структури води її знезаражування в процесі обробки у ГП [35]. Деякі результати досліджень наведені нижче.

Було проведено прямі термостатичні вимірювання нагрівання дистильованої води, проведені з точністю до $0,1^\circ\text{C}$. З'ясовано, що дистильована вода, оброблена гідрокавітацією на відміну від звичайної, не має строго певної температури кипіння. Відхилення від прямої лінії починаються вище 90°C (рис.11, крива 2). Це свідчить про нерівноцінність водневих зв'язків між молекулами води після гідрокавітаційної обробки.

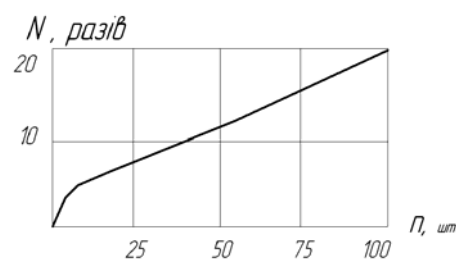


Рис. 10. Кількісна зміна енергії заряду ВДП від кількості мілких пухирців

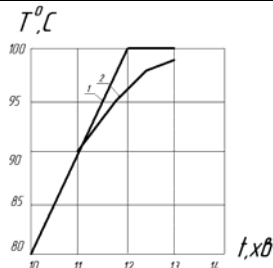


Рис.11. Нагрівання дистильованої води (1) та дистильованої води після гідрокавітаційної обробки (2)

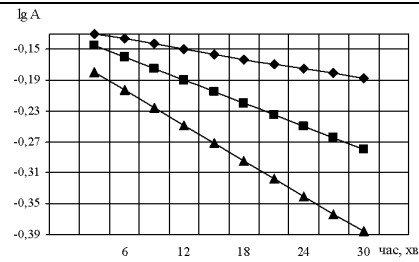


Рис.12. Залежність логарифму оптичної щільності реакційної суміші $\text{CH}_3\text{OH} - \text{KMnO}_4$ від часу реакції: \blacklozenge – контроль; \blacksquare – гідрокавітація; \blacktriangle – гідрокавітація та омагнічування

В подальшому було проведено дослідження кінетики хімічних реакцій в середовищі води після 30-хвилинної обробки в кавітаційному пристрої.

Як модельну реакцію було вибрано окиснення метанолу перманганатом калію в кислому середовищі. При концентрації CH_3OH 0,5 М і KMnO_4 $4 \cdot 10^{-3}$ М така реакція проходить із поміркованою швидкістю, яка дозволяє надійно слідкувати за її перебігом. Завдяки забарвленню перманганат-іона контроль за ходом реакції здійснювали фотометричним методом (фотоелектроколориметр КФК-2). Для цього в мірну колбу на 50 мл вносили 1 мл метанолу, 2 мл 2 М сульфатної кислоти і звичайною водою (контрольний дослід), або водою після кавітації доводили реакційну суміш до мітки. Після внесення 0,2 мл перманганату калію та інтенсивного перемішування розчин фотометрували.

Результати дослідів показали (рис.12), що в середовищі води після кавітації швидкість реакції значно зростає.

Наведемо основні етапи та особливості проектування і розрахунку вібраційного обладнання на основі ГП для впливу на властивості води та її знезаражування.

Для проектування установок гідрокавітаційного впливу на властивості рідини необхідно мати годинну продуктивність обладнання, хімічний склад рідини. З годинного об'єму рідини, яка проходить крізь насадок, та попередньо прийнятої кутової швидкості можна визначити орієнтовний діаметр пульсаційної камери D_k за формулою [35]:

$$D_k = \sqrt[3]{\frac{V_z}{450 \cdot \psi \cdot \omega}}, \quad (4)$$

де V_z – годинний об'єм рідини, яка проходить крізь насадок, $\text{м}^3/\text{год}$;

ψ – співвідношення ходу мембрани до діаметра пульсаційної камери, $\psi = \frac{2A}{D} = 0,02 \dots 0,033$;

A – амплітуда коливань, мм;

ω – кутова швидкість; вибирається у межах від 40 1/с до 350 1/с.

Діаметр насадків, їх форма, кількість та розташування обираються залежно від об'ємів рідини, яка оброблюється, та продуктивності процесу. У дослідженнях встановлена залежність між діаметрами насадка й камери $d/D = 1/12$. Проведені дослідження [35] показали, що діаметр насадків для обладнання впливу на склад води знаходиться в межах:

$$d_n = 8 \dots 12 \text{ мм}. \quad (5)$$

Форма внутрішньої поверхні осьосиметричного насадка приймається з гострими краями на вході та виході для забезпечення кавітаційного процесу. Довжина насадка вибирається із залежності:

$$L_n = (4 \dots 5)d_n. \quad (6)$$

Особливістю розрахунків обладнання для зміни властивостей води, з ціллю забезпечення найбільшої продуктивності, є необхідність отримувати найбільшу довжину гострої кромки. Це можливо за умови збільшення кількості насадків при збереженні швидкості протікання крізь них рідини. Така умова виникає з рівності їх сумарної площі отворів d_n до площі отвору насадка D_n , знайденого попередньо:

$$\frac{\pi \cdot d_n^2}{4} n = \frac{\pi \cdot D_n^2}{4},$$

звідки діаметри насадків при певній їх кількості можна визначити за формулою:

$$d_n = D_n \sqrt{\frac{1}{n}} \quad (7)$$

де n – кількість насадків меншого діаметра.

Зміну довжини гострої кромки насадка від їх кількості n та діаметра d_n , при рівній сумарній площі, демонструє графік на рис. 14.

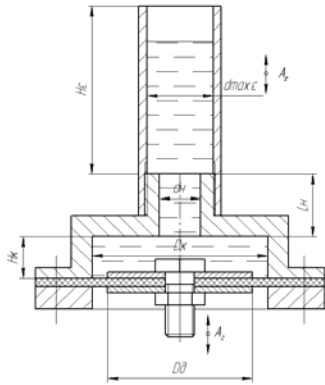


Рис. 13. Схема ГП з робочою ємкістю: $d_{max,c}$ – максимальний діаметр ємкості; D_k – діаметр камери ГП; A_2 – амплітуда коливань мембрани ГП; A_e – амплітуда коливань рідини у ємкості; d_n – діаметр насаддя; H_c – висота ємкості; L_n – довжина насаддя; H_k – висота камери ГП; D_0 – діаметр дисків

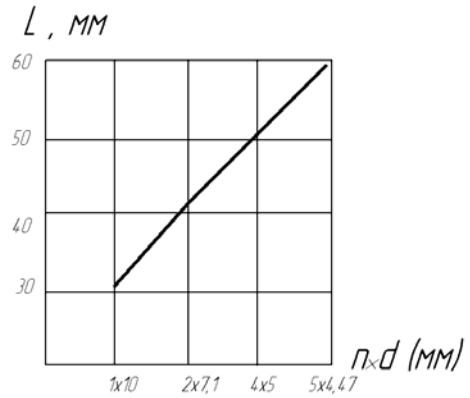


Рис. 14. Зміна сумарної довжини гострої кромки: L – сумарна довжина гострої кромки; $n \times d$ – кількість отворів певного діаметру

Далі проводиться розрахунок максимального гідродинамічного тиску у насаддя. Інтерфейс та алгоритм оригінальної програми наведено на рис. 15. Значення частоти коливань приводу вибираються залежно від числа обертів електродвигунів, які випускаються промислово і вводиться в програму. (Наприклад 760 об/хв). Амплітуда коливань приводу вводиться в програму в діапазоні від 0,4 мм до 3 мм. Використання амплітуд коливань, більших ніж 3 мм призводить до зростання інерційних та динамічних навантажень.

Після розрахунку програма видає максимальні значення сили гідродинамічного тиску для усіх введених значень амплітуд коливань при введеній частоті коливань. Виходячи з найбільшої продуктивності, визначаємо максимальний тиск при заданій амплітуді коливань. Ця інформація виводиться на дисплей (див.рис.6.5).

Проводимо перевірку на зрив кільцевої порожнини та виникнення розвитої гідрокавітації за умовою:

$$P_2 \leq 0,38P_1 \quad (8)$$

Визначивши продуктивність обладнання та розміри ГП, частоту коливань та амплітуду коливань приводу, бажано аналітично обґрунтувати розміри робочої ємкості, з точки зору, створення в неї також резонансних коливань стовпа рідини, що призводить до зменшення енерговитрат.

Знаючи граничне значення хвилі, яка виникає у вертикальних коливаннях, є можливість обрати розміри діаметра ємкості.

Виходячи з умови рівності об'ємів рідини, яка перетікає з камери ГП крізь насаддя до ємкості (рис. 13), можна записати рівняння з якого отримаємо амплітуду коливань рідини у ємкості A_e .

$$\frac{\pi \cdot d_n^2}{4} 2A_e = \frac{\pi \cdot D_k^2}{4} 2A_2, \text{ звідки маємо } A_e = A_2 \frac{D_k^2}{d_n^2}.$$

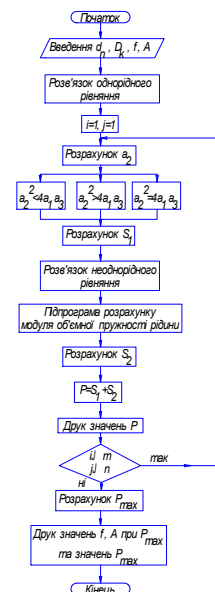
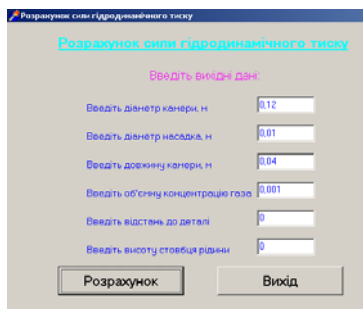


Рис. 15. Інтерфейс та алгоритм програми розрахунку максимального гідродинамічного тиску у насаддя

При діаметрі камери ГП $D_k = 0,12\text{м}$, та амплітуді коливань $A_e = 0,003\text{ м}$, прийнявши мінімальну амплітуду коливань рідини у ємкості $A_e = 0,0126\text{м}$ (при якій можливо збурення резонансних коливань рідини), отримаємо максимальний діаметр ємкості:

$$d_{\text{max.}\epsilon} = \sqrt{\frac{A_e \cdot D^2}{A_e}} = \sqrt{\frac{0,003 \cdot 0,12^2}{0,0126}} = 0,0585\text{м} \quad (9)$$

При таких співвідношеннях параметрів (A_e, A_e, D), резонансні хвилі в стовпі, який коливається, можливо збуджувати при розмірах ємкості, які менші за $d_{\text{max.}\epsilon}$.

Стоячі хвилі дають можливість в резонансних точках коліватися невеликим пухирцям повітря, що також додатково впливає на зміну властивостей води.

Визначаємо висоту ємкості за залежністю $H = d_{\text{max.}\epsilon} (8...12)$.

Діаметр дисків D_o рухомої мембрани береться в межах від 5 мм до 10 мм внутрішнього діаметра пульсаційної камери D_k .

Товщина гумової мембрани з точки зору її довговічності вибирається із залежності: $t = (0,025...0,03)D$ мм.

Остаточне налагодження режиму роботи обладнання здійснюється підбором ексцентриситету кулачка, незначною зміною його розміру (відповідно амплітуді коливань) в необхідну сторону.

Висновки. Кавітаційний вплив на рідке середовище, за рахунок вище вказаних ефектів, дозволяє досягнути суттєвої інтенсифікації хімічних перетворень у водних потоках та зміну їх властивостей і знезаражування. Таким чином, експериментальні дослідження показали доцільність використання гідродинамічної кавітації у вібраційному обладнанні [36–39].

Запропоновані наукові підходи дозволили створити узагальнену методологію для розрахунку раціональних конструктивних і технологічних параметрів вібраційних машин для впливу на властивості води та її знезаражування.

Отримані результати можуть бути враховані при розробці технологій та конструкцій обладнання очистки стічних вод промислових, комунальних підприємств, тваринницьких комплексів та гальванотехніки.

Література

1. Ганиев Р. Ф. Исследование движения мелкодисперсных включений в колеблющемся сосуде с жидкостью, содержащей сжимаемую сферу / Р. Ф. Ганиев, В. В. Кулик, П. А. Малышев. // Прикл. мех. – 1979. – № 7. – С. 112–116.
2. Ганиев Р. Ф. Про явища локалізації і поступального переміщення газових пухирців у коливальній рідині / Р. Ф. Ганиев, Г. Н. Пучка // ДАН УССР. – 1978. – № 6. – С. 509–511.
3. Сілін Р. І. Кавітаційна обробка та її вплив на склад води / Р. І. Сілін, А. І. Гордєєв, В. В. Третько, І. І. Сорока // Вісник ТУП. – 2002. – № 3. – С. 253–257.
4. Сілін Р. І. Вібраційне обладнання для зміни властивостей води / Р. І. Сілін, А. І. Гордєєв // Тези доп. 7-го міжнар. симп. укр. інж.- мех. – Львів : КІНПАТРИ ЛДТ. – 2005. – С. 92.
5. Гордєєв А. І. Пристрій для кавітаційно-магнітної обробки води / А. І. Гордєєв, Б. А. Баран, А. К. Бережнюк, І. І. Сорока // Materiali III miedzynarodowej naukowo-practicznej konferencji «WIADOMOSCI NAUKOWEJ MYSLI – 2007» 01-15 listoda 2007 roku. Tym 12 Techniczne nauki. – Przemysl: Nauka I studia, 2007. – С. 26–28.
6. Сілін Р. І. Вібраційне обладнання для гідрокавітаційного впливу на склад та властивості води / Р. І. Сілін, А. І. Гордєєв // 36. пр. VI міжн. н-т. конференції «Повышение качества, надежности и долговечности технических систем и технологических процессов». Хургада (Єгипет). – Хмельницький : ХНУ. – 2007. – С. 33–35.
7. Дослідження кавітаційно-магнітного впливу на структуру води / Р. І. Сілін, А. І. Гордєєв, Б. А. Баран, Є. А. Урбанюк // Materialy IV mezinarodni vedecko - prakticka konference «Tfektivni nastroje modernich–2008». Dil 17: Technicke vedy. – Praha: Publishing House «Education and Science». – 2008. – С. 28–32.
8. Сілін Р. І. Кавітаційно – магнітна обробка води та вібраційне обладнання на основі гідропульсатора / Р. І. Сілін, А. І. Гордєєв // 36. пр. II міжн. н-т. конференції «Современные достижения в науке и образовании»; Нетания (Израиль). – Хмельницький : ХНУ. – 2008. – С. 46–49.
9. Сілін Р. І. Пристрій для кавітаційно-магнітної обробки води з електромагнітним приводом / Р. І. Сілін, А. І. Гордєєв, Є. А. Урбанюк // Materialy IV mezinarodni vedecko - prakticka konference «Nastoleni moderni vedi - 2008». Dil 9: Technicke vedy. – Praha: Publishing House «Education and Science». – 2008. – С. 12–15.
10. Сілін Р. І. Технологія та вібраційне обладнання для біологічної активації води / Р. І. Сілін, А. І. Гордєєв // 36. пр. III міжн. н-т. конференції «Современные достижения в науке и образовании»; Тель-Авив (Израиль). – Хмельницький : ХНУ. – 2009. – С. 114–117.
11. Сілін Р. І. Науково-технічні основи розроблення вібротехніки для впливу на властивості води / Р. І. Сілін, А. І. Гордєєв // Вібрації в техніці та технологіях. – 2009. – № 4(56) – С. 141–148.

12. Класен В. П. Омагничивание водных систем / В. П. Класен. – М. : Химия, 1978. – С. 10–12.
13. Теоретическая и экспериментальная химия / [Карякин А. В., Петров А.В., Гермий Ю.Б., Зубрилин М. Е.]. – 1966. – Т. 2. Вып. 4. – С. 494–496.
14. Беркал Дж. Успехи физических наук. – 1934. – Т. 14, № 15. – С. 586–595.
15. Блох А. М. Структура воды и геологические процессы / А. М. Блох. М. : Недра, 1969. – 216 с.
16. Самойлов О. Я. Структура водных растворов и гидратация ионов / О. Я Самойлов. – М. : Изд-во АН СССР, 1957. – 185 с.
17. Зацепина Г. Н. Свойства и структура воды / Г.Н. Зацепина. – М. : Изд-во МГУ, 1974. – 48 с.
18. Хорн Р. Морская химия / Р. Хорн ; [пер. с англ.]. – М. : Мир, 1972. – 399 с.
19. Popple A. Proc. Roy Soc, 1951, Ser. A, Bd. 205, № 1081, p. 163.
20. Зайлер Б. Тайна жизни / Б. Зайлер // Почерк времени. – 2002. – № 2. – С. 13–16.
21. Структура воды: гигантские гетерофазные кластеры воды / А. Н. Смирнов, В. Б. Лапшин, А. В. Балышев и др. // Химия и технология воды. – 2005 – Т. 27, № 2. – С. 111–137.
22. Рождественский В. В. Кавитация / В. В. Рождественский. – Ленинград : Судостроение, 1977. – 240 с.
23. Перник А. Д. Проблемы кавитации / А. Д. Перник. – [2-е изд.]. – Л. : Судостроение», 1966. – 248 с.
24. Кнэпп Р. Кавитация / Р. Кнэпп, Дж. Дейли, Ф.Хеммит ; [пер. с англ.]. – М. : Мир, 1974. – 687 с.
25. Карелин В. Я. Износ лопастных гидравлических машин от кавитации и наносов / В. Я. Карелин. – М. : Машиностроение, 1970. – 184 с.
26. Богачев И. Н. Кавитационное разрушение и кавитационно-стойкие сплавы / И. Н. Богачев. – М. : Metallurgy, 1972. – 192 с.
27. Prejser H.S. The elektrochemical approach to cavitation damage its prevention / H.S Prejser, D.H. Tytell. - Sjorrosion, 1961. Vol. 17, p. 513–517.
28. Lindstrom D.I. Acoust Soc, Am, 1955, 27, h. 654–661.
29. Wislicenus G.F. Fluid Mechanics of turbomachinerj. Constable Co. Ltd., England, 1966.c-148 p.
30. Богачев И. Н. Повышение кавитационно-эрозионной стойкости деталей машин/ И. Н. Богачев, Р. И. Минц. – М. : Машиностроение, 1964. – 144 с.
31. О соотношении коррозионного и эрозионного факторов в кавитационном разрушении металлов / [Ю. А.Карасюк, В. И. Кочеров, В. В.Бенино и др.] // Физ.-хим. механика материалов. – 1976. – № 5. – С. 14–16.
32. Тимербулатов М. Г. Влияние коррозии на кавитационную стойкость металлов / М. Г. Тимербулатов // Защита металлов. – 1972. – Т. 8, № 5. – С. 583–587.
33. Коррозия: справочник / [под ред. Л. А.Шрайера ; пер. с англ.]. – М. : Metallurgy, 1981. – 632 с.
34. Эрозия / [пер. с англ ; под ред. К. Прис]. – М. : Мир, 1982. – 464 с.
35. Wislicenus G. F. Fluid Mechanics of Turbomachinerj. Constable Co. Ltd., England, 1966. – 148 p.
36. Сілін Р. І. Властивості води та сучасні способи її очищення : [монографія] / Р. І. Сілін, Б. А. Баран, А. І. Гордєєв. – Хмельницький : ХНУ, 2009. – 254 с., іл.
37. Пат. на винахід 48400 Україна, МПК C02F1/46. Пристрій для очистки стічної води / Р. І. Сілін, А. І. Гордєєв, В. О. Павлик (Україна) ; Технологічний ун-т Поділля. – u2001064234 ; заяв. 19.06.2001 ; опубл.15.08.2002, Бюл. № 8. – 3 с.
38. Пат. на корисну модель 10347 України, МПК B01F5/00. Устаткування для обробки води / Р.І. Сілін, А.І. Гордєєв, В.В. Третько, І.І. Сорока (Україна); Хмельницький нац. ун-тет. – u 200503620; Заяв. 18.04.2005; Опубл.15.11.2005, Бюл. № 11. – 3с.
39. Пат. на корисну модель 25775 Україна, МПК B01F 5/00. Кавітаційний пристрій для обробки води / Р. І. Сілін, А. І. Гордєєв, О. А. Гордєєв, В. В. Третько, Є.А. Урбанюк (Україна) ; Хмельницький нац. ун-т. – u200702555 ; заяв. 12.03.2006 ; опубл. 27.08.2007, Бюл. №13. – 3 с.
40. Пат. на корисну модель 25811 Україна, МПК B01F 5/00. Вібраційний кавітатор для зміни властивостей води / Р. І. Сілін, А. І. Гордєєв, О. А. Гордєєв, В. В. Третько, Є. А. Урбанюк (Україна); Хмельницький нац. ун-т. – u200703370 ; заяв. 28.03.2007 ; опубл. 27.08.2007, Бюл. № 13. – 3 с.
41. Маргуліс М. А. Основы звукохимии (химические реакции в акустических полях) : [учеб. пособие для хим. и хим.-технол. спец. вузов] / М. А. Маргуліс. – М. : Высш. шк., 1984. – 272 с.
42. Немчин А. Ф. Новые технологические эффекты тепломассопереноса при использовании кавитации / А. Ф. Немчин // Пром. теплотехника. – 1997. – Т. 19, № 6. – С. 39–47.
43. Розенберг Л. Д. Кавитационная область / Л. Д. Розенберг // Мощные ультразвуковые поля / под ред. Л. Д. Розенберга. – М. : Наука, 1968. – Ч. 6. – С. 221–266.
44. Гордєєв А. І. Розвиток наукових основ проектування вібраційного обладнання для зміни властивостей води та її знезаражування / А. І. Гордєєв // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2010. – № 1. – С. 12 – 20.

Надійшла 5.11.2010 р.

ЕВОЛЮЦІЯ КАНАВКОВИХ ТА ВІДРІЗНИХ РІЗЦІВ І ПЕРСПЕКТИВИ ЇХ РОЗВИТКУ

В роботі виконаний аналіз відомих конструкцій відрізних різців та ріжучих пластин до них. Показано, що найбільш прогресивними з них являються збірні конструкції з багатограними непереточуваними ріжучими пластинами простої форми. На основі виконаного аналізу розроблений ряд конструкцій нових видів різців та ріжучих пластин до них.

This article deals with the analysis of known designs of the cutoff cutting tools and cutting plates to them. It is shown that the most progressive of them are the modular designs with many-sided non-resharpening simple form cutting plates. On the base of the executed analysis a number of new kinds of cutters and cutting plates to them is developed.

Ключові слова: збірний відрізний різець, змінні багатогранні ріжучі пластини, тверді сплави, механічне закріплення, бічна схема різання.

Вступ. Робота відноситься до сфери машинобудування і металообробки, зокрема – до збірних відрізних і канавкових різців з механічним закріпленням багатограних непереточуваних пластин, а також до ріжучих пластин для їх оснащення.

Актуальність досліджень та постановка задач роботи. У теперішній час значну увагу приділяють вдосконаленню відрізних та канавкових різців, оскільки вони використовуються практично у всіх сферах машинобудування, особливо у індивідуальному та малосерійному виробництві. Самі ж операції відрізання та прорізання канавок є трудомісткими і характеризуються важкими умовами різання, великими витратами ріжучого інструменту та оброблюваного матеріалу. Все це приводить до збільшення собівартості виробленої продукції. Витрати відрізних і канавкових різців перевищують витрати прохідних та розточувальних різців більш ніж на 50 % [1]. Причинами цього є низька міцність і жорсткість ріжучої частини даних різців.

Таким чином, метою даної роботи є аналіз еволюції канавкових і відрізних різців та вибір основних шляхів їх удосконалення. Наукову новизну виконуваної роботи складає обґрунтування перспективних шляхів розробки нових прогресивних конструкцій даних різців та ріжучих пластин до них.

Основні шляхи розв'язання поставлених задач. Аналіз розвитку відомих конструкцій різців, в т.ч. канавкових та відрізних, показав, що найбільш прогресивними є інструменти з використанням твердосплавних багатограних непереточуваних пластин (БНП), що дає можливість отримати їм наступні переваги [2]:

- багатократне використання державок;
- усунення процесу заточування та пайки інструменту;
- формування необхідної геометрії ріжучого клину при виготовленні пластин;
- підвищення експлуатаційної стійкості інструменту на 25–30 % за рахунок відсутності термічної напруги, що виникає під час процесу пайки пластин;
- економія дорогих компонентів твердого сплаву;
- повернення використаних змінних багатограних пластин складає 90 %, у той час як напайних – близько 15 % [3];
- скорочення часу заміни ріжучих кромок, у т.ч. – безпосередньо на верстаті, не знімаючи ріжучий інструмент;
- можливість використання зносостійкого покриття на всіх ріжучих лезах;
- підвищення якості, точності та надійності обробки;
- підвищення швидкості різання;
- підвищення продуктивності обробки;
- зниження витрат на інструмент за рахунок придбання лише пластин.

Однак, на сьогоднішній день лідери інструментального виробництва: Sandvik Coromant, Iscar, Mitsubishi, Horn, Fette, Taegu Clamp та ін. пропонують машинобудівній промисловості канавкові та відрізні різці (табл. 1), які мають спеціальну складну і нетехнологічну конструкцію, що значно підвищує собівартість їх виготовлення. Більшість з них використовуються лише для відрізання прутків малого діаметру, або тонкостінних труб, або виконання неглибоких канавок. Окрім цього інструментальні виробники використовують багатогранні ріжучі пластини спеціальної форми, які мають обмеження по діаметру відрізання (табл. 2), що є наслідком їх бічного закріплення гвинтом на державці різця. Багатогранні пластини простої форми за ГОСТ 19043–80... ГОСТ 19081–80, ГОСТ 24247–80...ГОСТ 24257–80 [4] на відрізних та канавкових різцях не застосовують.

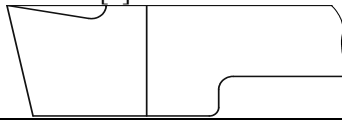
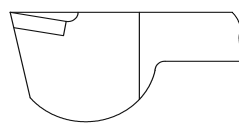


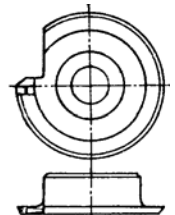
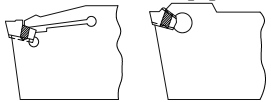

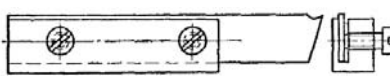
У вітчизняному виробництві в основному використовуються відрізні і канавкові різці з напаяними пластинами, що погіршує умови їх виготовлення і експлуатації. Тому необхідним є усунення вказаних недоліків, що виконано в даній роботі.

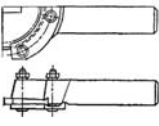
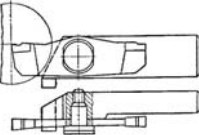
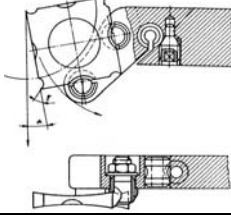
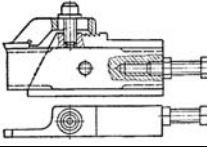
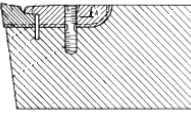
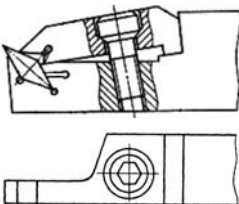
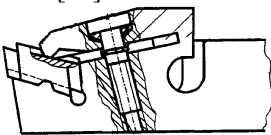

Прогресивною є тенденція застосування для відрізних та канавкових різців багатограних пластин


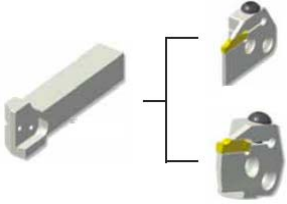
простої форми, що дозволяє не тільки підвищити продуктивність їх роботи, а й зменшити вартість ріжучої пластини, в т.ч. у перерахунку на кожну ріжучу кромку.

Таблиця 1

Результати аналізу еволюції відрізних різців та їх аналіз

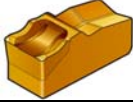
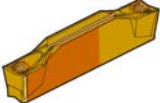


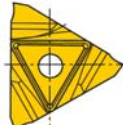



Конструкції канавкових та відрізних різців	Переваги	Недоліки
1	2	3
Цільні та з привареною ріжучою частиною [5]. 	1.Простота конструкції; 2.Забезпечення високої жорсткості; 3.Дешевизна виготовлення.	1. Потреба виконання переточувань; 2. Потреба в знятті з верстату та подальшою установкою та настроюванням різців
З напаяними переточуваними пластинами а)  б) праві  ліві 	1.Простота конструкції; 2.Забезпечення високої жорсткості; 3.Економія інструментального матеріалу; 4. Відносна дешевизна виготовлення. 1. Відрізання без залишку центрального виступу	1. Відносна складність і трудомісткість процесу напайки пластин; 2. Поява додаткових згинальних напружень; 3. Підвищена чутливість до викрашування та поломок пластин 3. Потреба виконання переточувань; 4. Потреба в знятті та установці з подальшим настроюванням різців.
Дискові 	1. Для цільних – значна кількість переточувань; 2. Для оснащених алмазом – при відрізанні заготовок із бронзи та латуні стійкість вище у 100 разів [6];	1. Невелика міцність алмазу і тому, як наслідок, використовується для обробки при відносно малих навантаженнях [7].
З пружним закріпленням спеціальних пластин [8]. 	1. Простота конструкції; 2. Надійність кріплення ріжучих пластин.	1.Складність виготовлення; 2.Застосування пластин спеціальної форми; 3.Потреба виконання переточувань пластин.
З пружним кріпленням непереточної спеціальної форми пластини 	1. Простота конструкції; 2. Надійність закріплення ріжучих пластин; 3. Відсутність процесу напайки пластин.	1. Застосування ріжучих пластин спеціальної форми; 2. Висока вартість ріжучих пластин; 3. Обмеження по кількості ріжучих кромки.
З ріжучою вставкою [9]. 	1. Технологічність конструкції; 2. Великий виліт ріжучої вставки; 3.Можливість регулювання величини вильоту ріжучої вставки.	1. Низька жорсткість конструкції різця; 2. Ненадійне закріплення ріжучої вставки; 3. Потреба переточки ріжучої вставки.

1	2	3
Секторні [10]. а)  б) 	1. Можливість регулювання переднього та заднього кутів; 2. Збільшення часу роботи за рахунок двосторонньої конструкції різального сектора; 3. Економія часу на наладку верстата при переточках різця, оскільки знімається лише різальний сектор.	1. Складність виготовлення; 2. Низька жорсткість конструкції різця; 3. Напаяна пластина різального сектора, яка потребує постійної переточки та витрат, пов'язаних з виконанням даної операції.
З багатогранною різучою вставкою, у т.ч. з напайними пластинами [11]. 	1. Збільшення кількості різучих кромки інструменту; 2. Підвищення економічного ефекту від використання даних різців; 3. Економія часу на наладку верстата при переточках різця, оскільки знімається лише різуча вставка.	1. Складність конструкції; 2. Обмеження діаметру відрізуваних заготовок – до 100 мм; 3. Низька жорсткість; 4. Потреба переточки різучої вставки.
З механічним кріпленням переточуваних пластин спеціальної форми [12– 14]. а) 	1. Надійне кріплення різучої пластини у гнізді державки; 2. Відсутність процесу напайки пластин.	1. Висока складність виготовлення; 2. Застосування пластин спеціальної форми; 3. Потреба виконання переточувань пластин.
б) 	1. Надійна фіксація переточуваної різучої пластини.	1. Спеціальна форма пластини; 2. Складність виготовлення; 3. Зниження міцності головки, накладки та різбової частини
в) 	1. Підвищена жорсткість та надійність кріплення різучих пластин незалежно від розмірного допуску для визначеного типорозміру пластин за рахунок утворення подвійного затиску.	1. Спеціальна форма пластини; 2. Висока складність виготовлення.
З клеєвим затисканням різучої пластини [15]. 	1. Надійна фіксація переточуваної різучої пластини	1. Висока складність виготовлення.
З механічним кріпленням непереточуваної пластини спеціальної форми [16]. 	1. Надійне кріплення різучої пластини у гнізді державки; 2. Відсутність процесу напайки пластин; 3. Відсутність процесу переточувань різучих пластин; 4. Підвищена стійкість різців за рахунок зносостійкого покриття різучої пластини на всіх лезах.	1. Складність виготовлення; 2. Застосування пластин спеціальної форми; 3. Висока вартість різучих пластин; 4. Обмеження по кількості різучих кромки; 5. Обмеження по можливостям закріплення різучих пластин.

1	2	3
<p>3 бічним кріпленням багатогранної пластини</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Надійне закріплення ріжучої пластини у гнізді державки; 2. Відсутність процесу напайки пластин; 3. Відсутність процесу переточувань ріжучих пластин; 4. Підвищена стійкість різців за рахунок зносостійкого покриття ріжучої пластини; 5. Мінімальна ширина різання до 1 мм. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Складність конструкції різців та пластин; 2. Великі витрати дефіцитного матеріалу на виготовлення ріжучих пластин спеціальної форми; 3. Обмеження діаметру відрізання за рахунок бічного кріплення пластини – до 6,5 мм; 4. Підвищена чутливість до поломок.
<p>3 різцевими блоками</p> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Використання однієї державки для виконання усіх токарних операцій; 2. Уніфікація головок полегшує їх автоматичну заміну на верстатах з ЧПК. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Складність виготовлення; 2. Застосування пластин спеціальної форми; 3. Висока вартість; 4. Обмеження діаметру відрізання.

Таблиця 2

Сучасні канавкові та відрізні пластини

Позначення	Рисунок	Призначення
Q-Cut		для глибокого відрізання – до 55 мм
CoroCut 2		для відрізання прутків діаметром до 30 мм
CoroCut XS		для високоточної зовнішньої обробки малорозмірних деталей на пруткових автоматах
CoroCut MB		для внутрішньої обробки отворів діаметром 10–25 мм
CoroCut3		для неглибокого відрізання – до 6,4 мм.
Multicut 4		для неглибокого відрізання – до 6,5 мм
PentaCut		для неглибокого відрізання – до 10 мм
U-Lock		для обробки внутрішніх та зовнішніх канавок – до 6 мм.

Найбільш доцільним є застосування для токарних різців стандартних багатограних непереточуваних твердосплавних ріжучих пластин, зокрема – за ГОСТ 19043–80... ГОСТ 19081–80, ГОСТ 24247–80...ГОСТ 24257–80 [16]. Але пряме їх використання при бічній установці неможливе внаслідок

значного перехідного радіусу на вершинах бічних граней.

Для торцевих фрез подібна задача вирішена у патенті РФ [17], за рахунок виконання пластин із радіусними викругленнями-стружковими канавками, або лисками на вершинах бічних сторін пластин, конструкція яких, на прикладі квадратної та ромбічної пластини, показана на рис. 1.

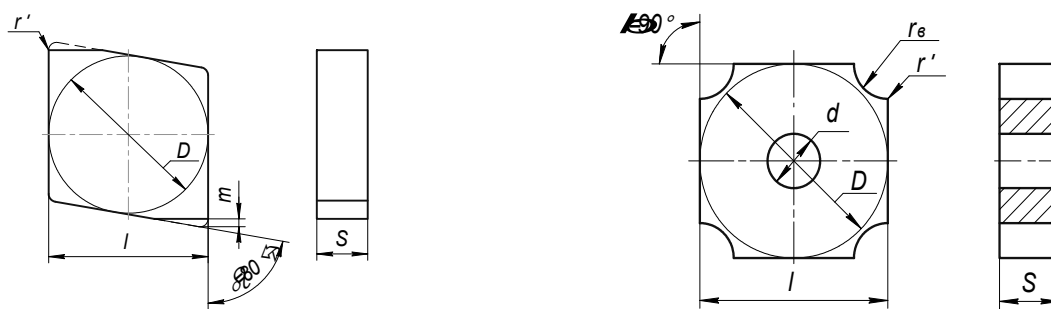


Рис. 1. Ромбічна та квадратна непереточувані ріжучі пластини з лисками та викругленнями-стружковими канавками на вершинах

Головними перевагами даних пластин є вилучення перехідної ділянки радіусного сполучення бічних ріжучих кромки за рахунок виконання лисок, або радіусних викруглень-стружкових канавок радіусу r_e , що сполучаються по нормалі з ріжучими кромками, або лисок. При цьому можливе зменшення радіусу перехідної ділянки сполучення канавок з ріжучими кромками до $r \approx 0,01$ мм, що усуває несприятливі умови різання і забезпечує можливість застосування нового виду пластин для чистової обробки і для поліпшення процесу відділення стружки при чорновій обробці.

Однак для відрізних різців необхідне вирішення наступної задачі – забезпечення на цих пластинах необхідних бічних задніх кутів, що виконано у патенті РФ [18]. В ньому запропоновані у пластин з лисками (рис. 2) і викругленнями-стружковими канавками (рис. 3), у яких на бічних сторонах у вершин виконані виступи різної форми: квадратної (а, б), квадратної з короткими (в, г) і довгими (д, е) укосами, пірамідальної (з, ж), конічної (і, л) і сферичної (л, м); або виконані на основах пластин піднутрення різної увігнутої форми: сферичної (н, р), радіусної (о, с) або кутової (п, т).

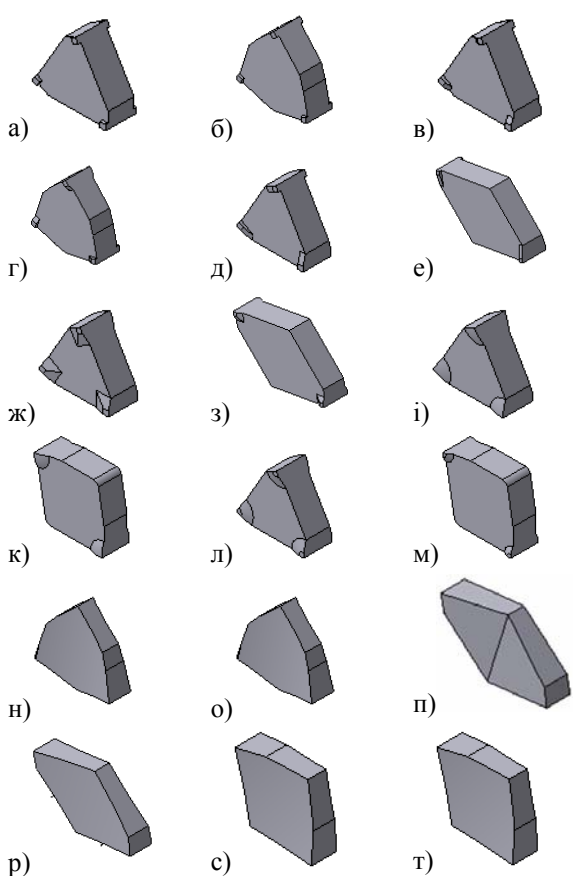


Рис. 2. Форми пластин з лисками на вершинах, які мають виступи і піднутрення на бічних сторонах

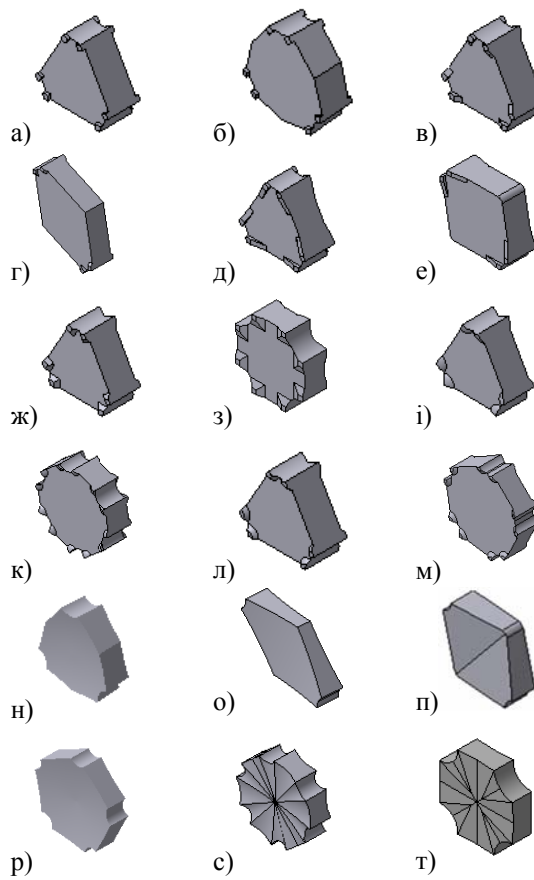


Рис. 3. Форми пластин з викругленнями на вершинах, які мають виступи і піднутрення на бічних сторонах

Нові конструкції пластин усувають вказані недоліки, їх застосування є ефективним для відрізних

різців, що дозволило розробити їх нові конструкції.

На рис. 4 показано відрізний різець із пружним закріпленням багатограних непереточуваних ріжучих пластин. Дані різці дозволяють вести відрізку прутків діаметром до 150 мм. Однак їх недоліком є відсутність надійної фіксації ріжучої пластини від дії осьової сили різання P_x . Усуває даний недолік конструкція відрізного різця, що показано на рис. 6, у якій надійна фіксація ріжучої пластини забезпечується прихватом, на якому виконані внутрішні фаски, що охоплюють ріжучу пластину. Використання різців із П-подібним корпусом (рис. 5) найбільш доцільне для відрізки труб з товщиною стінок до 20 мм та прутків діаметром до 40 мм.

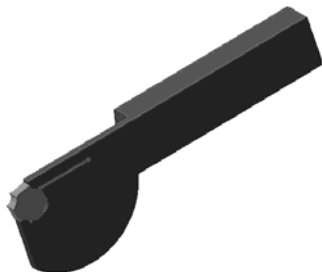


Рис. 4. Відрізний різець з пружним закріпленням БНП

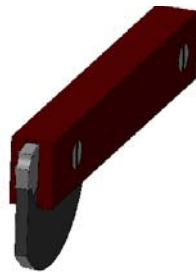


Рис. 5. Відрізний різець з П-подібним корпусом

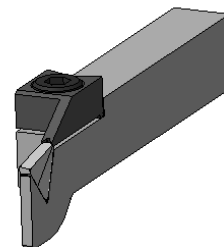


Рис. 6. Відрізний різець з осьовою фіксацією пластини

Висновки. Головні переваги запропонованих різців – можливість застосування швидкозмінних непереточуваних твердосплавних пластин, які мають зносостійке покриття на всіх ріжучих кромках, що не знімається при переточуваннях і підвищує їхню стійкість в 1,5 рази та створює резерв для росту продуктивності відрізки на 15...20 %, значно збільшуючи економічний ефект від їхнього застосування.

Виключення переточувань і багаторазове використання корпусу зменшує подальші витрати споживача лише на придбання пластин, вартість яких, при виготовленні їх пресуванням, буде близька до вартості звичайних пластин.

Найбільш ефективними і надійними є різці із П-подібним корпусом. Вони можуть застосовуватися для обробки канавок, відрізки труб з товщиною стінок до 20 мм і прутків діаметром до 40 мм, що найбільш ефективно для пруткових автоматів.

Конструкції відрізних різців з відтягнутою голівкою застосовуються для відрізки прутків діаметром > 20 мм.

Запропоновані конструкції пластин і різців є більш ефективними, ніж пластини та різці концерну Sandvik Coromant, ISCAR та ін., оскільки їхня вартість, у перерахунку на одне ріжуче лезо, нижче в 2 і більше разів, що дуже важливо для України, промислове виробництво якої не має великих об'ємів для окупності дорогого інструменту. При цьому пластини CoroCut 3 та Pentacut, що забезпечують діаметр відрізання до 10 мм, можуть бути повністю виключені, тому що запропоновані пластини забезпечують більший діаметр відрізання, простіші та дешевші від них у виготовленні.

Загальною їхньою перевагою є можливість переустановки багатограних пластин після зношування вершин, що виключає потребу в переточуваннях і дозволяє багаторазово використати корпус.

Сукупність зазначених факторів підтверджує доцільність широкого впровадження запропонованих пластин та різців.

Література

1. Моховиков А. А. Повышение прочности отрезных и канавочных резцов за счет равнопрочной формы лезвия: автореф. дис. на соискание учен. степени канд. технич. наук: спец. 05.03.01 «Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки» / А. А. Маховиков. – Томск, 2004. – 18 с.
2. Фельдштейн Е. Э. Металлорежущие инструменты: справочник конструктора / Е. Э. Фельдштейн, М. А. Корниевич. – Минск: Новое знание, 2009. – 1039 с.
3. Пластини сменные многогранные твердосплавные: технический каталог / ОАО «Кировоградский завод твердых сплавов». – 2009. – 55 с.
4. Справочник инструментальщика / [И. А. Ординарцев, Г. В. Филиппов, А. Н. Шевченко и др.]. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.
5. Семенченко И. И. Режущий инструмент / Семенченко И. И. – ОНТИ, 1936. – 554 с.
6. НИИАЛМАЗ. Алмазные инструменты. – М.: НИИМАШ, 1968. – 41 с.
7. Родин П. Р. Металлорежущие инструменты / Родин П. Р. Издательское объединение «Вища школа», 1974. – 400 с.
8. Сборный твердосплавный инструмент / [Г. Л. Хаев, В. М. Гах, К. Г. Громаков и др.]. – М.: Машиностроение, 1989. – 256 с.
9. Веселовский С. И. Разрезка материалов / Веселовский С. И. – М.: Машиностроение, 1973. – 360 с.
10. Радионов Г. М. Секторные отрезные резцы / Радионов Г. М. – М.: ГОСИНТИ, 1966. – № 6– 66–

1500/144. – 3 с.

11. А. с. 764855 СССР, МКМ В23 В27/16. Сборный отрезной резец / Г. Я. Потемкин (СССР). – № 2516465/25– 08; заявл. 18.08.77; опубл. 23.09.80, Бюл. № 35.

12. Ревко Р. Д. Сборный отрезной резец / Ревко Р. Д. – М.: ГОСИНТИ, 1964. – № 24– 64– 948/303. – 2 с.

13. А. с. 831059 СССР, МКМ В23 В27/16. Резец / Влайко Михич (Швеция). – № 2119044/25– 08; заявл. 02.04.75; опубл. 15.05.81, Бюл. № 18.

14. А. с. 1458092 СССР, МКМ В23 В27/16. Резец / А. Ю. Милентьев, А. Б. Слепаков (СССР). – № 4290032/30– 08; заявл. 27.07.87; опубл. 15.02.89, Бюл. № 6.

15. А. с. 1757773А1 СССР МКМ В23 В27/04. Канавочный резец / Б.О. Анмегилян, А. В. Честных (СССР). – № 4925807– 08; заявл. 04.04.91; опубл. 30.08.92, Бюл. № 32.

16. Каталог фирмы ISCAR. – 2010. – 29 с [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.iscar.com/>

17. Пат. 2318634 Российская Федерация, МПК В23С5/06, В23С5/20, В23Р15/34, В24В39/06. Торцовая режущая, режуще-деформирующая и деформирующая фреза, рабочие пластины к ней и способ их изготовления, способ обработки деформирующей фрезой / Настасенко В. А., Урсал К. Г.; заявитель и патентообладатель Настасенко В. А. – № 2005110805/02; заявл. 13.04.05; опубл. 10.03.08, Бюл. № 7.

18. Пат. 2366542 Российская Федерация, МПК В23В27/04. Сборный отрезной резец и режущие пластины к нему / Настасенко В. А., Бабий М. В.; заявитель и патентообладатель Настасенко В. А. – № 2007111687/02; заявл. 29.03.07; опубл. 10.09.09, Бюл. № 25.

Надійшла 3.11.2010 р.

УДК 621.914.28

В.В. ВИРИЧ

НПО «Заря-Машпроект», г. Николаев,

ЭВОЛЮЦИЯ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ДИСКОВЫХ ОТРЕЗНЫХ ФРЕЗ

Проведен анализ эволюции дисковых отрезных фрез от цельных конструкций из быстрорежущих сталей, до сборных, с механическим креплением быстросменных многогранных неперетачиваемых пластин. Предложен наиболее перспективный путь их развития, с установкой пластин в гнезде корпуса фрезы на их боковую грань.

The analysis of evolution of disk detachable milling cutters is conducted from whole constructions from rapid cutting steels, to the combined teams, with the mechanical fastening of rapid replacement many-sided throw-away plates. The most perspective way of their development is offered, with setting of plates in the nest of corps of milling cutter on their lateral verge.

Ключевые слова: дисковые и отрезные сборные фрезы, твердосплавные многогранные неперетачиваемые режущие пластины, механическое крепление пластин.

Введение. Работа относится к сфере производства и эксплуатации режущих инструментов, в частности – дисковых и отрезных фрез с механическим креплением неперетачиваемых режущих пластин.

Актуальность исследований и постановка задач работы. Главной тенденцией развития современного промышленного производства является повышение основных его технико-экономических показателей, к которым относят: рост производительности обработки и применяемых для этого инструментов, повышение их износостойкости, надежности, удобства использования и снижение трудоемкости их восстановления и обслуживания. В рамках этой тенденции – усовершенствование режущих инструментов является *актуальной и важной задачей*, поскольку от их показателей в конечном итоге зависят условия процесса резания, эксплуатации оборудования и качества обработки ими изделий. Решению данной задачи посвящено большое количество научных работ, только в Украине ежегодно выдаются десятки патентов на новые инструменты.

Однако создание и дальнейшее усовершенствование режущих инструментов, в частности – дисковых и отрезных фрез, широко применяемых в условиях серийного и крупносерийного производства, невозможно без анализа известных конструкций и разработки на этой базе современных стратегий их дальнейшего развития. Поэтому *целью выполняемой работы* является анализ эволюции данного вида инструментов и выбор основных путей их усовершенствования. *Научную новизну* данной работы составляет обобщение результатов анализа и поиск оригинальных прогрессивных конструкций, перспективных для современного и будущего производства.

Реализация поставленных в работе задач. Условием появления в XVIII веке дисковых отрезных фрез были потребности производства. Еще в древности для отрезки применяли плоские камни с зазубринами, а в бронзовом веке их сменили плоские прямые отрезные пилы двух видов – двуручные и ножовки [1]. Главным фактором их совершенствования был постоянно растущий диапазон распиливаемых материалов, в первую очередь – твердых пород древесины и камня. Применение пил с крупными зубьями для отрезки металлов было затруднительным, т.к. требовались значительные усилия резания, которые не могло обеспечить имеющееся в то время оборудование. Поэтому им предшествовали плоские напильники с мелкой и крупной насечкой [1].

Основными недостатками прямых пил, как режущих инструментов, являются: 1) наличие обратных ходов; 2) прерывистость процесса резания. Поэтому, в рамках объективных законов развития техники, была неизбежной потребность их устранения, что привело к созданию в XVI веке великим итальянским ученым – Леонардо да Винчи – прототипа фрезы, в виде вращающегося круглого напильника, а в 1777 году в Англии Самуил Миллер получил патент на круглую дисковую пилу [1], основа конструкции которой сохранилась до настоящего времени (рисунок 1).

В России круглые дисковые пилы начали применяться с 1825 года [2] и до настоящего времени они являются одним из наиболее распространенных инструментов для отрезки заготовок и других видов работ в мелкосерийном, серийном, а в ряде случаев – в крупносерийном производстве. Это объясняется относительной простотой, дешевизной и доступностью, как самого инструмента, так и используемого оборудования, что особо важно в условиях мелкосерийного и серийного производства, хотя они уступают в производительности и в ширине распила ленточным, пилам которые, из-за относительно высокой стоимости ленточнопильных станков, наиболее целесообразны в крупносерийном и массовом производстве.

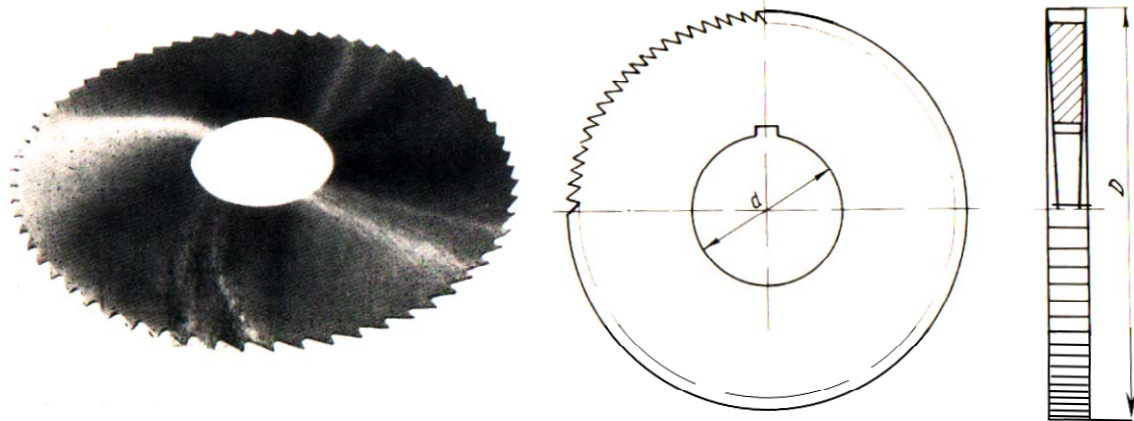


Рис. 1. Дисковая отрезная фреза простейшей конструкции

Однако, в ряде случаев обработки, например, при добыче камня из монолитных пород, дисковые пилы выполняют работу, невозможную для ленточных пил. Поэтому потребность в дисковых пилах была, и будет существовать всегда, что требует дальнейшего их усовершенствования, осуществляемого различными путями: 1) улучшения инструментальных материалов, 2) улучшения конструктивных и геометрических параметров зубьев и корпуса, 3) улучшения условий их изготовления и эксплуатации [2].

Эволюция инструментальных материалов. До первого десятилетия XX в. единственным материалом для изготовления режущих инструментов, в т.ч. – дисковых пил, были углеродистые инструментальные стали У10 – У12, содержащие от 1 до 1,2 % углерода. В начале XX в. были применены низколегированные стали, такие как У11Х, содержащие до 1 % хрома. Они отличались от углеродистых сталей более высокой прокаливаемостью и возможностью термической обработки в горячих средах, что значительно снизило их коробление и появление трещин. Однако по стойкости и производительности резания они незначительно отличались от углеродистых сталей, поскольку их основной стойкостной показатель – теплостойкость (температура, при которой твердость HRC режущих кромок снижается в 2 раза, по сравнению с исходной 62 – 65 HRC), повысилась лишь с 200°C, до 240°C [3]. Поэтому растущие мощности и скорости резания, обусловленные переходом от станков с общим приводным валом от паровых машин и ременной передачей, к станкам с индивидуальным электроприводом, привели к потребности дальнейшего совершенствования применяемых инструментов и их материалов.

Значительный прогресс в области режущего инструмента связан с созданием в начале XX в. первой высоколегированной инструментальной стали Р18, содержащей 18 % вольфрама, 4,5 % хрома и 1 % ванадия [3]. Ее стали применять также и для отрезных фрез. По сравнению с предшествующими легированными сталями она имела значительные преимущества по теплостойкости (до 630°C) и износостойкости, что обеспечило значительный скачок в металлообработке в целом и повысило ее производительность.

Однако существенным недостатком этой стали была высокая карбидная неоднородность, особенно в прутках большого сечения, что вело к выкашиванию режущих кромок инструмента и, как следствие, снижению его износостойкости, хотя для заготовок дисковых фрез, получаемых трехкратной ковкой из шайб, этот фактор существенно снижался. Более важным недостатком была относительная дороговизна стали Р18 и большой ее расход, особенно для фрез крупных диаметров. Поэтому, после создания более дешевой стали Р9, с уменьшенным до 9 % содержанием вольфрама, которая по механическим свойствам мало отличалась от стали Р18, но имела более высокую прокаливаемость и равномерную твердость (что снижало выкрашивание режущих кромок в процессе работы), ее стали широко применять, несмотря на худшую шлифуемость. Дальнейшее снижение стоимости материалов фрез связано с заменой стали Р9 на Р6М5, с 5 % добавкой молибдена, а для повышения ее механических и технологических свойств стали применять дополнительные легирующие материалы: кобальт, никель, титан и другие тугоплавкие металлы

[3]. Быстрорежущие стали марок P6M3 и P6M5 с твердостью после термообработки HRC 62 – 65 рекомендуются для обработки углеродистых и низколегированных сталей или чугунов средней прочности, а для труднообрабатываемых материалов следует применять фрезы из быстрорежущей стали повышенной производительности, марок P9K10, P14Ф4, P9M4K8Ф, P6M5K5 и другие по ТУ 128-68 и ГОСТ 19265-80, с твердостью после термообработки HRC 63 67 и теплостойкостью до 650 – 670°С [3].

Дальнейший значительный прогресс в области режущего инструмента связан с созданием в 30-е годы XX в. спекаемых методами порошковой металлургии твердых сплавов. Изначально их основу составили высокопрочные и жаростойкие карбиды вольфрама (98 – 90 %), связанные, для уменьшения их хрупкости, с более мягким и прочным на изгиб и растяжение кобальтом (2 – 10 %) [3], (твердые сплавы BK2 – BK10), такие материалы применяют для обработки чугуна и других высокопрочных хрупких материалов. Затем часть карбидов вольфрама заменили карбидами титана и применили их для обработки вязких материалов (например, в сплаве T15K6 карбиды титана составляют 15 %, кобальт – 6 %, остальное – карбиды вольфрама). При работе с ударами содержание кобальта в сплавах растет (рекомендуемый сплав T5K10), а для уменьшения количества дорогостоящих карбидов вольфрама – их замещают карбидами тантала (сплавы ТТК) и никеля (сплавы ТТНК). Современные тенденции усовершенствования твердых сплавов: 1) уменьшение зернистости (мелкозернистые – марки М, особо мелкозернистые – ОМ, у которых размеры спекаемых зерен не превышают 1 мкм, что уменьшает поры между ними); 2) повышение чистоты порошковых смесей; 3) оптимизация условий спекания.

Твердые сплавы обладают более высокой износостойкостью и теплостойкостью, чем режущие стали и не теряют своих режущих свойств при температуре резания от 750 до 1100°С. Они хорошо сопротивляются истиранию сходящей стружкой, а также адгезионному и диффузионному износу, т.к. карбиды вольфрама, титана и тантала, обладающие высокой твердостью и тугоплавкостью (более 2000° С), образуют твердую режущую основу сплава. Скорости резания твердыми сплавами и подачи в 2 – 5 раз выше, чем при резании быстрорежущей стали, что повышает производительность. Кроме того, твердосплавный инструмент пригоден для обработки закаленных сталей и многих других труднообрабатываемых материалов, в т.ч. таких, как гранит и базальт, применяемых в машиностроении для станин прецизионных станков, контрольно-измерительных приборов и им подобных изделий, что определяет сферы его предпочтительного применения [3].

Однако недостатками твердых сплавов являются: 1) дороговизна, 2) хрупкость (в 3-5 раз выше, чем у быстрорежущих сталей), 3) сложность изготовления и обработки, 4) небольшие размеры (максимум 60х60х60 мм), что требует применения сборных конструкций инструментов. При этом к изготовлению и креплению пластин в корпусе и к их эксплуатации предъявляются жесткие требования, которые постоянно растут.

Первый недостаток твердых сплавов – их дороговизну, устраняют созданные в 40-е годы XX века инструментальные материалы на основе оксидной минераллокерамики, состоящей из кристаллической окиси алюминия, которую, как и твердые сплавы, получают методом спекания и поставляют в машиностроительную промышленность в виде пластинок тех же размеров и формы что и твердые сплавы [3]. Минераллокерамика является наиболее дешевым и доступным материалом, поскольку не содержит в себе дефицитных материалов, при этом она обладает большой твердостью (HRA 91 – 93) и исключительно высокой теплопроводностью, а по теплостойкости (1500°С) превышает остальные инструментальные материалы, что позволяет работать нею на больших скоростях резания, значительно превышающих скорости резания твердых сплавов. Но ее недостатком является пониженная прочность на изгиб, низкая ударная вязкость и низкая сопротивляемость циклической температурной нагрузке, что исключает применение минераллокерамики для фрез, в т.ч. – дисковых и отрезных.

Наиболее прогрессивными в настоящее время являются созданные в 60-е годы XX в. композиционные сверхтвердые материалы (СТМ) на базе кубического карбида и нитрида бора, обладающие наиболее высокими технологическими и режущими способностями (теплостойкость до 1500°С, твердость до 110 HRA) [3]. Однако, из-за сложности получения (прессование при высоких температурах и давлении, подобных получению алмазов) их стоимость весьма высока. Поэтому при большом количестве режущих вставок, что характерно для дисковых и отрезных фрез, их применение может быть экономически оправдано лишь в особых случаях обработки, например, для закаленных металлов в условиях массового производства, или для резки материалов в оптической и полупроводниковой промышленности, где остаточные напряжения от резания недопустимы.

Совершенствование конструкций дисковых и отрезных фрез. Осуществлялось путем улучшения геометрии и формы зубьев, применения прогрессивных схем резания за счет различных направлений и формы зубьев. Современная конструкция цельных дисковых фрез с торцовыми зубьями требуемого для паза профиля показана на рисунке 2, а трехсторонних дисковых фрез с разнонаправленными зубьями – на рисунке 3 [3].

Основными тенденциями усовершенствования таких фрез является повышение точности и качества выполнения режущих кромок и всех ответственных поверхностей, а также изменение количества зубьев и их геометрии в зависимости от условий резания. Для повышения прочности зубьев задняя поверхность может быть выполнена с двумя углами наклона, увеличенным у вершины на 15 – 20°, либо выполнена по плавной кривой.

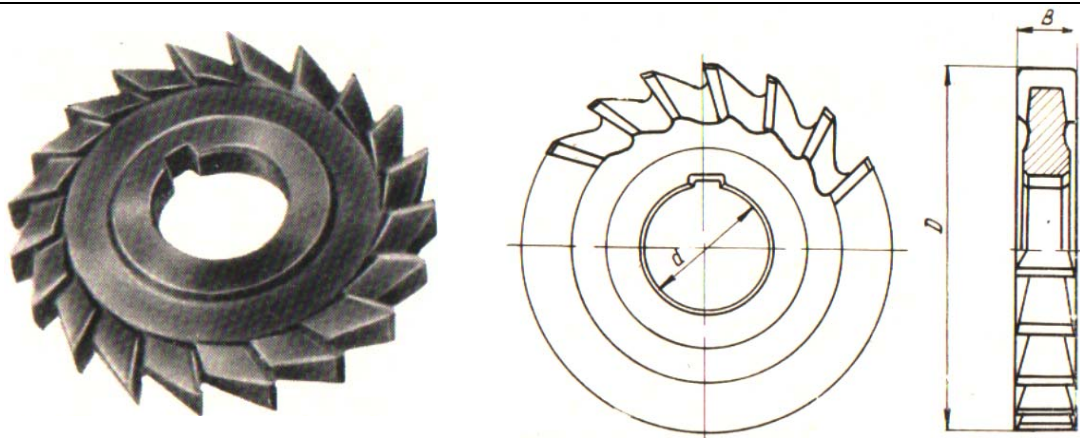


Рис. 2. Современная конструкция цельной дисковой фрезы с торцовыми зубьями прямобочного профиля

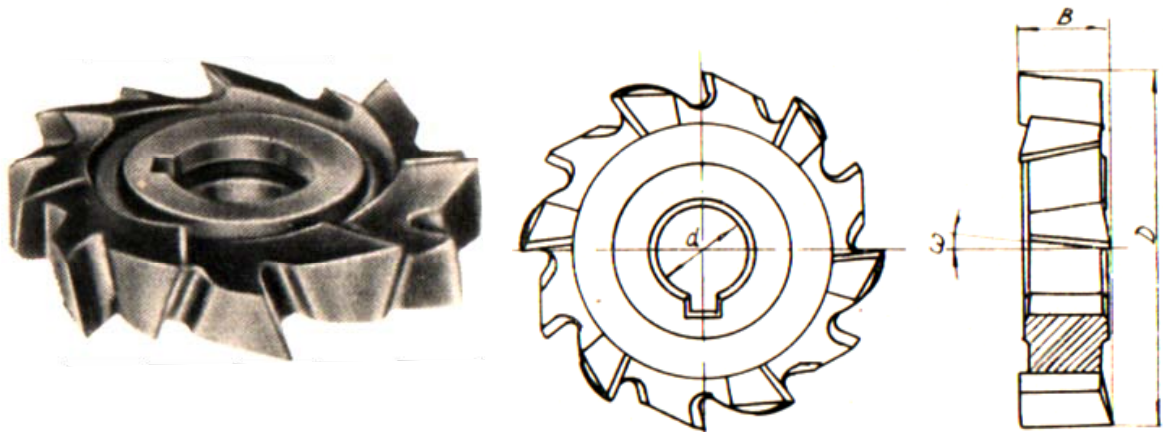


Рис. 3. Современная конструкция цельной дисковой фрезы с трехсторонней схемой резания

Основным путем экономии инструментальных сталей в отрезных фрезах стало применение сборных конструкций, как с напайными пластинами (рисунок 4), так и с механическим креплением самотормозящихся клиновидных пластин с фиксирующими их положение рифлениями (рисунок 5), а для упрощения их крепления – из сегментов зубьев (рисунок 6), выполненных из быстрорежущих сталей [3].

Подобно быстрорежущим пластинам, твердосплавные пластины присоединяют к корпусу дисковых и отрезных фрез напайкой (рисунок 4), а механическое крепление, подобное креплению быстрорежущих пластин с рифлениями (рисунок 5), недопустимо из-за хрупкости твердого сплава. Поэтому используют промежуточный элемент – ножи из конструкционной стали с рифлениями, в гнезде которого напаяна твердосплавная пластина (рисунок 7).

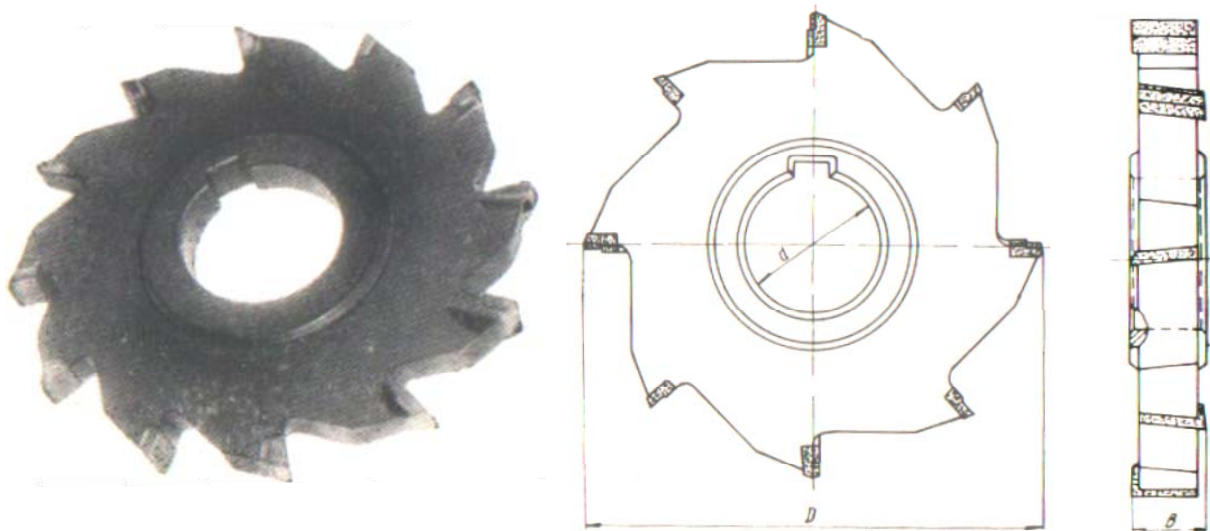


Рис. 4. Дисковая фреза с напайными пластинами из быстрорежущей стали или твердого сплава

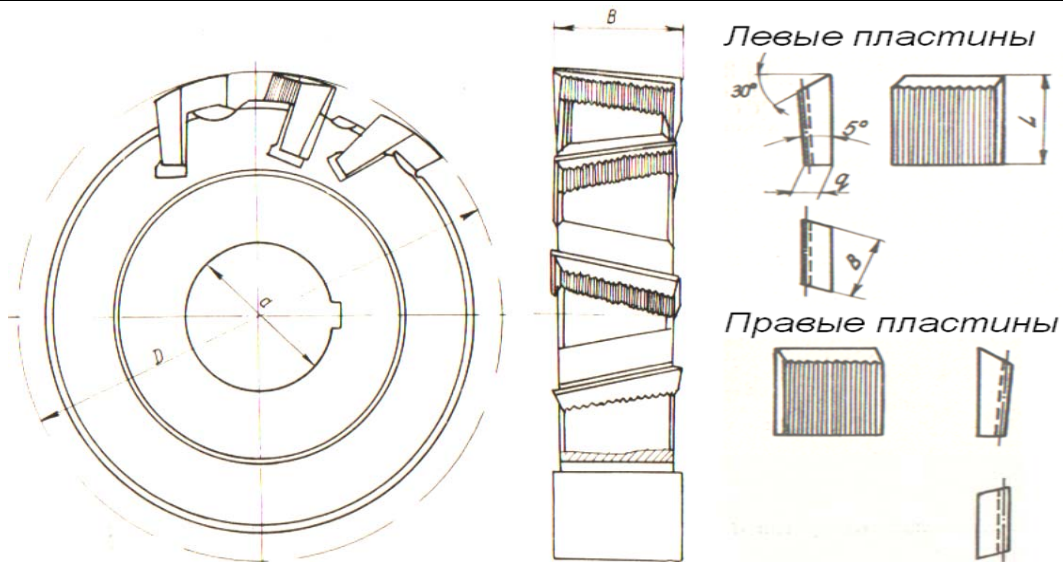


Рис. 5 Сборная дисковая фреза с механическим креплением быстрорежущих пластин клиновидной формы с рифлениями, фиксирующими их положение в гнезде

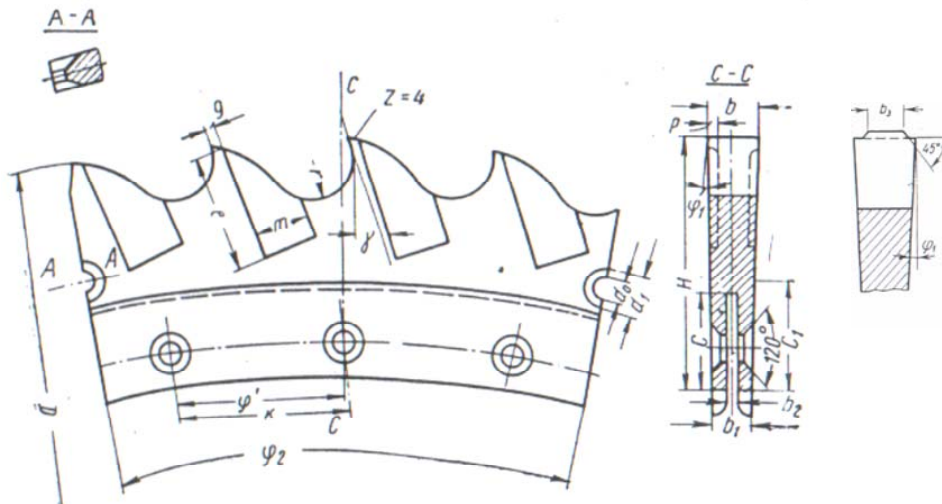


Рис. 6 Зубчатые сегменты из быстрорежущих сталей для установки на дисковых пилах

Для уменьшения хрупкого скалывания вершин пластин, ножи могут устанавливать с отрицательными передними углами в $6 - 12^\circ$, в т.ч. – за счет их смещения параллельно радиальной оси корпуса (рисунок 7). Однако для уменьшения сил резания более целесообразной является их радиальная установка и выполнение на режущих кромках пластин упрочняющих фасок шириной $0,4 - 1,2$ мм с отрицательным передним углом 6° и положительным задним углом $10 - 12^\circ$.

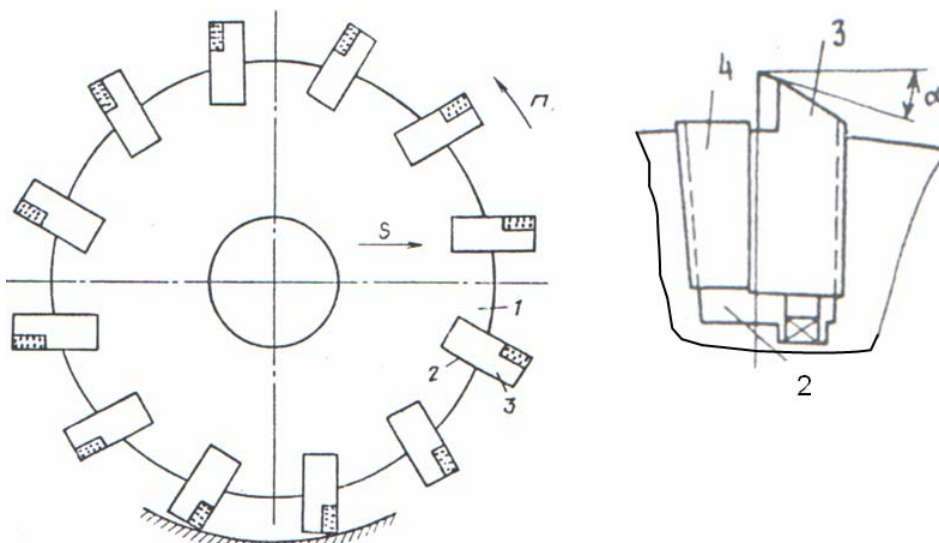


Рис. 7. Дисковая фреза 1 со вставными ножами 3 с напайными пластинами из твердого сплава и их крепление в пазу 2 дополнительным клином 4 с рифлениями

Применение сегментов из твердых сплавов, подобных показанным на рисунке 6, ограничено условиями прочности данной конструкции и предельно возможными размерами спекания пластин 60x60 мм, поэтому они практически не выполняются.

Современные конструкции сборных дисковых и отрезных фрез и их анализ. Главным недостатком напайки режущих пластин является то, что их, и корпус фрезы, разогревают до высоких температур, а при последующем их остывании, различные коэффициенты температурного расширения у твердого сплава и конструкционной стали корпуса, ведут к разной степени их сжатия. При этом в пластине возникают внутренние напряжения, сжимающие ее основание и выпучивающие ее верхнюю часть, что ведет к появлению на ней растягивающих напряжений, наиболее опасных для твердых сплавов, т.к. они вызывают раскрытие пор между зернами и развитие микротрещин, разрушающих далее пластины при контакте их со стружкой или СОТС в процессе резания.

В настоящее время наиболее прогрессивным исполнением твердых сплавов и быстрорежущих сталей является спекание их из мелкозернистых порошков в сменные многогранные неперетачиваемые поворотные пластины для механического крепления, что исключает потребность в переточках [2]. При этом исключаются:

- 1) потребности в заточном участке с требуемыми для него рабочими площадями, оборудованием, оснасткой, режущими и измерительными инструментами и др.;
- 2) затраты технологического времени, расход силовой электроэнергии и других расходных средств и материалов на выполнение переточек;
- 3) потребности в основном и вспомогательном персонале.

Кроме того, при наличии износостойких покрытий у неперетачиваемых пластин, оно сохраняется на всех сторонах режущих лезвий на протяжении всего периода их эксплуатации, что дополнительно сокращает их расход на 30-40 %.

Конструкция прорезной фрезы с механическим креплением упругими силами и силами резания неперетачиваемых пластин специальной формы [4] показана на рисунке 8. Ее главные достоинства – малая ширина паза, что позволяет достичь существенной экономии материала заготовки и снизить затраты на резание.

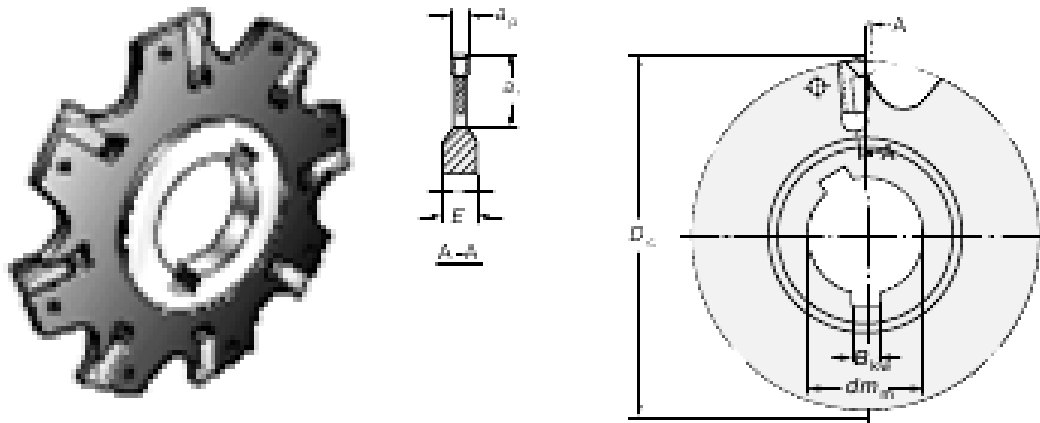


Рис. 8. Конструкция прорезной фрезы Шведской фирмы Sandvik Coromant с механическим креплением режущих пластин специальной формы

Сменные пластины для таких фрез позволяют многократно использовать корпус и исключают потребность в переточках. Однако данная фреза имеет ряд недостатков: 1) специальную форму пластин, 2) одну режущую кромку (рисунок 9), что ограничивает возможности переустановки пластин и увеличивает их расход.

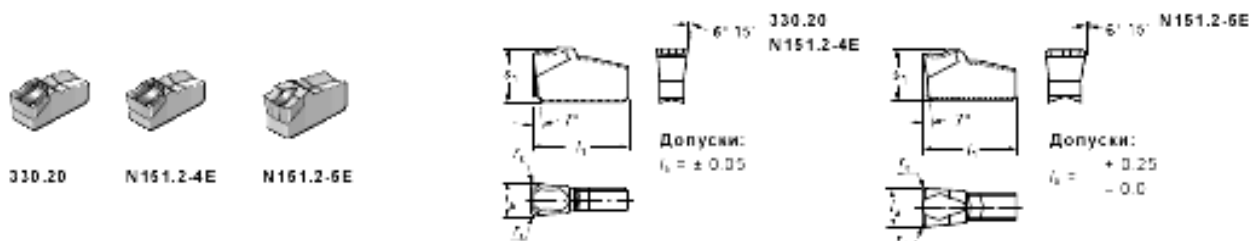


Рис. 9. Специальные отрезные пластины T-Max и Q-Cut фирмы Sandvik Coromant с одной режущей кромкой

Уменьшение второго недостатка возможно за счет применения специальных двусторонних пластин с двумя режущими кромками (рисунок 10).

Однако при этом увеличивается глубина прорези под пластины, что снижает прочность, жесткость и виброустойчивость фрезы, для повышения которых возможны 2 пути: либо увеличение диаметра фрезы,

что также снижает их прочность, жесткость и виброустойчивость, либо уменьшение количества режущих пластин. Повышение вибраций при работе ведет к отклонениям от правильной геометрической формы паза и ухудшает качество обработки поверхностей, а уменьшение количества пластин ведет к снижению режимов резания.

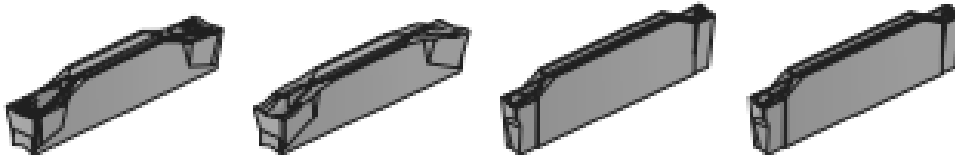


Рис. 10. Специальные пластины CoroCut 1–2 фирмы Sandvik Coromant с двумя режущими кромками

Разработаны также простейшие конструкции дисковых фрез с универсальными твердосплавными сменными многогранными режущими пластинами (СМП), например, квадратными (рисунок 11). Однако их недостатками являются: 1) неудобство крепления и замены пластин; 2) износ резьбовых отверстий в корпусе и возможность их поломок, что увеличивает расход корпусов, затраты на их приобретение и на отрезку в целом, 3) радиальная установка пластины, что сводит ширину распила или формируемого паза к суммарной ширине пластины и их сдвига и наклона в правую и левую сторону, для исключения затирания боковых кромок в пазу.

Замена квадратных пластин треугольными исключает их затирание в пазу, но проблематична, т.к. износ сразу пары вершин ухудшает возможности ее переустановки.

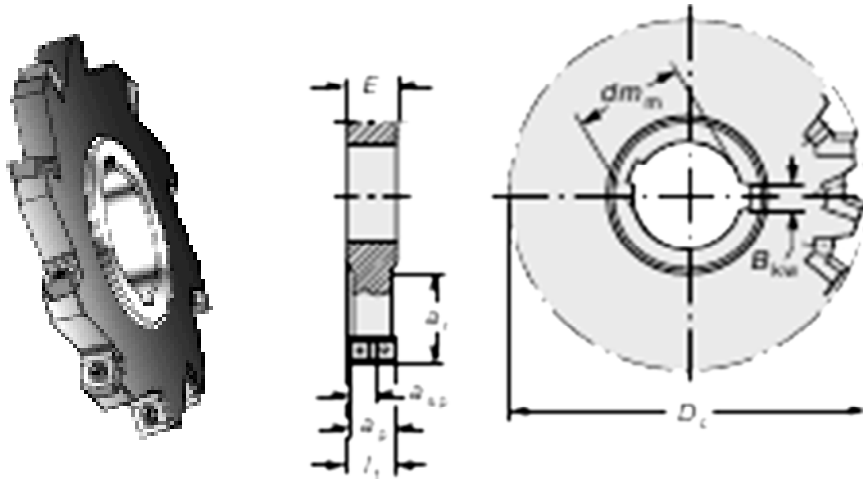


Рис. 11. Простейшая трехсторонняя дисковая фреза фирмы Sandvik Coromant с радиальной установкой универсальных многогранных неперетачиваемых пластин

Для повышения надежности и удобства крепления универсальных пластин, в т.ч. – без задних углов (что позволяет применять переустановку их на обратную сторону) разработан ряд более сложных конструкций дисковых фрез ведущих мировых фирм [5]. Их можно сгруппировать по способам выполнения базовых поверхностей под сменные многогранные пластины (а) и способам установки пластин в нужное положение (б, в):

- а) базы выполняют непосредственно в корпусе фрезы,
- б) используют вкладыши, которые устанавливают с помощью дополнительного приспособления;
- в) используют вкладыши, которые устанавливают с помощью регулировочного механизма, введенного в саму конструкцию фрезы.

Дисковые двухсторонние фрезы с механическим креплением СМП во многом аналогичны торцовым фрезам. Исключением являются лишь фрезы для обработки двух взаимоперпендикулярных поверхностей в относительно узких пазах или комплектные фрезы [5]. Необходимость соблюдения одинаковых геометрических параметров с обеих сторон фрезы при обеспечении удовлетворительных условий резания (угол наклона главной режущей кромки, деление стружки по ширине) требует выполнения закрытых баз под СМП, что существенно повышает трудоемкость изготовления фрез.

Двухсторонняя дисковая фреза конструкции ОАО "ВНИИинструмент" (рисунок 12, а) с механическим креплением сменных круглых неперетачиваемых твердосплавных режущих пластин 2, предназначена для обработки заготовок с радиусными уступами (в частности, на лапках сверл, зенкеров и т.д.). Однако чередование установки державок 4 на противоположную сторону позволяет использовать данную фрезу, как отрезную. При этом пластина 2 притягивается к базам корпуса 1 винтом 5 и державкой 4 с запрессованным в ней штифтом 3, для обеспечения надежного прилегания пластины к базам корпуса, в нем выполнены наклонные пазы, по которым скользят державки при заворачивании винта. Базы под режущие

пластины на корпусе, в случае их повреждения, можно восстановить точением [5].

Фирмой «Хайнлайн» (Германия) разработана конструкция трехсторонней фрезы с трехгранными СМП, технология изготовления которой значительно упрощается за счет устранения необходимости выполнения закрытых баз на корпусе фрезы (рисунок 12, б). Фреза состоит из корпуса 1, на ступицах которого винтом 8 закреплены кольца 7. Конические поверхности колец 7, служащих базами под режущие пластины 2, выполняются с одной установки инструмента второго порядка, что значительно повышает точность их выполнения. Введение открытых наклонных пазов в корпусе, служащих базами под режущие пластины, значительно облегчает их обработку и повышает точность выполнения баз. Пластины 2 крепят клиньями 6 и винтами 5. Для устранения повреждений корпуса фрезы в случае поломки СМП, клинья располагают за режущими пластинами, что также увеличивает объем

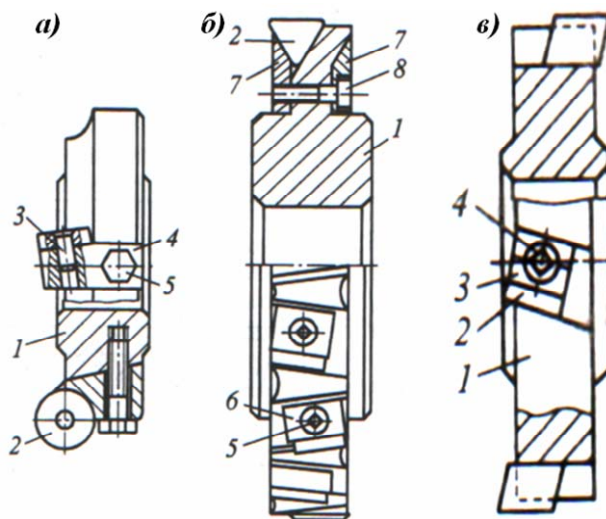


Рис. 12. Сборные дисковые фрезы с открытыми базами для крепления СМП

стружечных канавок и частично устраняет пакетирование стружки между зубьями. Однако такие фрезы имеют много крупногабаритных сопряженных деталей (1, 7), требующих точного исполнения [5].

Дисковая трехсторонняя фреза с механическим креплением твердосплавных СМП фирмы «Йонас энд Калвер» (Англия) [5], показанная на рисунке 12, б, исключает крупногабаритные детали, кроме корпуса. У нее режущие пластины 2, имеющие форму параллелограмма, закреплены в корпусе 1 клиньями 3 и винтами 4, размещены в смежных пазах и взаимно смещены в осевом направлении, что улучшает стружкоотвод и устраняет вибрации. Пластины не имеют опорной поверхности в осевом направлении фрезы, поэтому ступицы последней точно шлифуют до заданной ширины, что дает возможность легко установить пластины на одну и ту же ширину, поместив ступицу на поперечную плиту и установив пластины по одному торцу (через одну). Настраивать фрезу на ширину, отличающуюся от ширины ступицы, можно установкой ступицы на прокладки требуемых размеров. После износа одной режущей кромки пластин, их можно повернуть непосредственно на станке, используя индикатор. Однако настройка такой фрезы на размер требует значительных затрат времени (особенно при настройке фрезы на станке). Кроме того, при относительно высоких режимах резания, возможно смещение СМП в осевом направлении и повреждение корпуса фрезы в случае поломки режущей пластины [5].

С целью повышения срока службы корпуса фрезы и надежного крепления пластин, разработаны дисковые фрезы, показанные на рисунке 13, а-г, в которых предусмотрено использование вкладышей с двумя или тремя базами под пластины. Одна из простейших конструкций дисковой фрезы фирмы Sandvik Coromant с механическим креплением трехгранных СМП с задними углами [5] показана на рисунке 12, а. Пластины 2 устанавливаются в V-образных пазах вкладышей 5, которые закрепляют в корпусе винтом 6. Саму пластину крепят клином 3 и винтом 4. Однако она имеет те же недостатки установки пластин, что и предыдущая фреза.

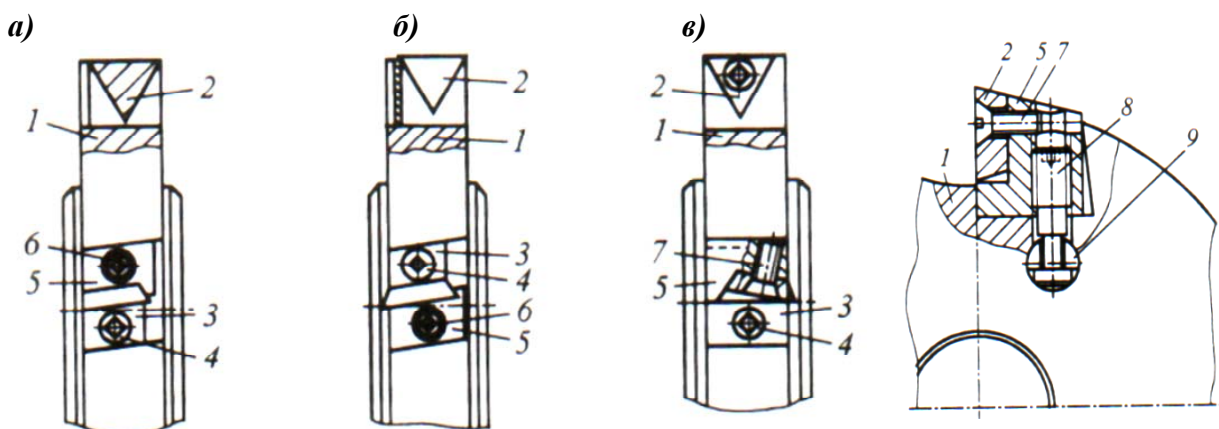


Рис. 13. Основные конструкции сборных дисковых фрез с вкладышами для крепления СМП трехгранной формы

Использование у фрез сменных вкладышей существенно снижает трудоемкость выполнения баз на ее корпусе, а также повышает срок его службы. Угол наклона пластин – разнонаправленный, способствующий устранению вибраций. Однако такая конструкция фрезы является достаточно сложной технологически, причем, в случае поломки СМП, повреждается и сложный в изготовлении вкладыш.

Германская фірма «Феттэ» [5] разработала конструкцію фрезы (рисунок 13, б), в пазах корпуса которой вкладыши 5 закрепляются винтами 6, а режущие трехгранные пластины 2 устанавливаются в V-образном пазу вкладышей и закрепляют их со стороны опорных поверхностей клиньями 3 с помощью дифференциальных винтов 4. Установка клина за режущей пластиной устраняет опасность повреждения вкладыша при поломке пластины, однако возникает возможность несовпадения опорной поверхности пластины с клином в случае регулировки вкладыша в осевом направлении, поэтому к точности изготовления такой фрезы предъявляются более высокие требования.

В данных конструкциях фрез регулировку положения вкладышей в осевом направлении осуществляют за счет зазора между крепежными винтами и отверстиями во вкладышах, что существенно ограничивает диапазон изменения ширины фрез. Кроме того, при режимах резания с большими значениями параметров, возможно смещение вкладышей под действием сил резания. Однако такие фрезы обеспечивают хороший стружкоотвод при работе с относительно малой глубиной резания, но ее увеличение и, особенно – обработка заготовок из вязких материалов, будет вести к «пакетированию» стружки между зубьями. Это вызвано малыми размерами стружечных канавок, которые, в свою очередь, ограничены размерами режущих пластин и клиньев.

Для устранения этого недостатка разработаны конструкции дисковых фрез с применением вкладышей, которые выходят за пределы корпуса фрезы, а передняя поверхность режущих пластин не закрыта элементами крепления, например, дисковая фреза фирмы «Планзея» (Австрия) [5]. В пазах корпуса этой фрезы установлены вкладыши 5 (рисунок 13, в), которые закреплены в корпусе фрезы клиньями 3 с помощью дифференциальных винтов 4. Режущие пластины 2 закреплены на вкладышах через центральные отверстия винтами 7 с коническими головками. На опорных поверхностях вкладыша и боковых поверхностях пазов корпуса выполнены рифления. Наличие рифлений предотвращает поворот вкладышей или их осевое смещение под действием сил резания. При этом изменение ширины фрезы не может быть менее шага рифлений 3 мм.

В ОАО «ВНИИинструмент» разработаны подобные дисковые фрезы с повышенной технологичностью настройки их ширины (рисунок 13, г) [5]. В пазах корпуса этой фрезы установлены вкладыши 5 с пластинами 2, закрепленными винтами с конической головкой 7. Вкладыши крепят в пазах корпуса специальными винтами 8, шейки которых входят в вилки 9, установленные в отверстиях корпуса. Такое крепление вкладышей обеспечивает изменение ширины фрезы до 5 мм. Положение вкладышей вдоль оси регулируют при предварительно затянутых винтах. Вкладыши размещают в пазах корпуса с небольшим перекосом (под некоторым углом ко дну паза), вследствие чего при закреплении их винтами возникают опрокидывающие моменты, гарантирующие контакт опорных поверхностей вкладыша с верхними зонами боковых поверхностей пазов. Это повышает жесткость конструкции, по сравнению с конструкцией фирмы «Планзея» (рисунок 13, в), в которой при закреплении вкладышей клиньями возможно отсутствие вышеуказанных контактов. Кроме того, в конструкции фрезы «ВНИИинструмент» отсутствуют рифления и резьбовые отверстия в корпусе, что улучшает ее технологичность. Также существенно упрощается выполнение гнезд под пластины во вкладышах относительно их опорных поверхностей, поскольку требуется выдерживать размер лишь в радиальном направлении.

С целью облегчения условий регулирования за счет исключения специальных приспособлений для наладки, а также для повышения надежности крепления вкладышей, разработаны конструкции дисковых фрез с использованием регулирующих элементов, показанных на рисунке 14 [5].

Фирма «Хертель» разработала конструкцию дисковой фрезы с тангенциальной установкой режущих пластин (рисунок 14, а) [5]. Режущие пластины 2 крепят на корпусе 1 изогнутыми штифтами 5 с коническими головками с помощью винтов 6. Положение пластин в осевом направлении регулируют штифтами 3 с лысками, с помощью винтов 4. Тангенциальная установка режущих пластин обеспечивает их высокую эксплуатационную прочность. При этом пластины имеют положительные передние углы, снижающие силы резания в процессе обработки. Однако, в случае поломки СМП, возможно повреждение трудоёмкого в изготовлении корпуса фрезы.

Кроме этого, данные фрезы отличаются большой шириной фрезерования 18,5...24,0 мм [5].

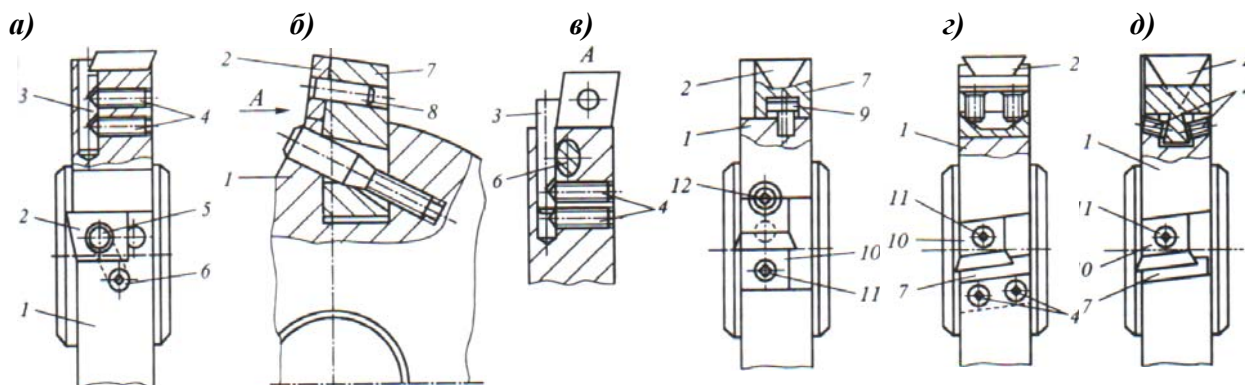


Рис. 14. Сборные дисковые фрезы ведущих фирм мира, с регулируемым креплением СМП

Во ВНИИинструмент также разработана конструкция трехсторонней дисковой фрезы с пластинами 2 в форме параллелограмма (рисунок 14.б) [5], которая более проста в изготовлении. В ней пластины 2 свободно установлены на штифты 8, запрессованные во вкладыши 7. Вкладыши вместе с пластинами перемещаются в пазах корпуса с помощью винтов 6, контактирующих своими коническими частками со скосами на вкладышах, вследствие чего режущие пластины притягиваются к базам. В радиальном направлении базы под режущие пластины выполняют точением. В осевом направлении пластины упираются в скосы штифтов 3, перемещаемых винтами 4. За счет перемещения штифтов и их скосов регулируют положение режущих пластин в осевом направлении. В этой конструкции можно использовать только СМП без задних углов, что ограничивает область применения этих фрез. Кроме того, в случае поломки пластин возможно повреждение корпуса.

Дисковая фреза фирмы «Хертель», показанная на рисунке 14.в [5], имеет корпус 1, в пазах которого винтами 12 закреплены вкладыши 7. Во вкладышах выполнены продольные пазы, в которые входят головки эксцентриков 9. При повороте эксцентрика вкладыш перемещается в осевом направлении, а пластины 2 крепят клиньями 10 с помощью дифференциальных винтов 11. Такой механизм регулирования предназначен в основном для обеспечения точности расположения режущих кромок СМП в осевом направлении, поскольку диапазон регулирования ширины фрезы достаточно мал.

Фрезы фирмы «Видиа Крупп» (Германия) имеют более широкий диапазон регулирования положения вкладышей в осевом направлении (рисунок 14.г). Для этого в корпусе фрезы выполнены Г-образные пазы, в которых размещены вкладыши 7. На вкладышах выполнены V-образные пазы, в боковые стороны которых упираются винты 4. Затягивая один винт и ослабляя другой, вкладыш перемещают в осевом направлении. После перемещения вкладышей в осевом направлении винты 4 затягивают до упора. Пластины 2 во вкладышах крепят со стороны их опорных поверхностей клиньями 10 с помощью дифференциальных винтов 11. При этом диапазон изменения ширины фрезы равен 1,5 мм [5].

Для увеличения диапазона изменения ширины фрезы фирма «Планзея» создала фрезу, представленную на рисунке 14.д. Здесь в пазах корпуса установлены вкладыши 7 со специальными выступами, в которые упираются регулировочные винты 4. Пластины 2 крепят со стороны их опорных поверхностей клиньями 10 с помощью дифференциальных винтов 11. Клинья располагают над выступами вкладышей. При этом диапазон изменения ширины фрезы составляет 10 мм [5].

Выводы. Анализ конструкций дисковых и отрезных фрез по работам [1-5] показал, что их развитие связано с переходом к сборным конструкциям с использованием твердых сплавов и СМП. Однако в настоящее время для повышения производительности чаще всего применяют сборные дисковые фрезы с механическим креплением ножей с напаянными перетачиваемыми твердосплавными пластинами. Объясняется это тем, что известные дисковые фрезы с механическим креплением СМП, неудобны в простейших конструкциях, либо имеют сложную трехстороннюю конструкцию, с базированием СМП во вкладышах, регулируемых в осевом направлении с помощью специальных приспособлений или с помощью регулировочных элементов.

При конструировании дисковых трехсторонних фрез необходимо предусмотреть открытые режущие кромки инструмента, а также получить заданные геометрические параметры с обеих сторон фрезы, т.к. процесс резания фрезами, имеющими малую ширину, характеризуется стесненными условиями стружкоотвода [5].

Трехсторонние дисковые сборные фрезы с СМП предназначены для обработки заготовок с уступами и пазами, в редких случаях применяются для отрезки. Основным недостатком данных конструкций фрез является большая ширина паза при отрезке – от 12 до 25 мм, что ведет к дополнительному расходу обрабатываемого материала и к увеличенной работе резания на превращение его в стружку. При этом большая площадь резания по всей ширине пластины увеличивает объем стружки и выделение тепла при ее срезании, что повышает нагрев заготовки и зубьев фрезы во время обработки паза, в котором теплоотвод ухудшен, и дополнительно снижает их износостойкость. Растут также мощность и силы резания, что увеличивает затраты силовой электроэнергии и технологическое время на отрезку, в свою очередь – повышая износ станков и расход твердого сплава. Радиальная установка пластин в корпусе отрезной фрезы не позволяет в полной мере повышать подачу, т.к. силу резания P_z твердосплавная пластина воспринимает в направлении наименьшей своей толщины.

Совокупность приведенных факторов свидетельствует о необходимости поиска новых путей усовершенствования дисковых и отрезных фрез.

Рекомендации. Более перспективной является установка СМП на их боковую грань, однако она невозможна из-за значительного радиуса сопряжения граней у их вершин. Устранение указанного недостатка предложено в патенте [6] за счет заточки на вершинах лысок или выкружек-стружечных канавок, исключая исходный радиус сопряжения боковых граней СМП. Предложены также новые конструкции сборных дисковых фрез с боковым механическим креплением СМП, от трехгранной, до круглой формы, установленных в пазах корпуса. Одна из конструкций предложенных в патенте [6] дисковых фрез показана на рисунке 15.

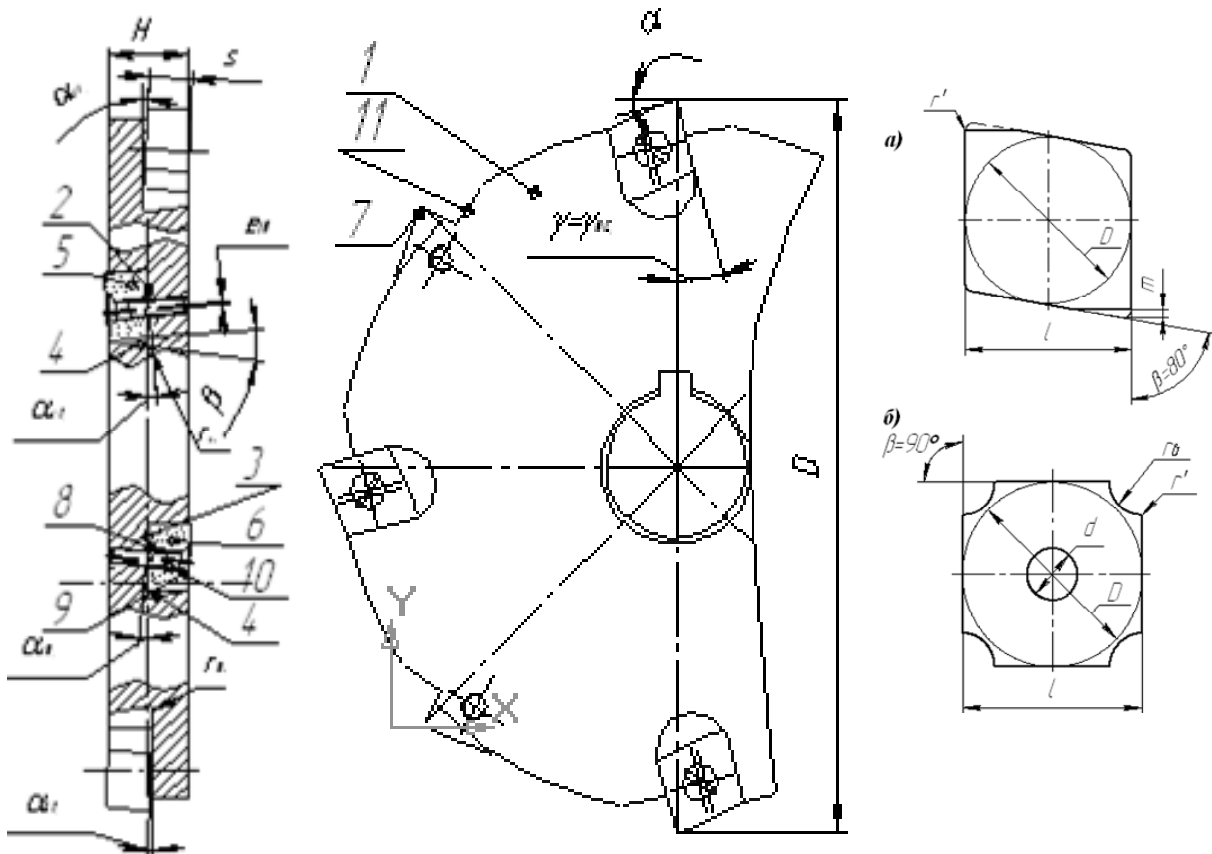


Рис. 15. Дисковая фреза с боковой установкой СМП, у которых переходные участки у вершин режущих кромок устранены лысками (а) или выкружками (б)

Крепление пластин в пазах может быть выполнено по их основанию, боковым сторонам и центральному отверстию, например, с помощью введенного в это отверстие винта с конической головкой, или поворотного эксцентрикового штифта. Возможна комбинация эксцентриковых и неподвижных штифтов, вводимых в отверстие, или установленных снаружи пластин, с упором в их боковую сторону, или в лыску, или в выемку на вершине. Для повышения надежности крепления пластин, в т.ч. не имеющих отверстия, крепежные элементы могут быть выполнены в виде клиньев, введенных в углубление клиновидной формы на стружечной канавке при контакте клина с боковой поверхностью пластины и закрепления его винтом, введенным в резьбовое отверстие, выполненное в корпусе во впадине стружечных канавок. При этом клинья могут иметь клиновидную форму в плане, или канавки могут быть выполнены в шахматном порядке под наклоном, обеспечивающим прижим пластины как к основанию и боковой стороне паза, так и к неподвижному штифту, введенному в центральное отверстие пластины, или контактирующему с ее боковой стороной, или с лыской, или с выемкой на вершине. Клинья могут быть установлены со стороны стружечной канавки или со стороны спинки зуба. В патенте Украины [6] предложены также другие варианты конструкций фрез и пластин, в общем количестве – 84 исполнения.

Работа предлагаемыми дисковыми и отрезными фрезами на фрезерных станках не отличается от работы базовых фрез, как по установке, так и по движениям резания. Отличия возникают автоматически лишь при срезании стружки, которая отделяется дополнительно заточенными режущими кромками с переходными радиусами $< 0,01$, созданными лысками или выемками на боковой стороне пластин у вершин боковых граней, затем она автоматически отводится от режущих кромок пластин в стружечные канавки корпуса.

Изготовление и применение предлагаемых фрез возможно в реальных условиях промышленного производства и дает значительный эффект по сравнению с базовыми фрезами, как по режимам обработки, так и по ширине прорези, которая уменьшается с 12 – 14 мм, до 6 мм, что в 2 – 2,5 раза снижает работу резания, адекватно повышая стойкость и производительность фрез, сокращает затраты силовой электроэнергии и снижает износ оборудования, а также существенно экономит материал разрезаемой заготовки. Для изготовления дисковых и канавочных фрез возможно увеличение ширины реза за счет установки 3-х и большего количества пластин в шахматном порядке. Преимуществом предлагаемых фрез от известных является конструктивное увеличение толщины СМП в направлении действия сил резания за счет их боковой установки, что создает резерв для повышения технологических режимов фрезерования.

Наиболее простыми в изготовлении в условиях мелкосерийного и серийного производства являются дисковые и отрезные фрезы, оснащенные ромбическими или трехгранными пластинами с лысками на вершинах, обеспечивающими 2 и 3 переустановки, а в условиях крупносерийного и массового производства – оснащенные квадратными пластинами с выкружками, что доводит количество их переустановок до 8.

Совокупність приведених факторів дозволяє рекомендувати пропозиційні фрези і режущі пластини к ним к широкому внедрению.

Литература

1. Рубинцев С.А. Основы учения о резании металлов и режущий инструмент/ Рубинцев С.А., Левант Г.В и др. – М.: Машиностроение, 1968. – 258 с.
2. Родин П. Р. Металлорежущие инструменты / Родин П. Р. – М.: Высшая школа, 1986. – 482 с.
3. Ординарцев И.А. Справочник инструментальщика / Ординарцев И.А., Филиппов Г.В., А.Н. Шевченко и др. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1987. – 846 с.
4. Каталог продукции концерна Sandvik Coromant 2006 года.
5. Баранчиков В.И. Справочник конструктора-инструментальщика / Баранчиков В.И., Боровский Г.В. и др. – М.: Машиностроение. 2006. – 524 с.
6. Патент України на винахід № 91670, МПК В23 С 5/02. Збірна дискова фреза та ріжучі пластини до неї (варіанти). Заявка № 200603692 від 04.04.06. Авт. винах. Настасенко В.О., Яремчук М.Л // Бюлетень Патенти України, 2010, № 16 від 25.08.2010.

Надійшла 23.11.2010 р.

УДК 691

Ю.С. БІКС

Вінницький національний технічний університет

ПОБУДОВА ФУНКЦІЙ НАЛЕЖНОСТІ НЕЧІТКИХ ОЦІНОК ВПЛИВУ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ НА ПРОГНОЗОВАНУ МІЦНІСТЬ БЕТОНУ

Розглянуто методику побудови функцій належності для прогнозування міцності бетону з врахуванням кількісних та якісних факторів впливу на прикладі лінгвістичної змінної "вплив тиску". Отримані кількісні оцінки ступеня впливу тиску та інших кількісних та якісних факторів на міцність бетону на основі теорії нечіткої логіки.

Building Method of belonging functions for predictable concrete strength by taking into account quantitative and qualitative influence factors on instance of linguistic variable "pressure influence" has been considered. Quantitative value of pressure influence index and other quantitative and qualitative factors for concrete strength based on fuzzy logic has been obtained.

Ключові слова: бетон, моделювання, ієрархічні рівняння, нечітка логіка, експертні оцінки.

Вступ. Зростання цін на енергоносії потребує від будівельної індустрії при виготовленні бетонів впровадження енерго- та ресурсозберігаючих технологій. На стадії проектування енергоощадних складу та технології виготовлення бетону та бетонних виробів прогнозована міцність може бути забезпечена використанням науково обґрунтованих методик, що базуються на результатах математичного моделювання [1–3].

Оскільки на прогнозовану міцність бетону та бетонних виробів впливають фактори, які характеризуються кількісними та якісними параметрами, то для оцінювання технологічних та фізико-механічних факторів впливу запропоновано математичну модель у вигляді ієрархічної системи нечітких логічних рівнянь [4, 7]. Для створення експертно-моделюючої системи прогнозування міцності бетону з використанням нечітких логічних рівнянь необхідно встановити аналітичні моделі функцій належності експертних нечітких баз знань прогнозованого впливу кількісних та якісних факторів, що характеризують склад та технологію виготовлення бетону [1].

Аналітичне обґрунтування та постановка задачі

При моделюванні прогнозованої міцності бетону в якості джерела інформації використовують експертні оцінки, які мають якісний та кількісний характер, що є доступним для технологів на етапі проектування складу бетону з певною міцністю. Метод, що використовується для побудови функцій належності, передбачає фазифікацію нечітких оцінок факторів впливу. Етап фазифікації включає вибір нечітких термів для лінгвістичної оцінки факторів впливу, що задані на відповідних універсальних множинах. Нечітка множина, за допомогою якої формалізується терм \tilde{F} , є сукупність параметрів [5]:

$$\tilde{F} = \frac{MF(u_1)}{u_1} + \frac{MF(u_2)}{u_2} + \dots + \frac{MF(u_n)}{u_n}, \quad (1)$$

де $(u_1, u_2, \dots, u_n) = U$ – універсальна множина, на якій задається нечітка множина $\tilde{F} \in U$;

$MF(u_i)$ – ступінь належності елемента $u_i \in U$ до нечіткої множини \tilde{F} .

Невідому функцію належності складає сукупність значень $MF(u_i)$ для всіх $i = \overline{1, n}$, яку необхідно визначити. Метод розв'язання цієї задачі базується на ідеї розподілу ступеней належності універсальної

множини відповідно до їх рангів. Під рангами елемента $u_i \in U$ розуміється число $r_{F(u_i)}$, яке характеризується значимістю цього елемента у формуванні властивості, що описується нечіткими термами \bar{F} . При цьому виконується припущення, що чим вищий ранг елемента, тим вищий ступінь його належності.

Правило розподілу ступенів належності при умові нормування ($\mu_1 + \mu_2 + \dots + \mu_n = 1$) задається у вигляді співвідношення [5]:

$$\frac{\mu_1}{r_1} = \frac{\mu_2}{r_2} = \dots = \frac{\mu_n}{r_n} \quad (2)$$

де $r_i = r_F(u_i)$;
 $\mu_i = \mu_F(u_i)$;
 $i = \overline{1, n}$.

Ступені належності $\mu_F(u_i)$ елементів $u_i \in U$ до нечіткого терму \bar{F} , якими характеризують технологічні та фізико-механічні параметри бетону, обчислюється за формулами моделювання прогнозованої міцності бетону [7] з використанням функцій належності нечітких оцінок впливу:

$$\begin{cases} \mu_1 = \left(1 + \frac{r_2}{r_1} + \frac{r_3}{r_1} + \dots + \frac{r_n}{r_1}\right)^{-1}; \\ \mu_2 = \left(\frac{r_1}{r_2} + 1 + \frac{r_3}{r_2} + \dots + \frac{r_n}{r_2}\right)^{-1}; \\ \dots \\ \mu_n = \left(\frac{r_1}{r_n} + \frac{r_2}{r_n} + \frac{r_3}{r_n} + \dots + 1\right)^{-1}. \end{cases} \quad (3)$$

Ступені належності $\mu_F(u_i)$ елементів $u_i \in U$ до нечіткого терму знаходять за формулами (3) за відносними оцінками рангів $r_i/r_j = a_{ij}$, $i, j = \overline{1, n}$, що створюють матрицю:

$$A = \begin{pmatrix} 1 & \frac{r_2}{r_1} & \frac{r_3}{r_1} & \dots & \frac{r_n}{r_1} \\ \frac{r_1}{r_2} & 1 & \frac{r_3}{r_2} & \dots & \frac{r_n}{r_2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{r_1}{r_n} & \frac{r_2}{r_n} & \frac{r_3}{r_n} & \dots & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

За відомими елементами рядка матриці (4) обчислюють елементи всіх інших рядків. Довільний елемент a_{ij} при відомих елементах a_{kj} , $k, i = \overline{1, n}$ певного r -го рядка, обчислюється як $a_{ij} = a_{kj} / a_{ki}$, $i, j, k = \overline{1, n}$. Для експертної оцінки елементів матриці (4) користуються 9-тибальною шкалою Сааті [6].

Результати досліджень. При моделюванні прогнозованої міцності бетону побудова функції належності детально розглядається на прикладі фактора X_{11} – “вплив тиску”, відповідно до ієрархічної системи нечітких логічних рівнянь. Для фактора X_{11} – “вплив тиску” універсальною множиною є $U(X_{11}) = [0, 1-15 \text{ Мпа}]$. Для лінгвістичної оцінки фактора X_{11} використовується терм – множина:

$$T(X_{11}) = \langle \text{низька, середня, висока} \rangle [1, 7].$$

Матриця яка характеризує парні порівняння різних величин тиску з точки зору їх близькості до терму “високий” може бути подана у вигляді:

	u1	u2	u3
u1	1	5	7
u2	1/5	1	7/5
u3	1/7	5/7	1

(5)

$$A^{\text{“високий”}}(X_{11}) =$$

Використовуючи формулу (4) до матриці $A^{\text{“низький”}}(X_{11})$, знаходимо окремі належності u_1, u_2, u_3 до терму “високий”:

$$\mu_{\text{висока}}(u_1) = \frac{1}{1 + 5 + 7} = 0.077;$$

$$\mu_{\text{висока}}(u_2) = \frac{1}{1/5 + 1 + 7/5} = 0.385;$$

$$\mu_{\text{висока}}(u_3) = \frac{1}{1/7 + 5/7 + 1} = 0.538.$$

Відповідно до методики знаходження ступенів належності до терму “низький” знайдено ступені належності до термів “середній”, “високий”. Отримані матриці та ступені належності наведено у табл.1.

Обчислені функції належності для різних термів лінгвістичної змінної “вплив тиску” нормовані на одиницю шляхом ділення їх на максимальний ступінь належності. В результаті нормування лінгвістична змінна “вплив тиску” надана у вигляді таких нечітких множин:

- вплив тиску “високий”
- вплив тиску “середній”
- вплив тиску “низький”.

Отримані нечіткі множини свідчать про те, що на прийняття рішення щодо вибору надлишкового тиску для бетонної суміші за оптимальними технологічними та фізико-механічними факторами впливу (ТФМФВ) тиск впливає відповідно за наступним рейтингом [3]: тиск у 10–15 МПа на першому місці за впливом, тиск в 5–10 МПа на другому місці за впливом, тиск в 0,1–5 на третьому місці за впливом. Графічне зображення функції належності для лінгвістичної змінної “вплив тиску” наведено на рис.1.

Таблиця 1

Матриці парних порівнянь та ступенів належності

Терми для оцінки	Матриця парних порівнянь			Ступені належності
Середній	1	3/7	1	$\mu(u_1) = 0.412;$ $\mu(u_2) = 0.176;$ $\mu(u_3) = 0.412;$
	7/3	1	7/3	
	1	3/7	1	
Низький	1	5/7	1/7	$\mu(u_1) = 0.538;$ $\mu(u_2) = 0.385;$ $\mu(u_3) = 0.077;$
	7/5	1	1/5	
	7	5	1	

На прикладі побудови функції належності нечіткої оцінки впливу параметру “вплив тиску” будуються решта функцій, що належать моделі, як-то вплив температури, вплив ущільнення, вплив вологості, вплив пластифікаторів, вплив В/Ц, вплив марки цементу, якість води, вплив типу, фракції поверхні та форми заповнювача [7]. На рис.2, рис. 3 та рис. 4 зображено графіки функцій належності для лінгвістичних змінних відповідно: “температура”, “вологість”, “коефіцієнт ущільнення”, “осадка конуса”, “рН води”, “В/Ц”, “цемент”, “заповнювач” та “форма заповнювача”.

Розглянута методика побудови функцій належності нечітких оцінок впливу параметрів технологічних та фізико-механічних факторів впливу (ТФМФВ) дозволяє виконати моделювання щодо обґрунтування оптимального складу бетону із заданою міцністю з врахуванням кількісних та якісних факторів впливу.

Висновки:

1. Відповідно до запропонованої методики класифікованих параметрів впливу (температури, ущільнення, вологості, пластифікаторів, В/Ц, марки цементу, якості води, типу, фракції поверхні та форми заповнювача) на прогнозовану міцність бетону, побудовано функції належності лінгвістичних змінних. Детальне використання методики розглянуто на прикладі параметру “вплив тиску”.

2. Побудовані функції належності на основі рівнянь (1–5) є базою для оцінки величини прогнозованого показника міцності бетону за допомогою аналітичної моделі залежно від технологічних та фізико-механічних факторів впливу, що дає можливість виконати оптимізацію цих чинників на етапі проектування бетону.

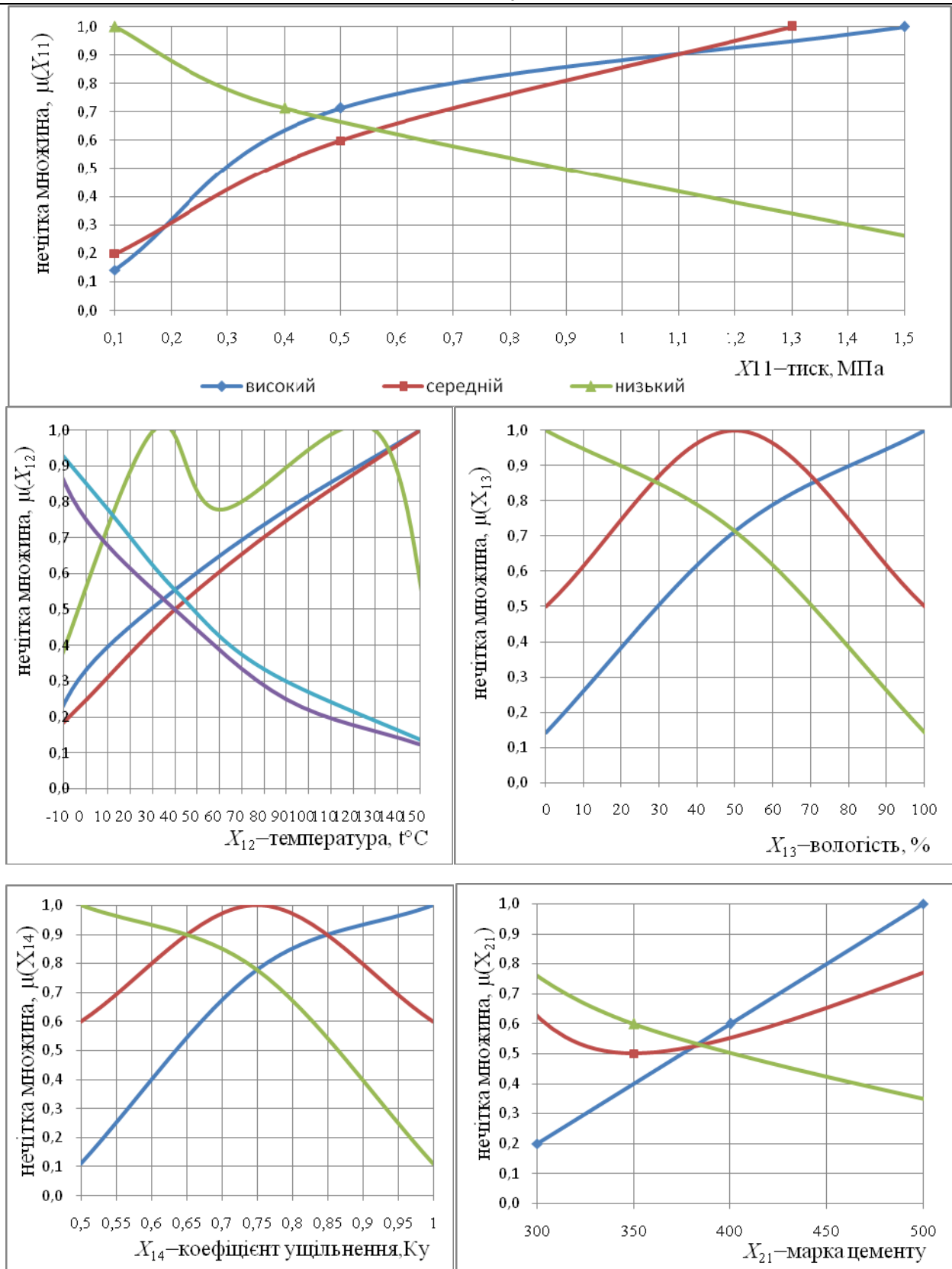


Рис. 1. Функції належності для лінгвістичної змінної “вплив тиску”, “температура”, “вологість”, “коефіцієнт ущільнення” та “марка цементу” (продовження)

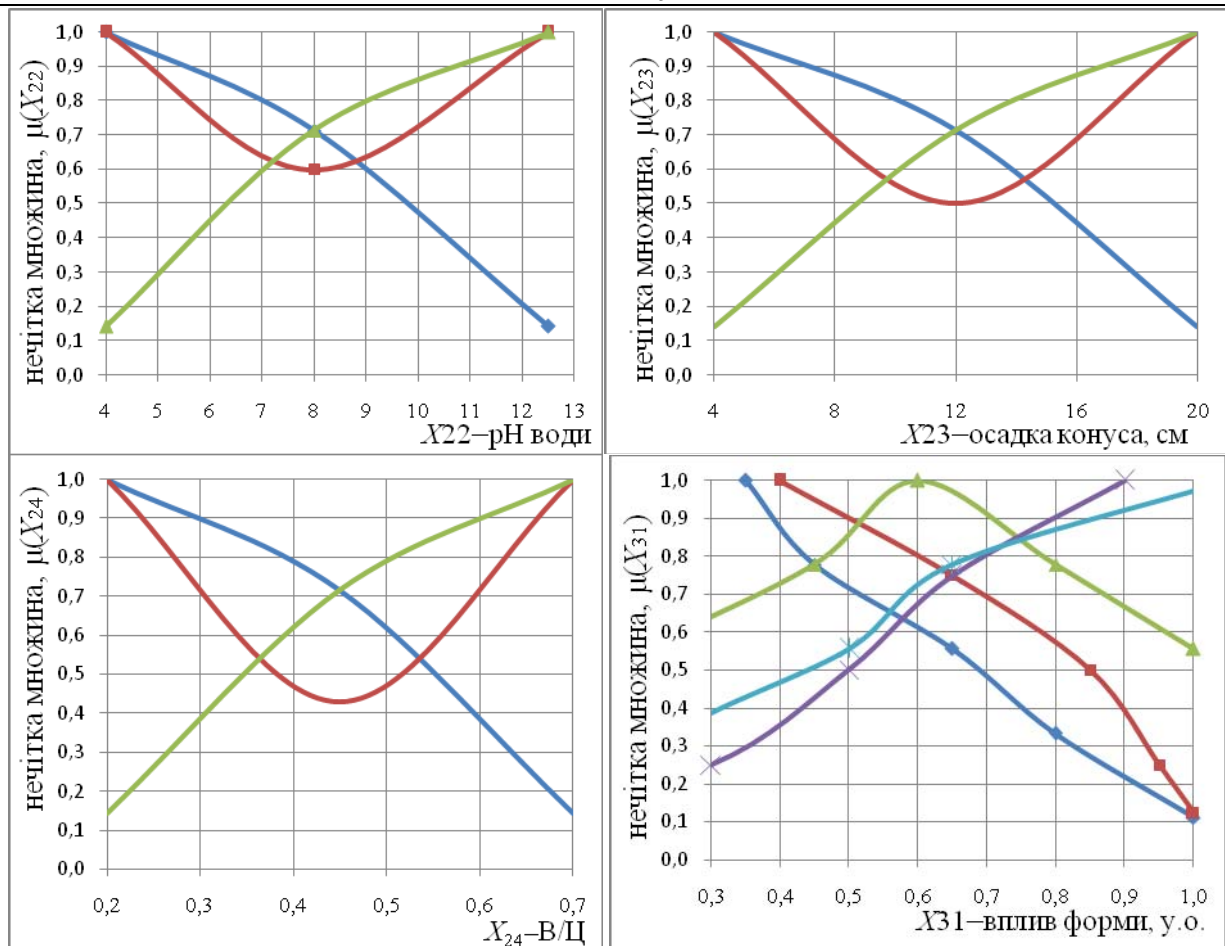


Рис. 2. Функції належності для лінгвістичних змінних “рН води”, “вплив пластифікатора”, “В/Ц”, “вплив форми заповнювача”

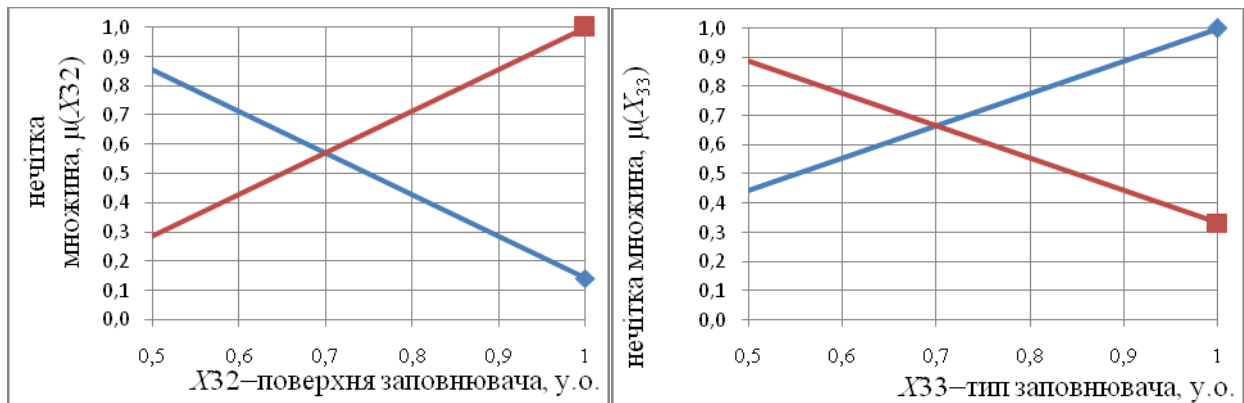


Рис. 3. Функції належності для лінгвістичних змінних “тип поверхні”, “тип заповнювача”

Література

1. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации / Ротштейн А. П. – Винница : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 1999. – 320 с. – ISBN 966-7199-49-5.
2. Митюшкин Ю. И. Soft Computing: идентификация закономерностей нечёткими базами знаний / Митюшкин Ю. И., Мокин Б. И., Ротштейн А. П. – Винница : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2002. – 145 с. – ISBN 966-641-051-6.
3. Дворкин Л. И. Основы бетоноведения / Л. Дворкин, О. Дворкин. – СПб : ООО “Строй-Бетон”, 2006. – 692 с. – ISBN 590319702-7.
4. Дворкин Л. И. Проектирование составов бетонов с заданными свойствами / Л. Дворкин, О. Дворкин. – Ровно : Изд-во РГТУ, 1999. – 202 с.
5. Дудар І.Н. Теоретичні основи технології виробів із пресованих бетонів / Дудар І.Н. – Вінниця : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 2006. – 89 с.
6. Будівельне матеріалознавство / [Кривенко П.В., Пушкарьова К.К., В.Б. Барановський та ін.] ; за ред. П. В. Кривенко. – К. : ТОВ УВПК “Ексоб”, 2004. – 702 с.
7. Бікс Ю. С. Моделювання прогнозованої міцності бетону з використанням лінгвістичних змінних /

Надійшла 25.11.2010 р.

УДК 539.3: 624.131

В.В. КОВТУН, О.А. ДОРОФЄЄВ
Хмельницький національний університет**ДЕФОРМАЦІЇ ВЗДОВЖ ПОТЕНЦІАЛЬНИХ
ЛІНІЙ КОВЗАННЯ У СИПКОМУ СЕРЕДОВИЩІ**

Для умов плоскої деформації розглядаються співвідношення між компонентами тензора деформацій по неортогональних напрямках. Результати досліджень дозволяють застосовувати положення механіки деформівного твердого тіла як для ортогональних, так й для неортогональних спряжених напрямів. Вони становлять інтерес для механіки ґрунтів та сипких середовищ.

The article considers the ratio between the components of strain tensor in non-orthogonal directions for the conditions of plane deformation. The research results extend the provisions of Mechanics of solids, which considers mainly strain in orthogonal directions. The received results are of utmost importance for Mechanics of soils and sands.

Ключові слова: деформація, сипке середовище, лінія ковзання.

Вступ. В механіці сипкого середовища важливим є поняття спряжених площинок, сукупність яких в граничному стані утворює сітку ліній ковзання. Саме для цих площинок виконується умова переходу сипкого середовища у граничний стан, яка покладена в основу бездеформаційної моделі статички сипких середовищ [1]. Для побудови більш загальної, деформаційної, моделі сипкого середовища необхідно крім статичних співвідношень між напруженнями по спряжених площинках сформулювати геометричні деформаційні співвідношення по цих напрямках, а також фізичні співвідношення між напруженнями і деформаціями.

В статті описуються геометричні співвідношення для спряжених напрямів, які співпадають з нормаллями до спряжених площинок. *Спряженими* є площинки, по яких повне напруження P відхиляється від нормаллі на однаковий кут η .

Вихідні положення, припущення, гіпотези.

1. Розглядається плоска задача по деформаціях, яка характеризується умовою, що переміщення за напрямком однієї з головних осей, наприклад, осі z , дорівнюють нулю. В цьому випадку деформації в усіх перпендикулярних до осі z напрямках не залежать від цієї координати.

2. Приймається гіпотеза малості деформацій, для яких є справедливими лінійні диференціальні співвідношення Коші.

3. Використовується поняття спряжених напрямків [2]. Це напрями, що збігаються з нормаллями спряжених площинок. Вони утворюють кути α і β з головною віссю σ_1 , і пов'язані з кутом η відхиленням повного напруження від нормаллі залежністю:

$$\alpha - \beta = \eta. \quad (1)$$

Результати досліджень. Метою проведених досліджень є встановлення співвідношень між деформаціями по неортогональних спряжених напрямках. Для цього використовується загальна методика теорії деформації, яка в механіці твердого деформівного тіла [3] реалізована переважно для часткового випадку – ортогональних напрямів.

Розглянемо деформування площини x, y (рис. 1). В результаті деформації кожна точка одержить відповідне переміщення \vec{L} . Для опису переміщень точок в площині Oxy введемо векторну функцію $L(\vec{r})$. Вектор переміщення задається його проєкціями на осі вибраної системи координат. Наприклад, переміщення \vec{L}_A точки A , що належить відріжку AB , можна представити компонентами L_r і L_{r_1} в системі осей Arr_1 , пов'язаних з напрямом \vec{r} відрізка, або через компоненти u, v в системі осей Oxy .

В результаті деформації площини відрізок $AB = dr$ займе нове положення A_1B_1 . При цьому він змінює свою величину й повертається на кут ω_r . Відносне видовження ε_r відрізка та кут його повороту ω_r визначимо через прирости переміщень вздовж ортогональних напрямів r і r_1 . Вони дорівнюють частинним диференціалам функції $L(\vec{r})$:

$$dL_r = \frac{\partial L_r}{\partial r} dr; \quad dL_{r_1} = \frac{\partial L_{r_1}}{\partial r} dr.$$

Відносна лінійна деформація становитиме:

$$\varepsilon_r = \frac{\partial L_r}{\partial r}. \quad (2)$$

Визначимо відносно видовження ε_r відрізка AB в загальній системі координат Oxy , в якій переміщення L представляється компонентами u і v по осях x, y , а орієнтація відрізка dr – напрямними косинусами $l = \frac{dx}{dr}$, $m = \frac{dy}{dr}$. Після диференціювання складної функції $L(\vec{r})$ одержимо:

$$\varepsilon_r = \frac{\partial u}{\partial x} l^2 + \frac{\partial v}{\partial y} m^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) lm. \quad (3)$$

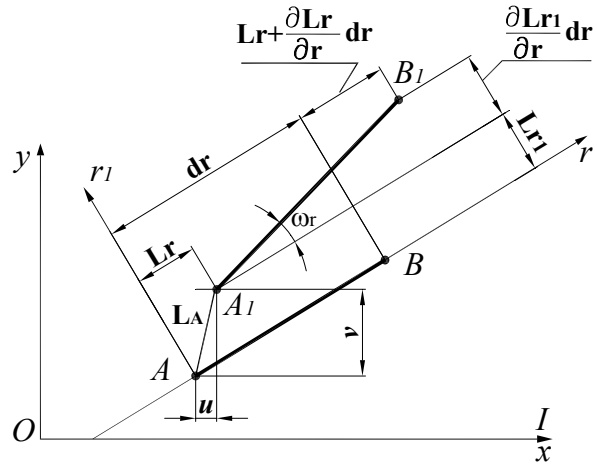


Рис. 1. Переміщення точок площини в результаті її деформування

Через компоненти тензора малих деформацій $\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}$, $\varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}$, $\gamma_{xy} = \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x}$ приходимо до відомого [4] виразу для видовження відрізка dr при повороті осей x, y –

$$\varepsilon_r = \varepsilon_x l^2 + \varepsilon_y m^2 + \gamma_{xy} lm. \quad (4)$$

Цей вираз дозволяє визначити лінійну відносну деформацію ε_r вздовж довільного напрямку \vec{r} через деформації ε_x , ε_y , γ_{xy} за двома ортогональними напрямками, які паралельні осям x, y .

Знайдемо кут повороту ω_r відрізка dr .

$$\omega_r = \frac{\partial L_{r_1}}{\partial r}. \quad (5)$$

В цей вираз входить L_{r_1} – проекція переміщення \vec{L} на вісь r_1 . Через напрямні косинуси l_1 , m_1 напрямку r_1 вона визначається як:

$$L_{r_1} = ul_1 + vm_1.$$

З урахуванням ортогональності \vec{r} і \vec{r}_1 –

$$L_{r_1} = -um + vl.$$

Після виконання необхідних перетворень виразу (2), одержуємо:

$$\omega_r = -\frac{\partial u}{\partial x} lm + \frac{\partial v}{\partial y} lm + \frac{\partial v}{\partial x} l^2 - \frac{\partial u}{\partial y} m^2 \quad (6)$$

Для зручності подальшого аналізу скористаємось очевидним розкладанням:

$$\frac{\partial v}{\partial x} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right),$$

$$\frac{\partial u}{\partial y} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right)$$

та лінійними диференціальними залежностями Коші:

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x}, \quad \varepsilon_y = \frac{\partial v}{\partial y}, \quad \gamma_{xy} = \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}.$$

Остаточно одержуємо важливе співвідношення для дослідження деформування площини –

$$\omega_r = (\varepsilon_y - \varepsilon_x) lm + \frac{1}{2} \gamma_{xy} (l^2 - m^2) + \omega. \quad (7)$$

В цьому співвідношенні перші два доданки визначають частку кута повороту ω_r відрізка dr , яка залежить від його деформації. Останній доданок:

$$\omega = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right), \quad (8)$$

описує однаковий для усіх напрямів жорсткий поворот.

Розглянемо тепер поворот головних осей. Для цього поєднаємо з головним напрямком I вісь x (рис. 1) ($l = 1, m = 0$). Оскільки за визначенням зсув γ_{12} між головними осями дорівнює нулю, то з виразу (7) ($l = 1, m = 0, \gamma_{xy} = \gamma_{12} = 0$) випливає, що кут повороту ω_l головної осі дорівнює куту жорсткого повороту ω .

$$\omega_l = \omega = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \quad (9)$$

Одержані співвідношення дозволяють провести дослідження деформацій, що виникають у будь-яких двох ортогональних чи неортогональних напрямках.

Лінійні деформації вздовж обраних напрямів знаходяться безпосередньо з виразу (4). Особливість задачі полягає у визначенні деформації зсуву γ_{ab} двох неортогональних напрямів a і b . Для цього введемо нове поняття – кут відхилення \mathcal{G} відрізка dr від головної осі I в результаті деформування площини.

Як описано вище, в результаті деформування площини відрізок dr повернеться від свого початкового положення на кут ω_r , а головна вісь – на кут ω жорсткого повороту. Тому відхилення \mathcal{G}_r відрізка від головної осі становитиме:

$$\mathcal{G}_r = \omega - \omega_r \quad (10)$$

або враховуючи (7) –

$$\mathcal{G}_r = (\varepsilon_x - \varepsilon_y)lm - \frac{1}{2}\gamma_{xy}(l^2 - m^2) \quad (11)$$

Зі співвідношення (11) разом з отриманим попередньо виразом (4) для лінійної деформації ε_r визначають деформації видовження та повороту напрямку r

$$\begin{cases} \varepsilon_r = \varepsilon_x l^2 + \varepsilon_y m^2 + \gamma_{xy} lm; \\ \mathcal{G}_r = (\varepsilon_x - \varepsilon_y)lm - \frac{1}{2}\gamma_{xy}(l^2 - m^2) \end{cases}$$

Легко пересвідчитись, що ці деформації в системі осей $\varepsilon - \mathcal{G}$ описують коло. Для доведення поєднаємо осі xu з головними осями. Тоді для відрізка dr , що нахилений до головної осі I під кутом α , приймаємо:

$$\begin{aligned} l &= \cos \alpha; & m &= -\sin \alpha; \\ l^2 &= 0,5(1 + \cos 2\alpha); & m^2 &= 0,5(1 - \cos 2\alpha); \\ l^2 - m^2 &= \cos 2\alpha; & \varepsilon_x &= \varepsilon_1; & \varepsilon_y &= \varepsilon_2; & \gamma_{xy} &= \gamma_{12} = 0. \end{aligned}$$

В результаті підстановки вирази (4) та (11) набувають такого вигляду:

$$\begin{cases} \varepsilon_r = \frac{1}{2}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) + \frac{1}{2}(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)\cos 2\alpha = \frac{1}{2}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) + R \cos 2\alpha; \\ \mathcal{G}_r = \frac{1}{2}(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)\sin 2\alpha = R \sin 2\alpha. \end{cases} \quad (12)$$

Вони описують зображене на рис. 2 коло (колову діаграму) з параметрами R і 2α . Центр кола

$C(\varepsilon_C, 0)$ лежить на осі ε , $\varepsilon_C = \frac{1}{2}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) = \frac{1}{2}(\varepsilon_x + \varepsilon_y)$,

$\mathcal{G}_C = 0$. Радіус кола $R = \frac{1}{2}(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)$. Координати точки

$r(\varepsilon_r, \mathcal{G}_r)$ згідно з залежностями (12) визначають деформації $\varepsilon_r, \mathcal{G}_r$ відрізка dr , нахиленого до головної осі I під кутом α . Точки a і b відповідають головним деформаціям ε_1 і ε_2 . Точка $M(\varepsilon_C, \mathcal{G}_{\max})$ відповідає напрямку максимального відхилення \mathcal{G}_{\max} ($\alpha = \pi/4$). Величина максимального відхилення згідно з виразом (12) становить:

$$\mathcal{G}_{\max} = 0,5(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)\sin\left(2 \cdot \frac{\pi}{4}\right) = 0,5(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) = R \quad (13)$$

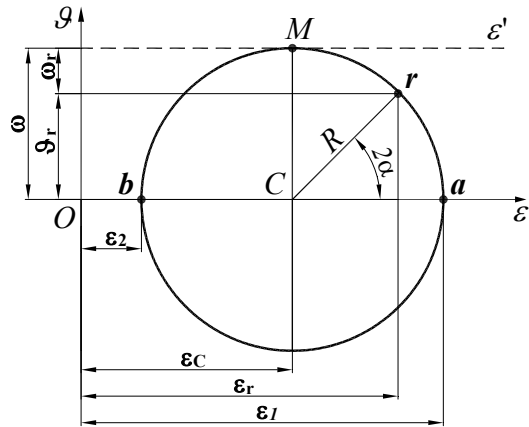


Рис. 2. Колова діаграма $\mathcal{G} = f(\varepsilon)$

Отже, відхилення \mathcal{G} змінюється за синусоїдальним законом (12) від $\mathcal{G} = 0$ для головного напрямку

до $\mathcal{G}_{\max} = 0,5(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) = R$ для напрямку $\alpha = 45^\circ$. Величина обернена цьому відхиленню, деформаційний поворот $\omega_r = \omega - \mathcal{G}_r$, зменшується від значення кута жорсткого повороту для головного напрямку $\omega_{\max} = \omega$ до $\omega_r = 0$ для напрямку $\alpha = 45^\circ$. Все вище сказане наочно ілюструє колова діаграма $\mathcal{G} = f(\varepsilon)$ (рис. 2). Жорсткий поворот на діаграмі відображається паралельним зміщенням осі ε на величину $\omega = R$ в положення ε' . Використовуючи співвідношення (10), з діаграми $\varepsilon - \mathcal{G}$ легко знайти не тільки кут відхилення \mathcal{G}_r напрямку r від головної осі, але і повний кут ω_r його повороту $\omega_r = \omega - \mathcal{G}_r$.

Узагальнюючи сказане, можна стверджувати, що введені співвідношення (12) і відповідна колова діаграма $\varepsilon - \mathcal{G}$ більш повно, ніж загально прийняті співвідношення $\varepsilon - \gamma$ та коло деформацій в осях $\varepsilon - \gamma$, описують деформування площини і зводять деформаційні співвідношення до стандартних перетворень системи координат: повороту і паралельного переносу осей.

Описування деформування площини новими показниками ε, \mathcal{G} замість звичайних ε, γ дозволяє уникнути відомих неспівпадін між тензорами напружень та деформацій.

Тензор деформацій вважається еквівалентним тензору напружень за умови, що замість повних зсувів γ в ньому враховуються їх половини $0,5\gamma$. Якщо ж замість зсувів γ ввести у розгляд відхилення \mathcal{G} , тензор деформацій буде абсолютно аналогічним тензору напружень, а колова діаграма $\varepsilon - \mathcal{G}$ за усіма ознаками збігатиметься з кругом напружень Мора. Це дає можливість безпосередньо записувати деформаційні співвідношення за аналогією з відомими співвідношеннями для напружень, якщо замість нормальних напружень σ_α прийняти видовження ε_r , а замість дотичних напружень τ_α – відхилення \mathcal{G}_r , замість кута орієнтації нормалі площинки – кут між напрямком r і головною віссю.

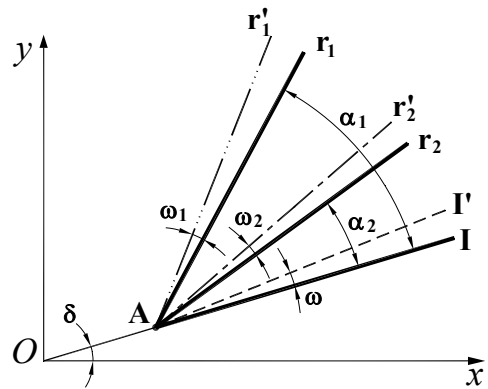


Рис. 3. Деформації довільних напрямів

Знаки τ_α і \mathcal{G}_r узгоджуються автоматично, оскільки вони пов'язані зі знаками кутів орієнтації нормалі та напрямку r .

Розглянемо тепер деформації по двох довільних напрямках. На рис. 3 показані два неортогональні напрямки Ar_1 і Ar_2 . Вони утворюють з головною віссю I кути α_1 і α_2 , а сама вісь I нахилена до осі x під кутом δ . Після деформування площини напрямки Ar_1, Ar_2, I повернуться відповідно на кути $\omega_1, \omega_2, \omega$ і займуть положення Ar_1', Ar_2', I' . Початковий кут $\alpha_1 - \alpha_2$ між напрямками зміниться на величину $\gamma_{r_1 r_2}$, яка за визначенням є зсувом між цими напрямками. Отже, зсув:

$$\gamma_{r_1 r_2} = \mathcal{G}_{r_2} - \mathcal{G}_{r_1}$$

або за модулем –

$$\gamma_{r_1 r_2} = \mathcal{G}_{r_1} - \mathcal{G}_{r_2} \tag{14}$$

Враховуючи залежність (11), одержуємо:

$$\gamma_{r_1 r_2} = (\varepsilon_x - \varepsilon_y)(l_{r_1} m_{r_1} - l_{r_2} m_{r_2}) - \frac{1}{2} \gamma_{xy} (l_{r_1}^2 - m_{r_1}^2 - l_{r_2}^2 + m_{r_2}^2) \tag{15}$$

Вираз (15) пов'язує зсув $\gamma_{r_1 r_2}$ між двома довільними напрямками з деформаціями $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \gamma_{xy}$ за напрямками осей x, y .

Для зручності подальшого аналізу перейдемо до головних осей. Поєднаємо вісь x з головною віссю I . Тоді:

$$l_r = \cos \alpha; m_r = \sin \alpha; l_{r_2} = \cos \alpha_2; m_{r_2} = \sin \alpha_2; \varepsilon_x = \varepsilon_1; \varepsilon_y = \varepsilon_2; \gamma_{xy} = 0.$$

Після підстановки в (15) одержуємо:

$$\gamma_{r_1 r_2} = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{2} (\sin 2\alpha_1 - \sin 2\alpha_2) = R(\sin 2\alpha_1 - \sin 2\alpha_2) = \mathcal{G}_{r_1} - \mathcal{G}_{r_2}, \tag{16}$$

де α_1 і α_2 – кути нахилу Ar_1 і Ar_2 до головної осі I ;

$$R = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{2} \text{ – радіус колової діаграми.}$$

У частинному випадку ортогональності напрямків $\left(\alpha_2 = \frac{\pi}{2} + \alpha_1 \right)$ одержуємо *нове* трактування

відомих в механіці деформівного тіла співвідношень для зсувів між неортогональними напрямками:

$$\gamma = 2 \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{2} \sin 2\alpha_1,$$

$$\text{або } \frac{1}{2} \gamma = R \sin 2\alpha_1 = \vartheta_a \text{ (рис. 5),} \tag{17}$$

Метою описаних в статті досліджень є отримання співвідношень між компонентами деформацій по неортогональних *спряжених* напрямках. Для цього розглянемо два спряжені напрями – Ba і Bb , які нахилені до головної осі I під кутами α і $-\beta$ (рис. 4). Співвідношення між кутами α , β та η встановлене в [2]. Воно впливає з простих геометричних перетворень (рис. 5). $\angle CBA = \angle CAB$, $\angle CBA = 2\beta + \eta$, $\angle CAB = 2\alpha - \eta$. Отже, $\alpha - \beta = \eta$, де η – кут відхилення повного напруження від нормалі. В цьому співвідношенні кути α , β , η взяті за модулем.

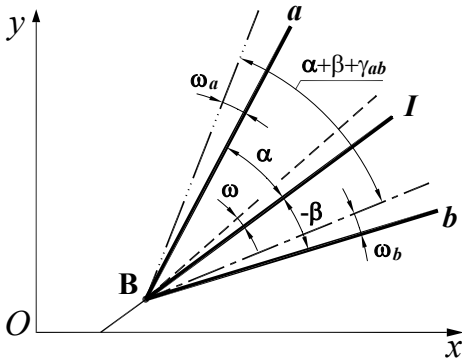


Рис. 4. Деформації по спряжених напрямках

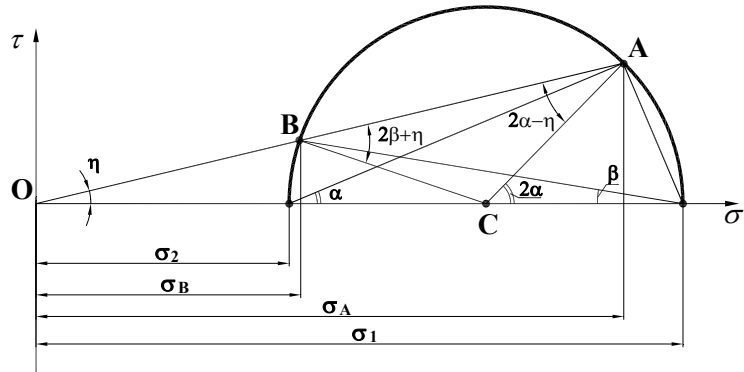


Рис. 5. До виводу співвідношень між напруженнями для спряжених площинок

Зсув між спряженими напрямками безпосередньо одержимо з виразу (16), підставивши в нього кути α і $-\beta$.

$$\gamma_{ab} = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{2} (\sin 2\alpha + \sin 2\beta) = \vartheta_a + \vartheta_b, \tag{18}$$

а лінійні деформації по цих напрямках визначаються співвідношенням (4).

Зміст одержаних співвідношень ілюструє рисунок 6. На ньому показана колова діаграма $\vartheta = f(\varepsilon)$. Координати точок a і b діаграми визначають деформації за спряженими напрямками fa , fb , що нахилені до головної осі під кутами α і $-\beta$. Проведені через полюс f відрізки fa і fb паралельні вказаним напрямкам. Точка a_1 відповідає напрямку, який перпендикулярний напрямку fa . Як видно з рисунка, зсув

$$\gamma_{ab} = \vartheta_a - \vartheta_b = \vartheta_a - (-\vartheta_b) = \vartheta_a + \vartheta_b \tag{19}$$

визначається як сума відрізків ϑ_a і ϑ_b , а зсув γ_{aa_1} між ортогональними напрямками fa і fa_1 – як сума відрізків aa' та $a_1a'_1$

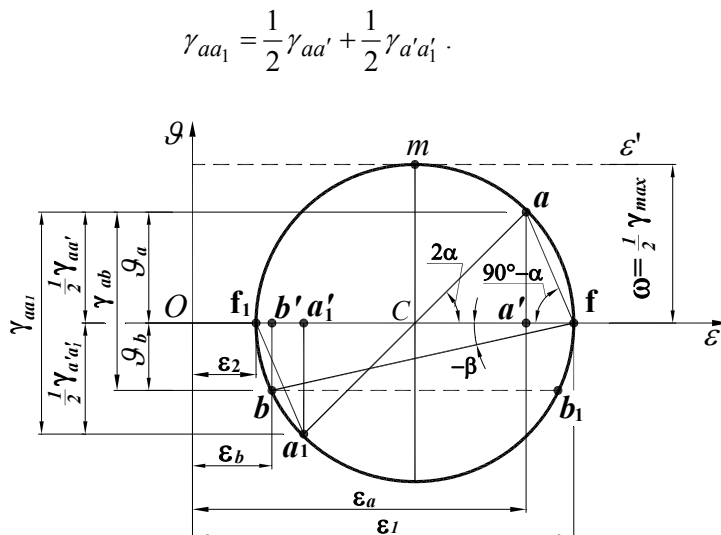


Рис. 6. Порівняння колових діаграм

Отже, відоме коло деформацій $\varepsilon - \gamma$, що описує деформації тільки для ортогональних напрямів, може розглядатись як частковий випадок колової діаграми $\mathcal{G} = f(\varepsilon)$.

Одержані аналітичні співвідношення і колова діаграма дозволяють знайти деформації по спряжених напрямках тільки у випадку, якщо задана їх орієнтація, наприклад, кутами α, β .

За визначенням, спряжені напрями збігаються з нормальми площинок, по яких повне напруження відхиляється від нормалей на однаковий кут η . Тому для визначення орієнтації спряжених напрямів необхідно повернутись до розгляду напруженого стану [2]. Для цього порівняємо коло Мора, що описує зміну напружень τ, σ при повороті нормалі, з коловою діаграмою $\mathcal{G} - \varepsilon$ (рис. 7).

Спряженим напрямкам на колу Мора відповідають точки A і B , для яких однакове відношення напружень $\frac{\tau}{\sigma}$, а, отже, і однаковий кут відхилення повного напруження від нормалі

$$\frac{\tau_\alpha}{\sigma_\alpha} = \frac{\tau_\beta}{\sigma_\beta} = \operatorname{tg} \eta.$$

Ці точки лежать на перетині з колом напружень двох променів OA, OB , які проведені з початку координат $O\sigma\tau$ під кутом η .

В загальному випадку відношення деформацій $\frac{\mathcal{G}}{\varepsilon}$ за цими напрямками не збігається з відношенням напружень $\frac{\tau}{\sigma}$. Як видно з рис. 7 умова еквівалентності кола напружень Мора і колової діаграми деформацій повністю виконується, якщо змістити початок координат кола деформацій з положення O_1 на величину t в положення O . В цьому випадку

$$\frac{\mathcal{G}}{\varepsilon + t} = \frac{\tau}{\sigma} = \operatorname{tg} \eta.$$

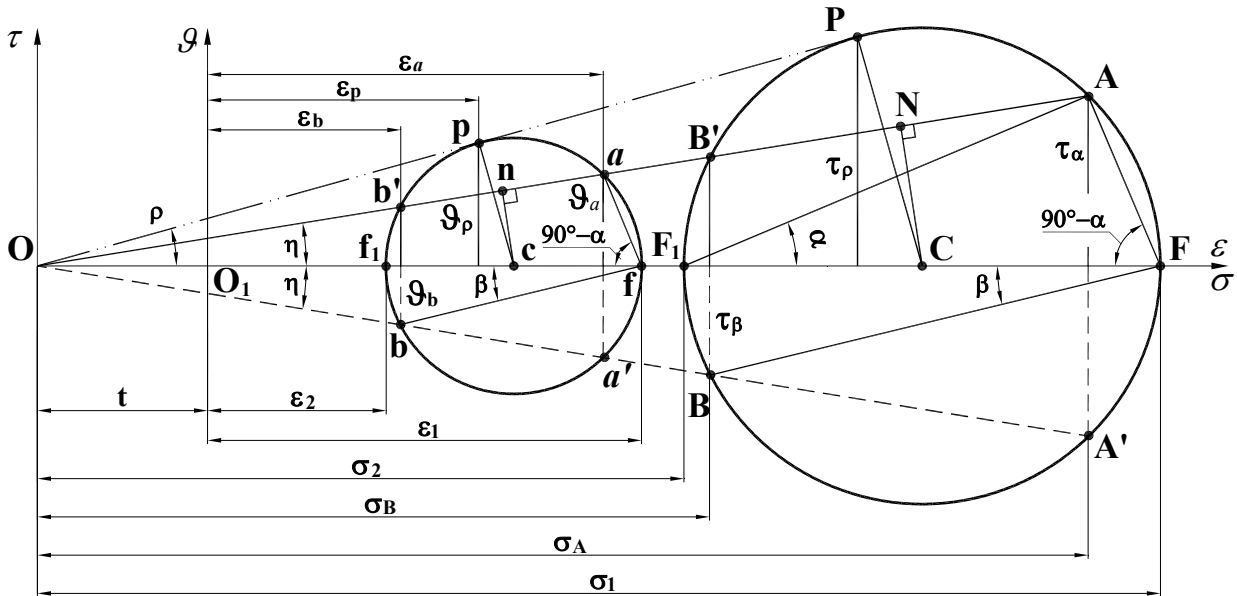


Рис. 7. Порівняння колової діаграми з колом Мора

З урахуванням зміщення t положення спряжених напрямів, як на колу Мора, так і на коловій діаграмі однозначно визначається точками A, B, a, b перетину з колом і діаграмою променів, нахилених до головної осі під кутом η . Це відноситься до усіх спряжених напрямів, в тому числі до важливих для сипких середовищ напрямів максимального відхилення (точки P і p).

Після визначення положень спряжених напрямів можна проаналізувати зміну величини зсуву між цими напрямками. Перш за все визначимось за якими спряженими напрямками зсув досягає максимальної величини.

Доведемо теорему. *З усіх пар спряжених напрямів максимальні зсуви відповідають напрямкам з найбільшим відхиленням повного напруження від нормалі.*

Згідно (19) для пари довільних спряжених напрямів a, b зсув γ_{ab} визначається як сума відхилень кожного з напрямів

$$\gamma_{ab} = \mathcal{G}_a + \mathcal{G}_b.$$

Для напрямів, що відповідають максимальному відхиленню повного напруження

$$\gamma_{\rho} = 2\mathcal{G}_{\rho}.$$

Необхідно довести, що $\gamma_{ab} < \gamma_{\rho}$ або $\frac{\gamma_{ab}}{\mathcal{G}_{\rho}} < 1$.

Визначимо зсуви через радіус R колової діаграми і позначені на рис. 7 кути α , β , ρ , приймаючи їх значення за модулем

$$\gamma_{ab} = 2R \cos \eta \sin(\alpha + \beta);$$

$$\gamma_{\rho} = 2R \cos \rho.$$

Проаналізуємо зміну величини відношення

$$\frac{\gamma_{ab}}{\gamma_{\rho}} = \frac{\cos \eta}{\cos \rho} \sin(\alpha + \beta).$$

При $\eta \rightarrow 0$, $\cos \eta \rightarrow 1$, $\sin(\alpha + \beta) \rightarrow 0$, $\frac{\gamma_{ab}}{\gamma_{\rho}} \rightarrow 0$.

При $\eta \rightarrow \rho$, $\cos \eta \rightarrow \cos \rho$, $\sin(\alpha + \beta) \rightarrow 1$, $\frac{\gamma_{ab}}{\gamma_{\rho}} \rightarrow 1$.

Оскільки $\cos \eta \sin(\alpha + \beta)$ в інтервалі $|0 \leq \eta \leq \rho|$ та $\left| \frac{\pi}{2} \geq (\alpha + \beta) \geq 0 \right|$ є монотонною функцією,

$\frac{\gamma_{ab}}{\gamma_{\rho}} < 1$, або $\gamma_{ab} < \gamma_{\rho}$. **Теорему доведено.**

Слід звернути увагу, що в теоремі розглядаються зсуви тільки між спряженими напрямками. Її висновки не розповсюджуються на ортогональні напрями. Наприклад, для напрямів $\alpha = 45^\circ$, $\beta = -45^\circ$, які не є спряженими $\gamma_{\max} = 2\mathcal{G}_{\max} > \gamma_{\rho}$.

Тепер розглянемо пряму і обернену задачі з використанням деформаційних співвідношень для спряжених напрямів.

Пряма задача. Відомі головні деформації ε_1 , ε_2 . Необхідно визначити деформації по спряжених напрямках.

Графічний розв'язок полягає у визначенні з колової діаграми відрізків \mathcal{G}_a і \mathcal{G}_b і зсуву $\mathcal{G}_{ab} = \mathcal{G}_a + \mathcal{G}_b$.

Аналітичний розв'язок зводиться до використання залежностей (12), приймаючи в них величини попередньо визначених кутів α і β

$$\begin{cases} \varepsilon_a = \varepsilon_1 \cos^2 \alpha + \varepsilon_2 \sin^2 \alpha; \\ \varepsilon_b = \varepsilon_1 \cos^2 \beta + \varepsilon_2 \sin^2 \beta; \\ \mathcal{G}_a = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{2} \sin 2\alpha; \\ \mathcal{G}_b = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{2} \sin 2\beta. \end{cases} \quad (20)$$

Зсув між напрямками a і b

$$\gamma_{ab} = \mathcal{G}_a + \mathcal{G}_b. \quad (21)$$

Обернена задача. За відомими деформаціями ε_a , \mathcal{G}_a , ε_b , \mathcal{G}_b по спряжених напрямках визначити величини головних деформацій.

Графічний розв'язок. За координатами ε_a , \mathcal{G}_a визначають положення точки a (рис. 7), а за координатами ε_b , \mathcal{G}_b – положення точки b . З середини хорди ab' проводять перпендикуляр nc , точка перетину якого з віссю ε визначає положення центру c колової діаграми, а відрізки ca і cb' є радіусами діаграми. Точки f і f_1 її перетину з віссю ε відповідають головним деформаціям ε_1 , ε_2 .

Аналітичний розв'язок. Для аналітичного розв'язання оберненої задачі необхідно розв'язати систему тригонометричних рівнянь (20) відносно головних деформацій ε_1 , ε_2 . Результат прямого розв'язку є достатньо громіздким і тому тут не приводиться. Більш зручно представити головні деформації через

інваріанти деформаційного стану, як це зроблено для напружень [2], або використати аналогію між напруженим і деформаційним станами. Як видно з рис. 7, співвідношення між компонентами напружень будуть повністю еквівалентними співвідношенням між компонентами деформацій, якщо змістити початок координат O_1 системи осей деформацій $\varepsilon - \mathcal{G}$ на величину t в положення O .

Величину зміщення t знайдемо з умови подібності кола Мора і колової діаграми $\varepsilon - \mathcal{G}$

$$\operatorname{tg} \eta = \frac{\tau}{\sigma} = \frac{\mathcal{G}}{t + \varepsilon}.$$

Для спряжених напрямів a, b

$$\operatorname{tg} \eta = \frac{\mathcal{G}_a}{t + \varepsilon_a} = \frac{\mathcal{G}_b}{t + \varepsilon_b}.$$

Звідки

$$t = \frac{\varepsilon_a \mathcal{G}_b - \varepsilon_b \mathcal{G}_a}{\mathcal{G}_a - \mathcal{G}_b}, \quad (22)$$

або через спряжені напрями ρ , що відповідають площинкам найбільшого відхилення $\eta_{\max} = \rho$ (точка p на діаграмі)

$$t = \frac{\mathcal{G}_\rho}{\operatorname{tg} \rho} - \varepsilon_\rho. \quad (23)$$

Після знаходження величини t усі формули для деформацій безпосередньо одержуються з формул для напружень, якщо замість напруження τ підставляти деформацію \mathcal{G} , а замість напруження $\sigma - (t + \varepsilon)$.

Таким чином, подібність конкретних напруженого і деформаційного станів визначається двома параметрами – t і ρ . Враховуючи те, що між напруженнями і деформаціями існують складні співвідношення, котрі для кожного матеріалу встановлюються експериментально, ці фізичні залежності для сипких матеріалів можуть бути встановлені як залежності між параметрами t і ρ .

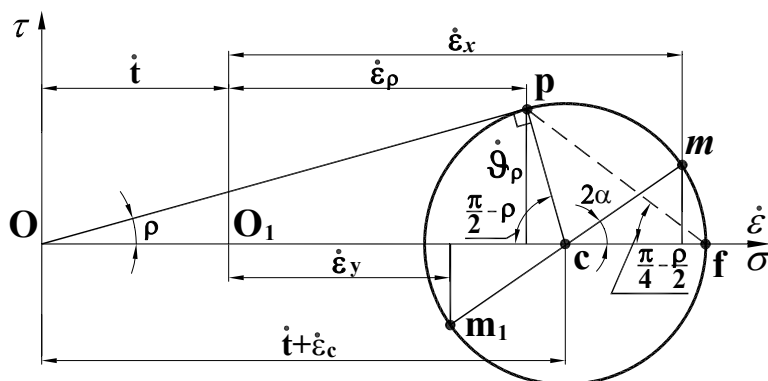


Рис. 8. Колова діаграма швидкостей деформацій

В теорії пластичності крім кінцевих деформацій широко використовуються поняття приростів деформацій $\{\Delta\varepsilon\}$, $\{d\varepsilon\}$, або швидкостей приросту деформацій $\{\dot{\varepsilon}\}$. Усі наведені попередньо співвідношення для деформацій $\{\varepsilon\}$ безпосередньо можуть бути використаними для описання швидкостей $\{\dot{\varepsilon}\}$ деформацій. Наприклад, координати $\mathcal{G}_\rho, \varepsilon_\rho$ точки p (рис. 8), що відповідає площинці максимального відхилення, яка в механіці сипкого середовища асоціюється з площиною ковзання, характеризуються співвідношеннями

$$\operatorname{tg} \rho = \frac{\mathcal{G}_\rho}{t + \dot{\varepsilon}_\rho} = \operatorname{tg} \eta_{\max}.$$

Координати точки p , що відповідає площинці максимального відхилення легко визначити з геометричних співвідношень (рис. 7)

$$\begin{aligned} \dot{\varepsilon}_\rho &= \dot{\varepsilon}_c - \dot{r} \sin \rho; \\ \mathcal{G}_\rho &= \dot{r} \cos \rho, \end{aligned} \quad (24)$$

де \dot{r} – радіус колової діаграми швидкостей деформацій.

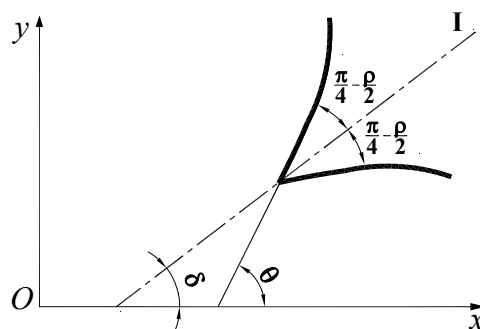


Рис. 9. Положення ліній ковзання в сипкому середовищі

Напрями максимального відхилення утворюють з головною віссю I кути $\frac{\pi}{4} \pm \frac{\rho}{2}$ і асоціюються в статистиці сипкого середовища з лініями ковзання. На рис. 9 показано положення головної осі I і однієї пари ліній ковзання в декартовій системі координат xOy . Безпосередньо з колової діаграми одержуємо вирази для швидкостей деформацій по ортогональним напрямкам x, y

$$\begin{aligned}\dot{\varepsilon}_x &= \dot{\varepsilon}_\rho + \frac{\dot{\rho}}{\cos \rho} (\sin \rho + \cos 2\delta); \\ \dot{\varepsilon}_y &= \dot{\varepsilon}_\rho + \frac{\dot{\rho}}{\cos \rho} (\sin \rho - \cos 2\delta); \\ \dot{\gamma}_{xy} &= 2 \frac{\dot{\rho}}{\cos \rho} \sin 2\delta.\end{aligned}\quad (25)$$

З урахуванням нахилу θ лінії ковзання (першої характеристики [1]) до осі x (рис. 8)

$$\begin{aligned}\dot{\varepsilon}_x &= \dot{\varepsilon}_\rho + \frac{\dot{\rho}}{\cos \rho} (\sin \rho + \cos(2\theta + \rho)); \\ \dot{\varepsilon}_y &= \dot{\varepsilon}_\rho + \frac{\dot{\rho}}{\cos \rho} (\sin \rho - \sin(2\theta + \rho)); \\ \dot{\gamma}_{xy} &= \frac{\dot{\rho}}{\cos \rho} \cos(2\theta + \rho).\end{aligned}\quad (26)$$

Висновки. Введення деформацій $\varepsilon_r, \mathcal{G}_r$ за напрямом для аналізу деформування площини в умовах плоскої задачі розширює положення загальної теорії деформацій, оскільки дає можливість визначати деформації по довільних напрямках, в тому числі по неортогональним *спряженим* напрямкам, які асоціюються з лініями ковзання в сипкому середовищі.

Одержані співвідношення можуть бути безпосередньо використаними при побудові деформаційної моделі сипкого середовища.

Література

1. Соколовський В.В. Статика сыпучей среды – М.: Физматгиз, 1960. – 243 с.
2. Ковтун В.В. Напряжения по потенциальних площинках ковзання у сипкому середовищі // Вісник Хмельницького національного університету. – Технічні науки. – 2010. – № 1. С.7-12.
3. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести – М.: Высшая школа, 1961. – 536 с.
4. Филин А.П. Прикладная механика твердого деформируемого тела – М.: Наука, 1975. – 832 с.

Надійшла 23.11.2010 р.

УДК 679.85 (047)

В.И. КОНДРАТЮК
Хмельницкий национальный университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ КАМНЕОБРАБОТКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ОБЛИЦОВОЧНЫХ ПЛИТ

В статье рассмотрены современные технологии использования отходов камнеобработки для изготовления облицовочных плит.

In the article modern technologies of utilization of wastes are considered stone of treatment for making of facings flags.

Ключевые слова: облицовочные плиты, производство, отходы камнеобработки.

Несмотря на значительно возросший технический уровень камнедобычи и камнеобработки отходы при производстве облицовочных изделий из природного камня достигают 80 %. При этом, отходы на операциях распиловки и окантовки составляют 15– 25 %. Один из путей уменьшения материалоемкости изделий заключается в использовании отходов для изготовления облицовочной плиты.

В статье систематизированы существующие технологии и предложены новые технологические решения по использованию отходов камнеобработки.

Для систематизации существующих технологических решений разработана классификация

облицовочных плит из отходов производства технических изделий (таб.1). В качестве квалификационных признаков приняты: рисунок лицевой поверхности, конструкция плит, тип применяемого связующего и способ раскрытия декоративности камня. Отходы природного камня при алмазно-скальвающей обработке технических изделий могут быть использованы для производства брекчиевидных облицовочных плит методом поштучного кассетного формования или декоративных орнаментных плит методом склейки. Раскрытие декоративности камня при обоих методах может быть обеспечено либо механическим путем (шлифование и полирование лицевой поверхности), либо химическим (нанесением на лицевую поверхность и отвержение слоя прозрачного полимера [2, 3, 4]). Второй путь с позиции трудоемкости является более приемлемым, однако, область применения облицовочных изделий с полимерным слоем ограничивается санитарно-гигиеническими и климатическими условиями.

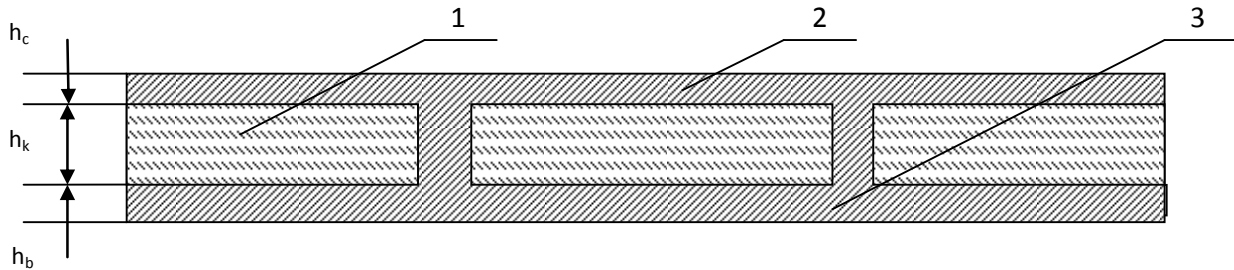


Рис. 1. Конструкция двухслойной брекчиевидной плиты: 1 – отходы природного камня; 2 – слой полимера для вскрытия декоративности; 3 – связующее

Таблица 1

Классификация облицовочных плит из отходов производства технических изделий

№ п/п	Классификационные признаки	Облицовочные плиты		
		1. Брекчиевидные	2. Орнаментные	3. Орнаментно-брекчиевидные
1	Рисунок лицевой поверхности			
2	Конструкция	1. Однослойные 2. Однослойные с армослоем 3. Двухслойные		
3	Тип связующего	1. Неорганические 2. Органические 3. Совместное использование органических и неорганических		
4	Способ раскрытия декоративности камня	1. Снятием поверхностного слоя плиты 2. Нанесением слоя полимера 3. Формованием плит на слое полимера		

Технология производства декоративных орнаментных плит методом склейки включает следующие операции:

1. Фрезеровка отходов на элементы заданной формы и размеров.
2. Формование плит с заданным рисунком.
3. Склейка плит.
4. Сушка плит.
5. Калибровка торцов плит.
6. Раскрытие декоративности камня.

Производство орнаментных плит внедрено на Московском, Саяно-Шушенском, Беличском (г.Киев) камнеобрабатывающих комбинатах. Операция 2, 3, 4 выполняются на конвейере. Расход клея на изготовление 1 м.кв. плиты не превышает 0,6 кг.

Технология производства брекчиевидных облицовочных плит включает следующие операции:

1. Подготовка кассеты (нанесение тонкого слоя смазки).
2. Раскладка отходов на дне кассеты.
3. Заливка связующего.
4. Раскрытие декоративности камня.

В качестве связующего применяются бетоны или бетонополимеры. Применение бетонополимеров обеспечивает более высокую прочность облицовочных плит. Однако, при этом значительно увеличивается стоимость изделий.

При использовании в качестве заполнителя при изготовлении бетонополимеров шлама, который получают в процессах окантовки и шлифования плит значительно уменьшаются затраты на приготовление бетонополимеров и будут определяться только расходом и стоимостью полимерного связующего.

Раскрытие декоративности брекчиевидных плит химическим путем может быть достигнута либо путем укладки отходов на слой полимера формования изделий, либо путем нанесения полимерного слоя на отформованные плиты. Для механизации работ по второму варианту могут быть использованы наливные машины применяемые в деревообработке.

Определим расход полимерного связующего при производстве брекчиевидных плит (рис. 1). Объем связующего для производства A_0 квадратных метров плиты равен:

$$V_c = h_c A_0 + \frac{\alpha_c}{100} V_{\text{б}} \tag{1}$$

где h_c – высота слоя связующего для вскрытия декоративности природного камня, м;
 A_0 – площадь плиты, м.кв.;
 α_c – содержание связующего в бетонополимере, %;
 $V_{\text{б}}$ – объем бетонополимера, м.куб.;
 Объем бетонополимера будет определяться:

$$V_{\text{б}} = \frac{\beta}{100} A_0 (h_0 - h_k - h_c) + \frac{100 - \beta}{100} A_0 (h_0 - h_c)$$

где β – заполнение площади лицевой поверхности плиты природным камнем, %;
 h_0 – толщина плиты, м
 h_k – толщина плиты природного камня, м.
 После несложных преобразований получим:

$$V_{\text{б}} = \left(h_0 - h_c - \frac{\beta}{100} h_k \right) A_0 \tag{2}$$

Подставляя 2 в 1 будем иметь:

$$V_c = A_0 \left[h_c + \frac{\alpha}{100} \left(h_0 - h_c - \frac{\beta}{100} h_k \right) \right] \tag{3}$$

Для удобства анализа представим 3 в безразмерном виде:

$$V_{1c} = V_c / (A_0 h_0) = h_{1c} + \alpha / 100 (1 - h_{1c} - \beta / 100 h_{1ck}),$$

где

$$h_{1c} = \frac{h_c}{h_0}, \quad h_{1ck} = \frac{h_k}{h_0}$$

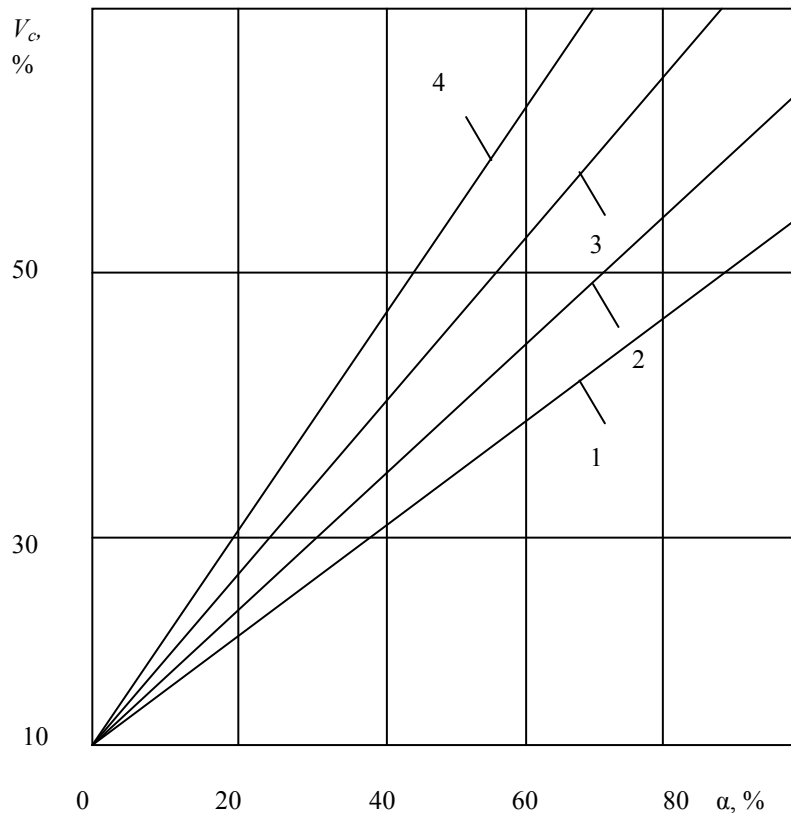


Рис. 2. Зависимость расхода связующего на производство облицовочных плит от его содержания в бетонополимере при $h_{1c}=0,1$; $h_{1ck}=0,5$; 1. $\beta=100$ %; 2. $\beta=70$ %; 3. $\beta=50$ %; 4. $\beta=0$

На рис. 2 представлен графический анализ зависимости расхода связующего на производство облицовочных плит от его содержания в бетонополимере. Из графиков видно, что при содержании связующего в бетонополимере в пределах 20 % и заполнением площади лицевой поверхности плиты

природным камнем в пределах (70– 100 %) расход связующего составляет 18– 21 % от объема плиты. При этом, расход связующего на раскрытие декоративности камня и приготовление бетонополимера практически совпадает. Затраты на полимерное связующее при производстве плит толщиной 30 мм при указанном расходе не превышают 16 % себестоимости плиты.

Из анализа следует, что основными путями уменьшения расхода высокопрочных и дорогостоящих связующих являются:

1. Увеличение заполнения площади лицевой поверхности плиты природным камнем.
2. Применение бетонополимерных смесей с минимально допустимым с позиции прочности содержанием связующего.
3. Применение для приготовления бетонополимерных смесей недефицитных связующих с низкой стоимостью.

Наиболее простой в осуществлении первый путь. Однако, достигнуть существенного уменьшения расхода связующего за счет заполнением лицевой поверхности природным камнем невозможно. Так, например, при содержании в бетонополимерной смеси 40 % связующего увеличение заполнения природным камнем лицевой поверхности с 70 % до 100 % общий расход связующего уменьшится с 32 % до 27 %.

Для осуществления второго пути необходимо выполнить специальные исследования влияния содержания связующего на прочность бетонополимерной смеси.

Наиболее существенного уменьшения стоимостных затрат на связующее можно достигнуть в результате приготовления заполняющих связующих смесей с малой стоимостью, например, цемента, алебаstra и др. Однако, применение неорганических связующих не обеспечивает необходимой прочности связи заполняющего состава и природного камня.

Известна технология производства брекчиевидных плит обеспечивающая повышение прочности сцепления бетона с природным камнем за счет нанесения на поверхность природного камня слоя полимерного связующего [5]. Заливка бетона по этой технологии выполняется после 40-60 % времени отверждения полимерной композиции. Прочность сцепления природного камня с бетоном при введении промежуточного слоя возрастает практически в 2 раза.

Выводы:

1. Из существующих видов плит отходы производства технических изделий наиболее рационально использовать для изготовления брекчиевидных плит с промежуточным слоем из полимерного связующего.
2. Увеличение прочности брекчиевидных плит и уменьшение расхода полимерного связующего может быть достигнуто путем разработки специальных композитных промежуточных слоев.

Литература

1. Хшоншевський В. Розпилювання кам'яних блоків: теорія і практика. / В. Хшоншевський // Камінь-Київ. Співак-прес. – 2007. – № 18. – С. 28– 32.
2. Ацагорян З. А. Эффективные облицовочные материалы из отходов добычи и обработки камня из неполирующихся пород / Ацагорян З. А., Хагартян А. А., Абея Р. Д // Облицовочные камни. – М.: Наука, 1974. – С. 92– 102.
3. Лобаков Н. Ф. Опыт производства брекчиевидных облицовочных плит из отходов добычи и переработки карбонатных пород // Лобаков Н. Ф., Петровченко Р. Г., Зрелова Т. Ф // Экспресс-информация ВНИИЭСМ, Серия 7. – М.: ВНИИЭСМ, 1988. – № 3. – С. 5– 6.
4. Зрелова Т. Ф. Обоснование технологий производства облицовочны изделий при комплексном использовании природного камня: авт. дисс. на соиск. ученой степ. канд. техн. наук / Зрелова Т. Ф. – М.: МНИ, 1987. – 24 с.
5. Петроченков Р. Г. Технология производства брекчиевидных облицовочных плит из отходов распиловки природного камня // Петроченков Р. Г., Лазовятский Г. А., Зрелова Т. Ф // Экспресс-информация ВНИИЭСМ. Серия 7. – М.: ВНИИЭСМ, 1988. – Вып. 4. – С. 7.

Надійшла 12.11.2010 р.

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗНАШИВАНИЯ ДЕТОНАЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ Cr-Si-B В УСЛОВИЯХ ГРАНИЧНОЙ СМАЗКИ

Проведены исследования разработанного структурно-фазового состава детонационных покрытий системы Cr-Si-B. Полученные результаты позволяют рекомендовать их использование для повышения износостойкости, трущихся в условиях граничной смазки сопряжённых деталей машин и оборудования.

Researches of the developed struktorno-fazovogo composition of detonation coverages of the system of Cr-si-b are conducted. The got results allow to recommend their use for the increase of wearproofness, attended details of machines and equipment ground in the conditions of the border greasing.

Ключевые слова: детонационные покрытия, износостойкость.

Вступление. Значительные возможности повышения эксплуатационной надежности деталей машин, работающих в условиях трения, связаны с формированием высококачественных поверхностных слоев, обладающих высоким сопротивлением износу.

Разработка износостойких покрытий, минимизирующих параметры трения, является одним из современных направлений триботехнического материаловедения. Внедрение перспективных трибостойких материалов сегодня не менее важно, чем их создание, при этом главным является прикладной эффект, получаемый от них в технике.

Одним из современных технологических методов, позволяющих наносить высококачественные износостойкие покрытия, значительно повышающих ресурс восстановленных и упрочненных деталей, является детонационно-газовое напыление. Однако широкое применение износостойких покрытий, полученных детонационно-газовым методом, сдерживается недостаточным объемом информации об их триботехнических возможностях, отсутствием научно обоснованных областей их оптимальной работоспособности, ограниченностью ассортимента качественных порошковых материалов.

В условиях смазки наиболее полно изучены закономерности трения и изнашивания спеченных порошковых материалов [1–3 и др.], у которых отмечается развитая пористость структуры, положительно влияющая на их триботехнические характеристики.

Цель работы: разработка структурно-фазового состава детонационных покрытий, на основе Cr, легированного Si и B, исследование их триботехнических возможностей в условиях граничного трения. При выборе компонентов композиционных покрытий учитывалась реализация комплекса свойств материала и смазочной среды, способствующих устойчивому проявлению структурной приспособляемости в процессе трения.

Методика исследований. Для раскрытия взаимосвязей между свойствами материалов в условиях трения, их структурой и составом фаз, влиянием внешних факторов, определяющих эксплуатационную устойчивость системы трения, были использованы современные физические методы. Изучение физико-химических свойств покрытий, микрофазовый анализ проводили на электронном сканирующем микроскопе типа «Камскан», исследование зон локализации структурных составляющих и количественный химический анализ – методами качественного и последующего количественного рентгеновского анализа.

Испытания на износостойкость проводили на установке типа УМТ-1 по торцевой схеме контакта в условиях граничной смазки. Для сравнительной оценки триботехнических свойств детонационных покрытий были использованы образцы из закаленной стали 30ХГСНА и азотированной 38ХМЮА в паре с бронзой Бр.014 и антифрикционным сплавом АО-20. Как известно, эти материалы наиболее широко применяются в реальных узлах трения, работающих в режиме граничной и гидродинамической смазки.

Результаты исследований и обсуждения результатов. В связи с принципиальным теоретическим и практическим значением рассматриваемого вопроса были проведены исследования процессов трения и изнашивания детонационных покрытий в инактивной смазке (вазелиновое масло) и в той же смазке, активированной добавками поверхностно-активных веществ.

При определении степени влияния поверхностно-активных веществ на закономерности трения и изнашивания детонационных покрытий в качестве смазочной среды использовалось как чистое (неполярное) вазелиновое масло, так и вазелиновое масло с добавкой 2 мас. % одноосновной ненасыщенной олеиновой кислоты. Оптимальную концентрацию олеиновой кислоты находили экспериментально, при этом оценку смазочных свойств определяли по величине коэффициента трения. Было установлено, что по мере повышения содержания олеиновой кислоты до 2 %, величина коэффициента трения, уменьшаясь, достигает постоянного уровня, на котором остается стабильной вплоть до концентрации одноосновной кислоты, соответствующей почти 45 мас. %. Таким образом, оптимальная концентрация олеиновой кислоты в вазелиновом масле, соответствующая минимизации параметра трения, составила 2 мас. %. Кроме того, для сравнения полученных результатов аналогичные пары трения по тем же программам испытывали в среде

минерального масла МС-20.

Результаты исследования представлены на рис. 1 и 2, при испытании покрытий в среде вазелинового масла, в котором не содержатся поверхностно-активные вещества, наблюдается минимальная величина износа при максимальном коэффициенте трения. При добавлении в вазелиновое масло поверхностно-активных веществ интенсивность изнашивания увеличивается почти в два раза при одновременном снижении коэффициента трения. При этом необходимо отметить, что диапазон нормального изнашивания по нагрузке при смазочном действии вазелинового масла сравнительно невысокий, до 8 МПа, и значительно расширяется при введении поверхностно-активных веществ – до 13 МПа.

Заметное понижение коэффициента трения и увеличение границы устойчивости, определяющей диапазон эксплуатации, связано с хемосорбцией кислорода на поверхности трения и образования защитных вторичных структур оксидов, а также с эффектом физически адсорбирующихся поверхностно-активных веществ, обуславливающих пластифицирование. Причем увеличение нагрузки оказывает более действенное влияние, чем повышение скорости скольжения, что, исходя из проявления эффекта Ребиндера, связано с неравновесным активированным состоянием поверхностного слоя и ориентированной в процессе трения структурой. Вазелиновое масло, содержащее в своем составе поверхностно-активные вещества, адсорбирующиеся на поверхностях деформируемого при трении покрытия, вызывает адсорбционное пластифицирование, т.е. способность к более интенсивной деформации (скольжение идет по многим системам кристаллографических плоскостей) в тонком поверхностном слое толщиной в доли микрометра, при этом поверхностно-активные вещества облегчают выход дислокаций к поверхности деформируемого покрытия, что уменьшает внутренние напряжения и предотвращает распространение деформации вглубь образцов. На рис. 3 показаны изменения дислокационной структуры при трении в среде вазелинового масла (а) и в условиях смазки с добавлением поверхностно-активных веществ (б).

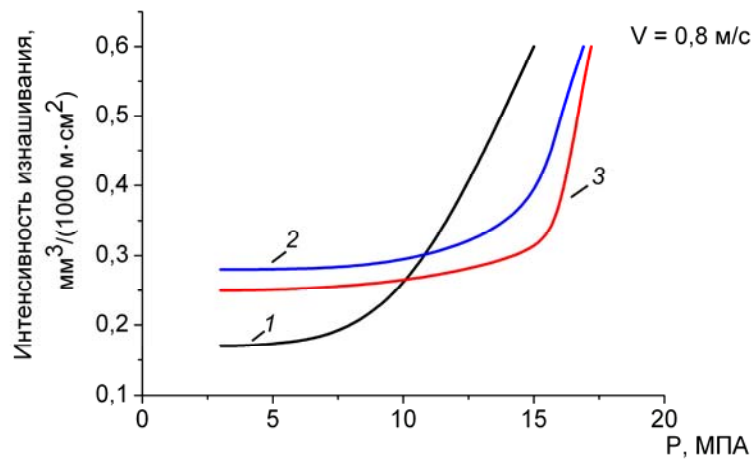


Рис. 1. Изменение интенсивности изнашивания в зависимости от нагрузки: 1 – в среде вазелинового масла; 2 – в среде вазелинового масла с добавкой поверхностно-активных веществ; 3 – в среде масла МС-20

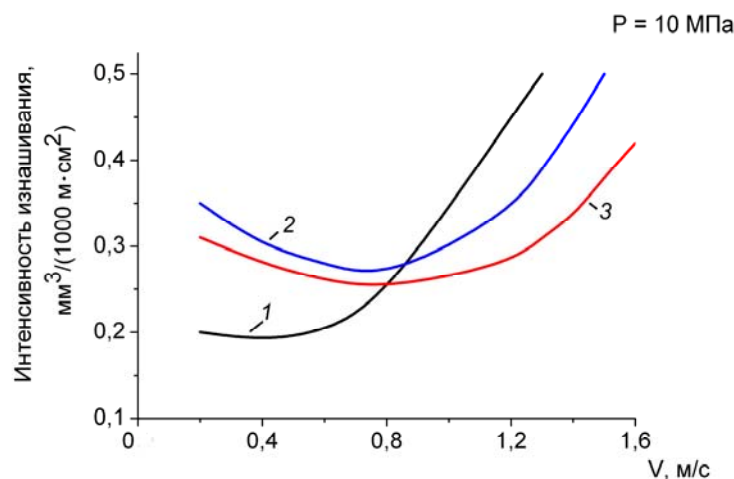


Рис. 2. Изменение интенсивности изнашивания в зависимости от скорости скольжения: 1 – в среде вазелинового масла; 2 – в среде вазелинового масла с добавкой поверхностно-активных веществ; 3 – в среде масла МС-20

Облегчение сдвигообразования в присутствии поверхностно-активных веществ в конечном счете приводит к значительному упрочнению тонкого поверхностного слоя вследствие сильных искажений решетки. Изменения параметров кристаллической решетки под влиянием нагрузок, температур, наклепа и фазовых превращений не протекают равномерно из-за локализации деформаций в отдельных объемах,

соизмеримых с участками фактического контакта, при этом центральные объемы частиц с неискаженной кристаллической решеткой менее прочны и имеют меньшее сопротивление деформации, являясь потенциальными очагами схватывания, а области, прилегающие к границам зерен или к участкам с искаженной кристаллической решеткой, оказываются более прочными. Эта локализация и обуславливает на поверхностях трения покрытий неоднородность механических свойств, определяемых регрессией к среднему уровню. Для анализа процессов представляется важным распределение микротвердости от поверхности трения по глубине деформированного слоя. На рис. 4 представлены результаты измерения микротвердости по глубине деформируемого слоя для трех смазочных сред, выполненные по методике. Точка, соответствующая микротвердости $H_{\mu} = 3700$ МПа, характеризует микротвердость исходного образца до испытания на трение. При работе в вазелиновом масле (кривая 1) микротвердость поверхностного слоя повышается незначительно, до $H_{\mu} = 5880$ МПа, при этом глубина деформируемой зоны достигает значительной величины $h = 1,78$ мкм. Добавление в вазелиновое масло поверхностно-активных веществ (кривая 2) существенно повышает микротвердость поверхности трения – $H_{\mu} = 14500$ МПа, при одновременном уменьшении глубины деформируемого слоя $h = 1,14$ мкм. Кривая 3, полученная при трении в среде масла МС-20, занимает промежуточное положение. На основании приведенных результатов следует отметить, что степень возникающего наклепа при деформировании поверхности покрытия значительно возрастает в присутствии поверхностно-активных веществ, т.е. повышается микротвердость наклепанного слоя, что существенно влияет на противоизносные свойства покрытия и, как известно способствует увеличению предела текучести материала поверхностного слоя, а, следовательно, расширению диапазона нормального изнашивания как по нагрузке, так и по скорости скольжения.

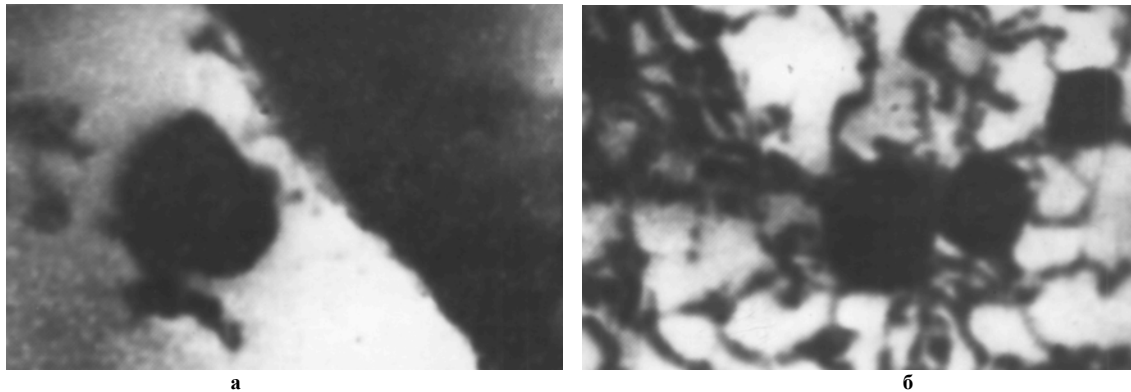


Рис. 3. Дислокационная структура покрытия на основе никеля, испытанного: а – при трении в вазелиновом масле; б – при трении в среде вазелинового масла с добавлением поверхностно-активных веществ (x 35000)

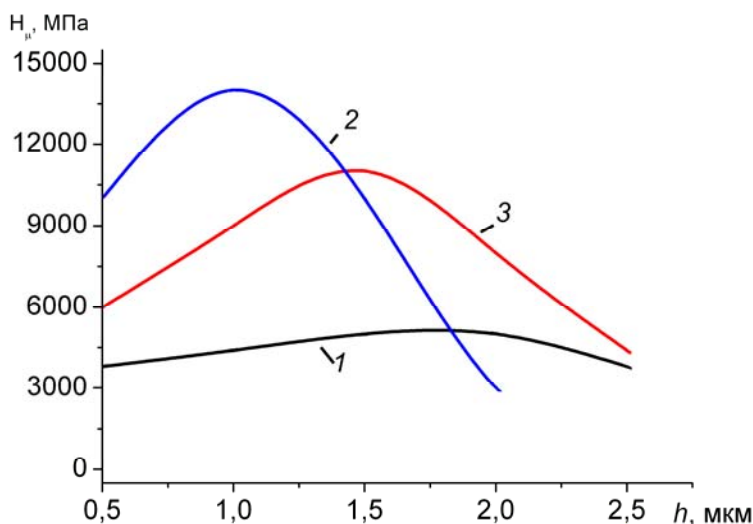


Рис. 4. Изменение микротвердости поверхности трения по глубине деформируемого слоя h при работе: 1 – в вазелиновом масле; 2 – в вазелиновом масле, содержащем поверхностно-активные вещества; 3 – в масле МС-20

Вышеизложенное имеет место при внешнем эффекте Ребиндера, который проявляется при работе покрытий в среде, содержащей поверхностно-активные вещества. Этим, в первую очередь, и объясняется значительное увеличение нагрузочно-скоростного диапазона работы покрытия по сравнению со смазочной средой, не содержащей поверхностно-активных веществ. Однако наличие поверхностно-активных веществ при трении детонационных покрытий вызывает нежелательные конкурирующие процессы, так одновременно с внешним эффектом Ребиндера проявляется внутренний эффект [4; 5], который имеет место в процессе адсорбции поверхностно-активных веществ на внутренних поверхностях пор, играющих роль

зародышей микротрещин. Это приводит к снижению работы, затрачиваемой на образование новых поверхностей и к облегчению развития микротверщин, что проявляется в повышении хрупкости и резком увеличении износа покрытий.

Обратная зависимость наблюдается у коэффициента трения, максимальное значение коэффициента трения соответствует вазелиновому маслу, минимальное – маслу МС-20, что в первую очередь, можно объяснить не только наличием в МС-20 поверхностно-активных веществ, но и его хорошей адсорбацией к поверхности трения за счет более высокой кинетической вязкости по сравнению с вазелиновым маслом.

Как показали проведенные экспериментальные исследования, поверхностно-активные вещества оказывают значительное влияние на процесс трения и изнашивания детонационных покрытий. При отсутствии в смазке поверхностно-активных веществ наблюдается минимальный износ при незначительном нагрузочно-скоростном диапазоне и высоком коэффициенте трения, добавление в смазочное масло поверхностно-активных веществ значительно расширяет нагрузочно-скоростной диапазон, снижает коэффициент трения, но при этом увеличивается износ, так как в данном случае имеет место одновременное действие внутреннего и внешнего эффектов Ребиндера.

Используя приведенные результаты о действии внутреннего и внешнего эффектов Ребиндера в процессе граничной смазки, можно предположить следующий механизм изнашивания детонационных покрытий при наличии смазочной среды. В процессе контактного взаимодействия происходит не только деформация поверхностных слоев, зерен, но и изменение их ориентации, т.е. текстурирование. Другими словами, поверхность трения приспособляется к действующей схеме механических напряжений, что видно на микрофотографиях поверхностей трения (рис. 5), соответствующих различным режимам трения. Присутствие поверхностно-активных веществ посредством проявления внешнего эффекта Ребиндера на поверхности трения способствует формированию структур, которые обуславливают явление приспособляемости.

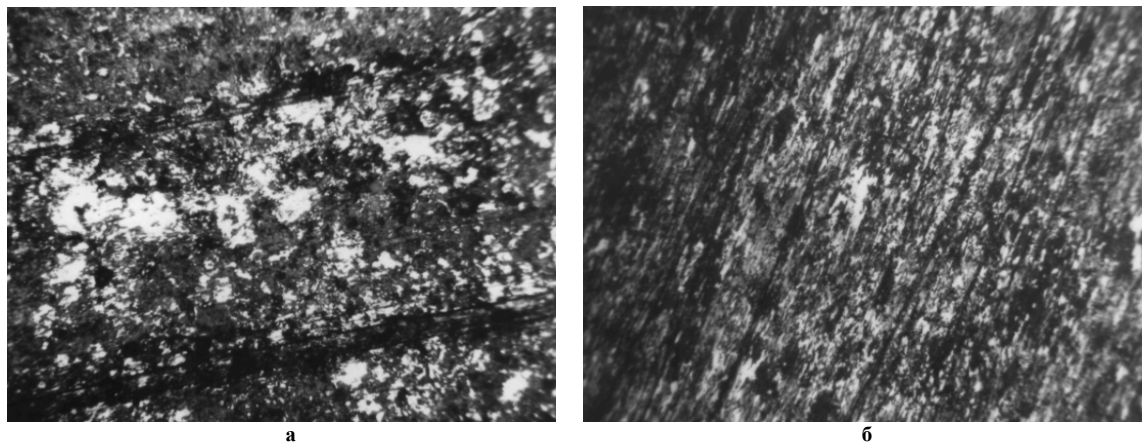


Рис. 5. Микрофотографии, иллюстрирующие текстурирование поверхностей трения детонационных покрытий, соответствующие различным режимам: а – $P = 5$ МПа; б – $P = 5$ МПа, при $V = 0,8$ м/с (х 320).

Выводы. Таким образом, работающие при трении в условиях граничной смазки детонационные покрытия системы Cr-Si-B могут быть использованы для повышения износостойкости трущихся сопряжений деталей машин и оборудования. Кроме того, технологичность напыления и низкая стоимость обуславливают перспективность использования данных покрытий при ремонте и восстановлении изношенных деталей широкой номенклатуры.

Литература

1. Анализ состояния, тенденции развития и рекомендации по применению защитных покрытий / [Б. А. Ляшенко, Н. А. Зенкин, Б. Ф. Пипа и др.]. – К.: ГАЛПУ, 1999. – С. 49.
2. Щепетов В. В. Износостойкость детонационных покрытий из порошков Ni-Al-Si, Ni-Al-B в условиях граничной смазки / В. В. Щепетов, В. Х. Кадыров // Порошковая металлургия. – 1989. – № 11. – С. 74–77.
3. Рябцев И. А. Наплавка деталей машин и механизмов / Рябцев И. А. – К.: Экотехнология, 2004. – С. 106.
4. Восстановление и повышение износостойкости и срока службы деталей машин / [под ред. В. С. Попова]. – Запорожье: Изд-во «Мотор Січ», 2000. – С. 394.
5. Ребиндер П. А. Влияние активных смазочных сред на деформирование сопряженных поверхностей трения / Ребиндер П. А. – В.: О природе трения твердых тел, 1971. – 224 с.

Надійшла 16.11.2010 р.

ЕФЕКТ СТРУКТУРНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ ПОВЕРХНІ ТЕРТЯ

Викладено результати досліджень методики випробувань металевих поверхонь на зношування

The results of researches of tests metallic surfaces method are expounded on a friction

Ключові слова: металева поверхня, структура, зносостійкість, методика

Вступ та постановка задачі

Металева поверхня у сенсі макрооб'єкту існує тільки як математичне поняття, тобто представляється певним геометричним місцем точок або сукупністю геометричних об'єктів, яка в тій чи іншій мірі наближається до деякої уявної множини матеріальних часток, котрі і становлять субстанцію поверхневого шару. Поверхню слід розглядати як особливу різновидність дефектів, оскільки вона руйнує періодичність твердого тіла в одному напрямку – перпендикулярно поверхні в сторону зовнішнього середовища. Ця теза в певній мірі підтверджується відомим з теорії і практики хімічних процесів фактом значного прискорення реакції при наявності на поверхні твердих каталізаторів, тобто саме граничний шар, структура якого в певній мірі відрізняється від власне основи твердого тіла, може більш активно взаємодіяти із зовнішніми чинниками, що стимулюють модифікацію поверхні. В той же час саме наявність реальної поверхні як структури з певною характерною для кожного конкретного її типу впорядкованістю, є тим стимулом, завдяки якому відбуваються більшість фізичних або хімічних процесів взаємодії твердого тіла з навколишнім середовищем. Оскільки поверхня як математичне поняття не може мати структури, то її слід розглядати як сукупність дефектів або аперіодичності кристалічної решітки, апроксимованих саме вибраним типом математичної моделі. Проте в ній в межах кожного шару продовжує зберігатись двомірна впорядкованість [1], а під її структурою слід розуміти структуру твердого тіла в околі поверхні. Цю частину твердого тіла поблизу математичної поверхні, або приповерхневий шар, допустимо розглядати як трьохмірну структуру, що відрізняється від самого твердого тіла, оскільки в межах декількох атомних шарів може включати атомні вузли, відмінні від атомних вузлів основного об'єму, при цьому відстань між шарами у напрямку по нормалі до поверхні не тільки дещо відрізняється від параметрів решітки основного об'єму, але й має змінний характер, як правило – в сторону збільшення в міру наближення до математичної поверхні. Проте не слід забувати, що приповерхневий шар є кристалічною структурою, для якої зберігається двомірна періодичність в площинах, котрі паралельні математичній поверхні. Таким чином, із зазначеного логічно повинен витікати висновок щодо того, що порушення вказаної природної періодичності приповерхневих шарів неминуче певним чином впливає на всі характеристики поверхні як суцільності, в тому числі – на її здатність чинити опір зношуванню. Ця обставина в більшій чи меншій мірі відзначалась в класичних роботах з трибології [2-7], проте належного висвітлення результатів досліджень, на основі яких можна було б сформулювати практичні методики експериментів щодо визначення характеристик зносостійкості металевих поверхонь, ні в цих, ні в інших працях не відзначається.

Окрім впливу структури приповерхневих шарів безпосередньо на процес зношування поверхні, слід також відзначити суттєву роль цього фактора для інших супутніх процесів та видів зношування. Відомо, що при адсорбції газів, тобто концентруванні компонентів газового середовища на поверхні, утворюється мономолекулярний адсорбційний шар – моношар [4]. Заповнення поверхні, тобто міра суцільності моношару, при малих значеннях тиску пропорційне тиску адсорбату в газовому середовищі. Якщо молекули газу з огляду на наявність сильного хімічного чи фізичного зв'язку не мають можливості переміщуватись по поверхні, то це – локалізована адсорбція з утворенням адсорбційного комплексу. При цьому адсорбат і приповерхневий шар можуть утворювати свою власну двомірну структуру. Швидкість адсорбції залежить від показника суцільності моношару, тобто при наближенні до стану суцільного заповнення поверхні адсорбційним шаром вона поступово зменшується до нуля і навпаки, в протилежному напрямку зростає швидкість десорбційних явищ. Хемосорбовані та фізично сорбовані частки газу на поверхні відрізняються типом електронного зв'язку адсорбата з основою. Якщо електронний стан адсорбованої молекули терпить значні зміни аж до утворення хімічних зв'язків з поверхнею, то мова йде про хемосорбцію. В разі, коли молекула утримується на поверхні силами Ван-дер-Ваальса, обумовленими поляризацією незбудженої молекули, то такий вид адсорбції відноситься до фізичної адсорбції. Верхня межа для фізичної адсорбції становить всього 0,6 еВ. Енергія хемосорбції як правило знаходиться в межах 1...8 еВ [1, с. 378]. Якщо енергія молекули зовнішнього середовища становить декілька електрон-вольт, то вона вже зможе перебороти потенціальний бар'єр приповерхневого шару, проникнути в глибину її, причому обмін електронами між атомами створить умови для хімічної сорбції чи хімічної реакції [9, с. 241]. Очевидно, що механічний вплив на поверхню в значній мірі змінює параметри адсорбційних явищ, що також не може не впливати на процеси зношування. Суттєвий вплив на хід руйнування поверхні надає значення роботи виходу, а також кристалічна структура поверхні. Дійсно поняття роботи виходу у значній мірі умовне з огляду на умовність терміну «поза поверхнею», оскільки саме від відстані до поверхні як математичної категорії залежить потенціальна енергія. Крім того, реальна поверхня структурно неоднорідна, з різною

кристалічною орієнтацією окремих фрагментів, деякі з них знаходяться в прискорюючому полі, інші – в гальмівному. Щільно запаковані кристалічні грані характеризуються високими значеннями роботи виходу, навпаки, атомно-неоднорідні або нещільно запаковані – малими. За наявності абсорбційного шару виникає додатковий поверхневий подвійний шар, який теж суттєво впливає на величину роботи виходу.

Із зазначеного вище слідує висновок стосовно важливості врахування параметрів процесу зношування та інших умов, котрі характеризують цей процес, на об'єктивність результатів досліджень, особливо в аспекті їх аналізу та формування практичних рекомендацій.

Результати досліджень. В роботі [10] були проаналізовані результати досліджень зносостійкості, які одержані в умовах граничного тертя. Головні висновки з аналізу зводились до того, що будь-який процес зношування є сукупністю послідовного ущільнення приповерхневих шарів та їх видалення. При цьому вирішальне значення мають параметри випробувань, які повинні вибиратись з огляду на матеріал та попередню обробку поверхні. Результати експериментів свідчать про те, що в умовах граничного тертя надзвичайно важко, а в деяких випадках неможливо використовувати такі значення питомого тиску на поверхню тертя, при яких реальним було б співставлення результатів, одержаних для різних взірців, виготовлених з різних марок матеріалів та оброблених за допомогою різних технологічних процесів. Оскільки в ході випробувань забезпечувалось постійне змашування зони тертя, то до певного значення тиску на поверхні тертя був присутній шар мастила, що призводило до надзвичайно малих показників лінійного зношування. Проте залежно від характеристик модифікованої поверхні існувало критичне значення тиску, при якому шар мастила витискувався із зони тертя, що призводило до миттєвого схоплювання поверхонь. Про наявність ущільнення і, таким чином, структурних перетворень поверхні свідчить той факт, що при поступовому збільшенні тиску вдавалось досягати відносно великих значень критичного тиску. Спроба зразу ж проводити на нових взірцях випробування при тиску, близькому до цих критичних значень, неминуче викликала схоплювання поверхонь. Причиною подібного явища могло бути тільки поетапне ущільнення поверхні та її зміцнення, природно – зі зміною структури приповерхневого шару. Зазначене разом з неможливістю об'єктивного порівнювання результатів випробувань, отриманих при різних тисках, пояснює необхідність переходу до схеми експериментів при сухому терті. Деякі результати попередніх випробувань показані на рис. 1.

Насамперед, з рис. 1 слідує висновок, що в режимі сухого тертя суттєво зростає інтенсивність процесу зношування, що призводить до аналогічно значного підвищення продуктивності експериментальних досліджень (в деяких випадках один експеримент в режимі граничного тертя тривав тижнями, в режимі сухого – в деяких випадках вдавалось виконати за декілька змін). Крім того підтвердилась теза стосовно вирішальності впливу на інтенсивність зношування тиску на поверхні тертя, оскільки одні і ті ж показники лінійного зносу d досягались зі збільшенням тиску при суттєво більшому шляхові тертя L . Марка матеріалу (початкові значення фізико-механічних показників) в сукупності з наявною модифікацією поверхні також суттєво впливали на інтенсивність зношування. Так, наприклад, для азотованої в тліючому розряді сталі 38Х2МЮА в деяких випадках інтенсивність зношування практично на порядок менша в порівнянні зі сталю 20. На відміну від методики експериментальних досліджень, оснований на принципі застосування граничного тертя, в режимі сухого тертя результатів можливо досягти при однакових значеннях тиску практично для всіх сталей, що виключає при аналізі результатів досліджень питання порівнянності. Про важливість цього положення свідчить співставлення кривих зношування для одних і тих же сталей при різних значеннях тиску (рис. 1). Оскільки одне і те ж значення лінійного зносу для одного матеріалу, але при різному тиску, досягається при суттєво різних значеннях шляху тертя, то встановлення взаємозв'язку між перерахованими факторами становило би певну проблему. Графіки на рис. 1 підтверджують вплив на інтенсивність зношування фізико-механічних параметрів поверхні та її модифікації, при цьому міцніші сталі, а також сталі, котрі пройшли певну

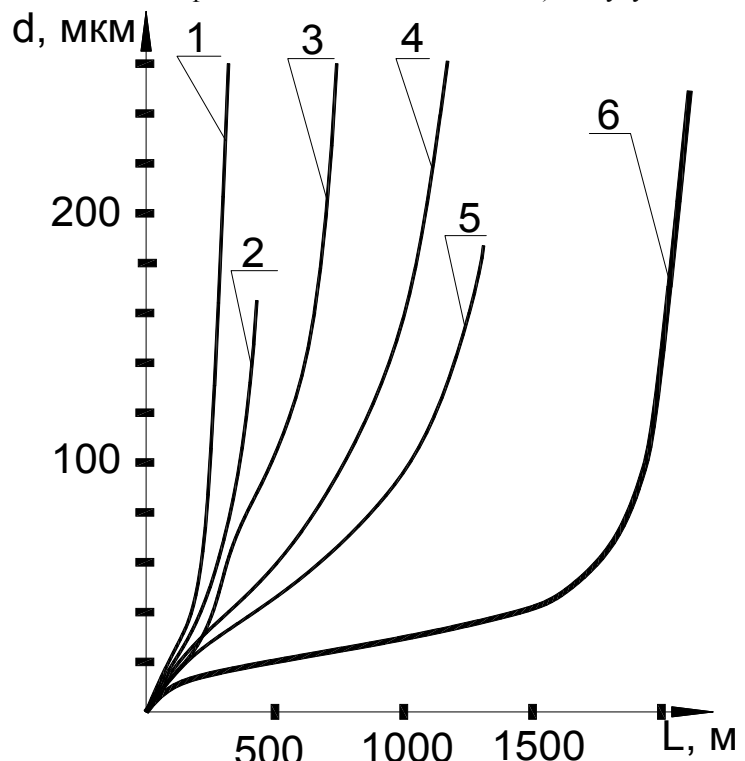


Рис. 1 Залежність лінійного зносу від шляху тертя та тиску:
 1 – сталь 20, $p=16$ МПа; 2 – сталь 45, $p=16$ МПа; 3 – сталь 20, $p=10$ МПа;
 4 – сталь 40Х, $p=16$ МПа; 5 – сталь 45, $p=10$ МПа;
 6 – сталь 38Х2МЮА, $p=16$ МПа

модифікаційну обробку, зношуються при однакових умовах (тиск та швидкість відносного руху, яка для всіх експериментів становила 0,1 м/с) з меншою інтенсивністю, що на графіках відповідає куту їх нахилу.

Ефект структурних перетворень поверхні підтверджується рисунком 2, на якому приведені результати фіксації лінійного зносу з малим інтервалом шляху тертя. Графік зношування в цьому випадку являє собою ступінчасту криву слідування періодів утворення зміцнених структур на поверхні, коли зношування практично відсутнє, та періодів руйнування цих поверхневих структур. Для модифікованих поверхонь подібне явище особливо характерне в початковий період, коли зношується зона нітридів та внутрішнього азотування. Встановлене ще одне важливе для аналізу впливу результатів модифікації на параметри зносостійкості поверхні явище – ефект релаксаційних процесів в приповерхневих шарах, котрі вже набули деяких структурних перетворень під дією тиску в зоні тертя.

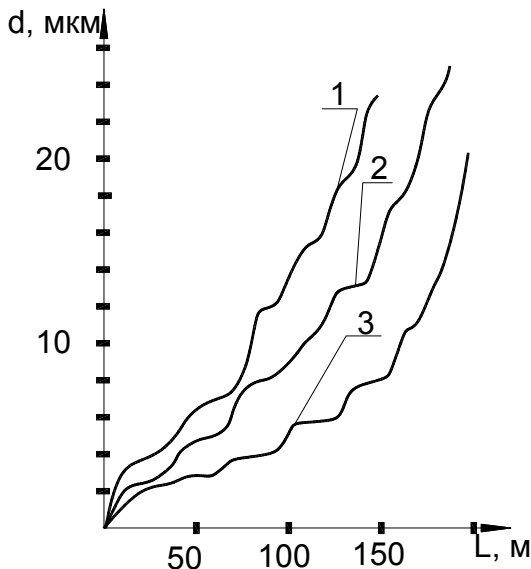


Рис. 2 Характер зношування поверхні в початковий період (1- сталь 20, 2 – сталь 40X, 3 – сталь 39X2МЮА)

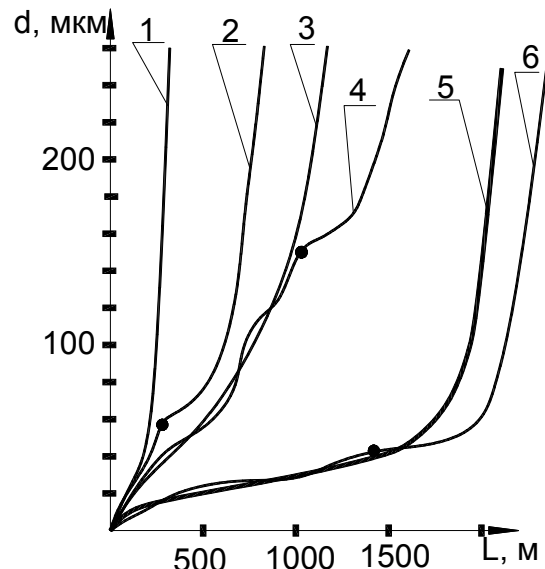


Рис. 3 Ефект релаксаційних структурних перетворень поверхні (1, 2 – сталь 20; 3, 4 – сталь 40X, 5, 6 – сталь 38X2МЮА)

Чорними точками на графіках 2, 4, 6 зафіксовані точки, коли випробування на зносостійкість призупинялись і відновлювались наступної доби. Для всіх сталей відмічається деяке сповільнення процесу зношування після перерви з поступовим поверненням до інтенсивності, характерної для певної марки сталі. Причиною зазначеного явища можуть бути тільки релаксація напружень, вирівнювання характеристик структури в приповерхневих шарах, причому наслідком всього цього може бути зміцнення поверхні, що і пояснює зниження інтенсивності процесу зношування. З часом в міру руйнування зміцненого прошарку показники стану поверхні стають рівними з тими, що були до перерви і інтенсивність зношування відновлюється.

Висновки

1. Дослідження зносостійкості при сухому режимі тертя забезпечує суттєво більшу продуктивність експериментів.
2. На відміну від експериментів при граничному терті сухе тертя може застосовуватись для різних сталей при однаковому значенні тиску, що виключає проблему порівнянності результатів та сприяє об'єктивності висновків стосовно ефективності різних процесів модифікації. За результатами попередніх експериментів таким компромісним значенням тиску може бути 16 МПа.
3. Встановлений ефект релаксаційних перетворень поверхневих структур, на основі чого рекомендується проводити дослідження зносостійкості протягом однієї безперервної сесії.

Література

1. Вудраф Д. Современные методы исследования поверхности / Вудраф Д., Делчар Т. – М.: Мир, 1989. – 564 с.
2. Крагельский И.В. Основы расчетов на трение и износ / Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
3. Справочник по триботехнике / [под общ. ред. М. Хебды, А. В. Чичинадзе]: в 3 т. Т. 1. Теоретические основы. – М.: Машиностроение; 1989. – 400 с.
4. Словарь-справочник по трению, износу и смазке / [Е. Л. Швидков, Д. Я. Ровинский, В. Д. Зозуля, Э. Д. Браун]. – К.: Наукова думка. – 1979. – 188 с.
5. Крагельский И.В. Узлы трения машин: Справочник / Крагельский И.В., Михин Н.М. – М.: Машиностроение, 1983. – 320 с.

6. Гаркунов Д.Н. Триботехника: [учебник для студентов вузов]. – [2-е изд.]. – М.: Машиностроение. – 1989. – 328 с.
7. Долговечность трущихся деталей / [под ред. Д. Н. Гаркунова]. – М.: Машиностроение. – 1986. – Вып. 1. – 264 с.
8. Справочник химика: Т.1 – [2-е изд.]. – Л. – М.: Госхимиздат, 1962. – 1071 с.
9. Плешивцев Н.В. Катодное распыление / Плешивцев Н.В. – М.: Атомиздат, 1968. – 339 с.
10. Пастух І.М. Дослідження зносостійкості при граничному терті азотованих металевих поверхонь / Пастух І.М., Лук'янюк М.В., Здибель О.С // Вісник ХНУ, Хмельницький, 2010, № 3. – С. 15-20.

Надійшла 15.11.2010 р.

УДК 519.832.3+004.032.26

В.В. РОМАНЮК
Хмельницький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ МІНІМАКСНОГО ПРИНЦИПУ У ПРОГНОЗНОМУ КОНТРОЛІ КОРПУСНОГО ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕДУРИ МІНІМІЗАЦІЇ ПОМИЛКИ

Пропонується антагоністична модель для оптимізації вибору процедури мінімізації помилки для нейромережевої моделі контролю. Показано, що відповідна гра розв'язується у чистих стратегіях, що значно спрощує реалізацію запропонованого мінімаксного принципу.

There is suggested an antagonistic model for optimizing the selection of the error minimization routine within neural net control model. It has been shown, that the corresponding game is solved in pure strategies, what simplifies the suggested minimax principle realization considerably.

Ключові слова: математична модель, імітаційна модель, динамічна модель, нейромережа, антагоністична гра, оптимальна стратегія, мінімаксний принцип, MATLAB Simulink®, блокова модель, процедура мінімізації помилки.

Постановка й актуальність проблеми у загальному виді

Моделювання і прогнозування складних систем та об'єктів є безперечно важливим етапом перед їх введенням у дію або експлуатацію. Натурне моделювання тут зазвичай є практично неможливим, тому застосовують або виключно математичні моделі, або їх імплементацію у структурні блокові моделі. Одним з найкращих засобів для блокового моделювання є середовище MATLAB Simulink®, де містяться демонстраційні приклади для імітаційного моделювання декількох динамічних систем [1, 2] з можливістю [3] їх уточнення або добудовування. Серед цих динамічних блок-моделей є нейромережева система прогнозного контролю концентрації корпусного ядерного реактора (рис. 1 з файлу predcstr.mdl), у якій нейромережа використовує одну з п'яти наявних процедур мінімізації помилки (за умовчанням, процедура CSRCHBAC — One-dimensional minimization using backtracking for the NN Predictive Controller). Однак при увімкненні деяких інших процедур виявляються подекуди кращі результати, ніж дає процедура CSRCHBAC. Щоправда, ці результати залежать від часу імітації.

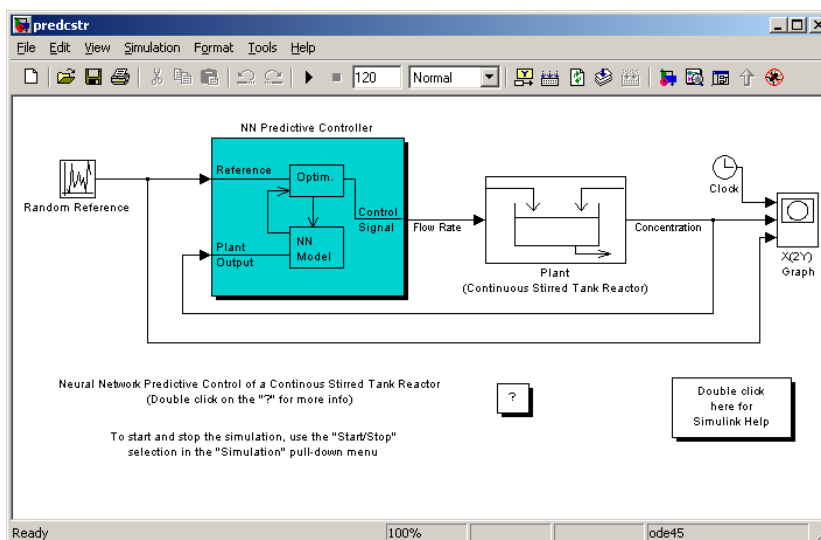


Рис. 1. Блок-модель нейромережевого прогнозного контролю концентрації корпусного ядерного реактора у MATLAB Simulink®

**Аналіз останніх досліджень і публікацій за предметом дослідження та окреслення питання
щодо неоднозначності вибору параметрів нейромереж**

Нейромережі різної структури є надзвичайно вагомим елементом сучасних систем підтримки прийняття рішень та імітаційного моделювання. Формування, розробка і розвиток нейромереж у MATLAB Simulink[®] можна здійснювати за матеріалами і прикладами, що наводяться у [2, 3]. Фундаментом нейромережі, звичайно ж, є структура штучних нейронів та їх нашарування зі зв'язками, котре визначає архітектуру нейромережі [3]. У роботі [4] показано, що для більш гнучкого навчання нейромережі у ній можна використати декілька функцій активації одного типу нейрона, вибір яких здійснюватиметься за імовірностями в оптимальній стратегії другого гравця спеціальної антагоністичної гри. І взагалі, легко передбачити, що за подібним мінімаксімним принципом можна усунути неоднозначність [5, 6] вибору таких параметрів нейромережі, включаючи функцію активації нейрона, як зміщення, зважування перед процесом навчання, тип зв'язків між шарами, алгоритм мінімізації помилки у процесі навчання та його тривалість.

Формулювання мети і постановка завдань статті

Розглядатимемо динамічну блок-модель нейромережевої системи прогнозного контролю концентрації корпусного ядерного реактора (ПКККЯР) у MATLAB Simulink[®]. Покажемо, що для вибору процедури мінімізації помилки можна використати мінімаксімний підхід. Для цього необхідно побудувати відповідну антагоністичну гру, де чистими стратегіями другого гравця будуть п'ять наявних процедур мінімізації помилки. Множиною чистих стратегій першого гравця буде інтервал часу, протягом якого здійснюватиметься імітація. Оптимальна стратегія другого гравця у цій грі вкаже на, у щонайгіршому випадку, імовірнісний розподіл процедур мінімізації помилки. Якщо ж гра матиме розв'язок у чистих стратегіях, то оптимальний вибір процедури мінімізації помилки здійснюватиметься безімовірно саме за ним.

Вибір оптимальної процедури мінімізації помилки за допомогою ігрової моделі

Відкрита та доповнена блоками віднімання, взяття по модулю, інтегрування, збереження у файл та відображення блок-модель ПКККЯР зображена на рис. 2. Нехай $c(t)$ є реальним рівнем концентрації у реакторі при часі $t \in [0; 120]$ у секундах, де двохвилинний період є максимальним часом імітаційного моделювання. Прогнозований рівень концентрації обчислюється за однією з п'яти процедур мінімізації помилки, котрі можна перемикаєти (рис. 3): $\tilde{c}_{CSRCHGOL}(t)$, $\tilde{c}_{CSRCHBAC}(t)$, $\tilde{c}_{CSRCHHYB}(t)$, $\tilde{c}_{CSRCHBRE}(t)$, $\tilde{c}_{CSRCHCHA}(t)$. Окрім CSRCHBAC, відповідними процедурами є: CSRCHGOL — One-dimensional minimization using golden section search, CSRCHHYB — One-dimensional minimization using a hybrid bisection-cubic search, CSRCHBRE — One-dimensional interval location using Brent's method, CSRCHCHA — One-dimensional minimization using the method of Charalambous.

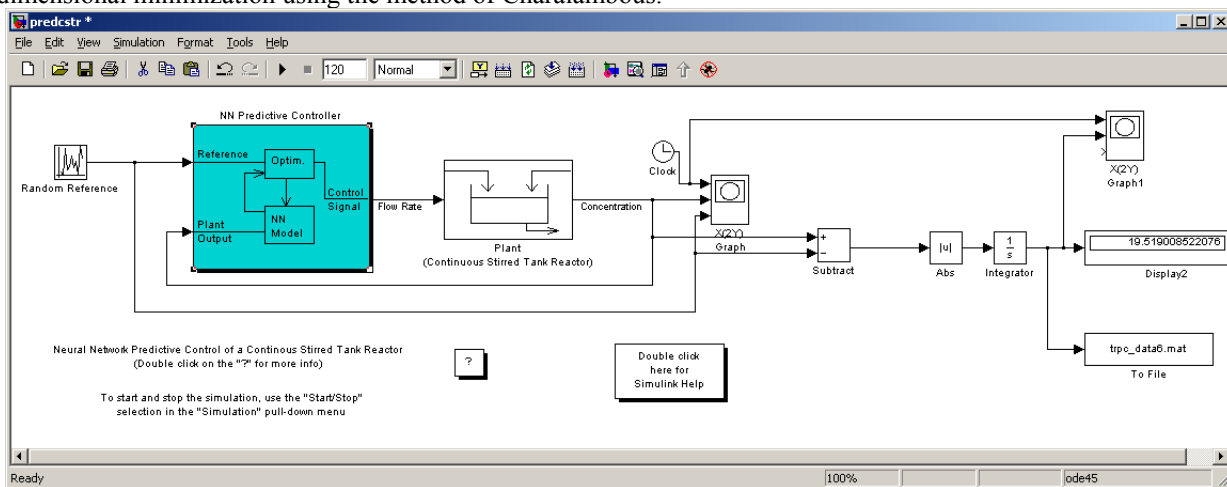


Рис. 2. Доповнена блок-модель ПКККЯР у MATLAB Simulink[®]

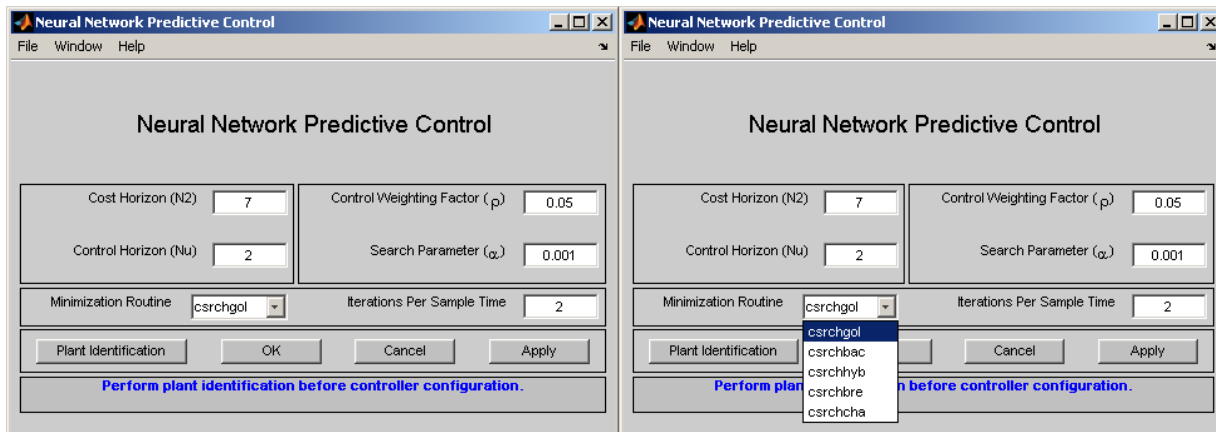


Рис. 3. Вікно для корекції параметрів нейромережі

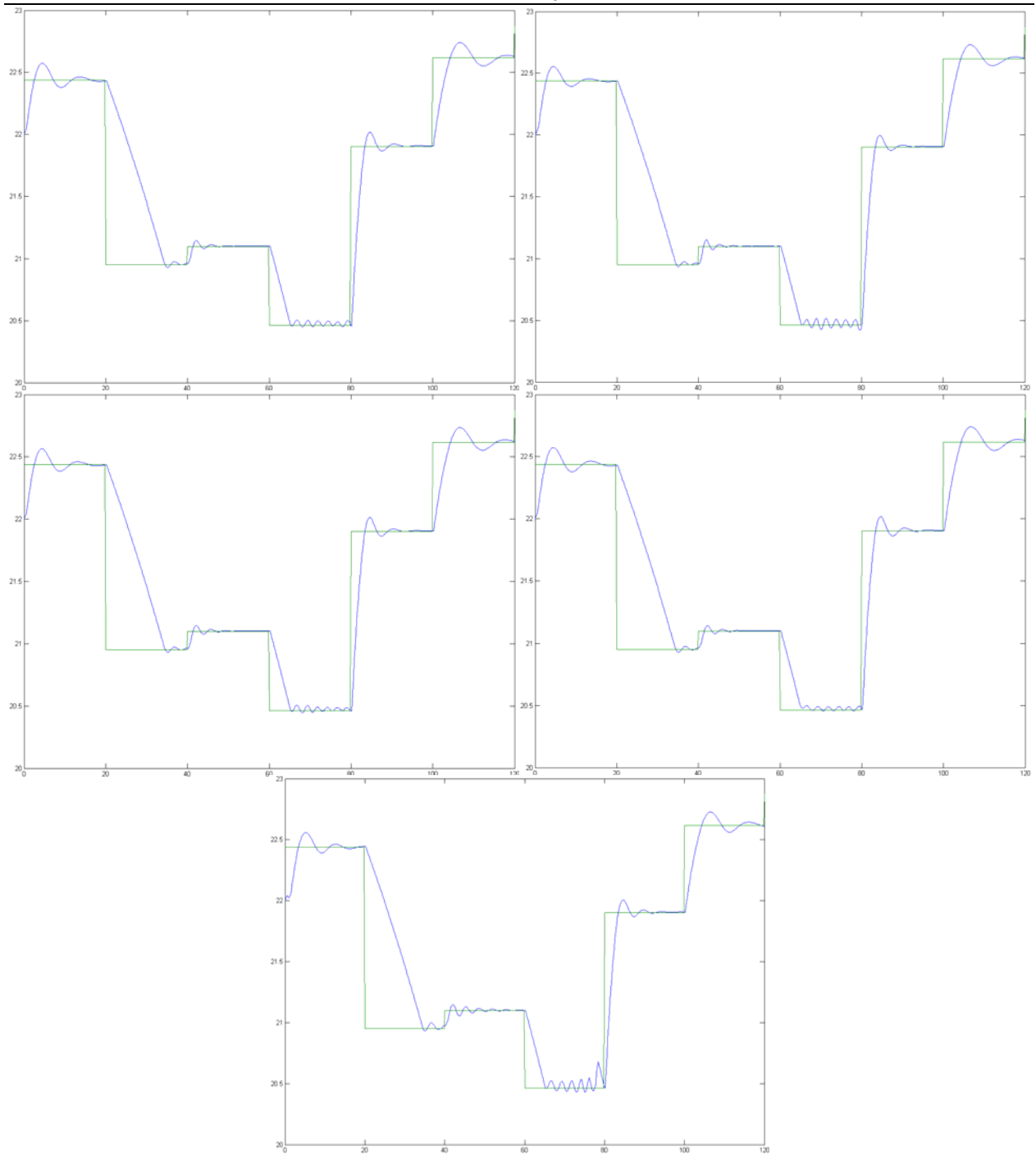


Рис. 4. Реальний та прогнозований рівні концентрації у реакторі за п'яти різних процедур мінімізації помилки

Запускаючи імітаційну модель на дві хвилини для кожної процедури мінімізації помилки, у кожен момент часу $t \in [0; 120]$ за допомогою доповнених блоків обчислюватимемо (рис. 4 і 5)

$$d_{\text{CSRCHGOL}}(t) = \int_0^t |c(\xi) - \tilde{c}_{\text{CSRCHGOL}}(\xi)| d\xi, \quad (1)$$

$$d_{\text{CSRCHBAC}}(t) = \int_0^t |c(\xi) - \tilde{c}_{\text{CSRCHBAC}}(\xi)| d\xi, \quad (2)$$

$$d_{\text{CSRCHHYB}}(t) = \int_0^t |c(\xi) - \tilde{c}_{\text{CSRCHHYB}}(\xi)| d\xi, \quad (3)$$

$$d_{\text{CSRCHBRE}}(t) = \int_0^t |c(\xi) - \tilde{c}_{\text{CSRCHBRE}}(\xi)| d\xi, \quad (4)$$

$$d_{\text{CSRCHCHA}}(t) = \int_0^t |c(\xi) - \tilde{c}_{\text{CSRCHCHA}}(\xi)| d\xi. \quad (5)$$

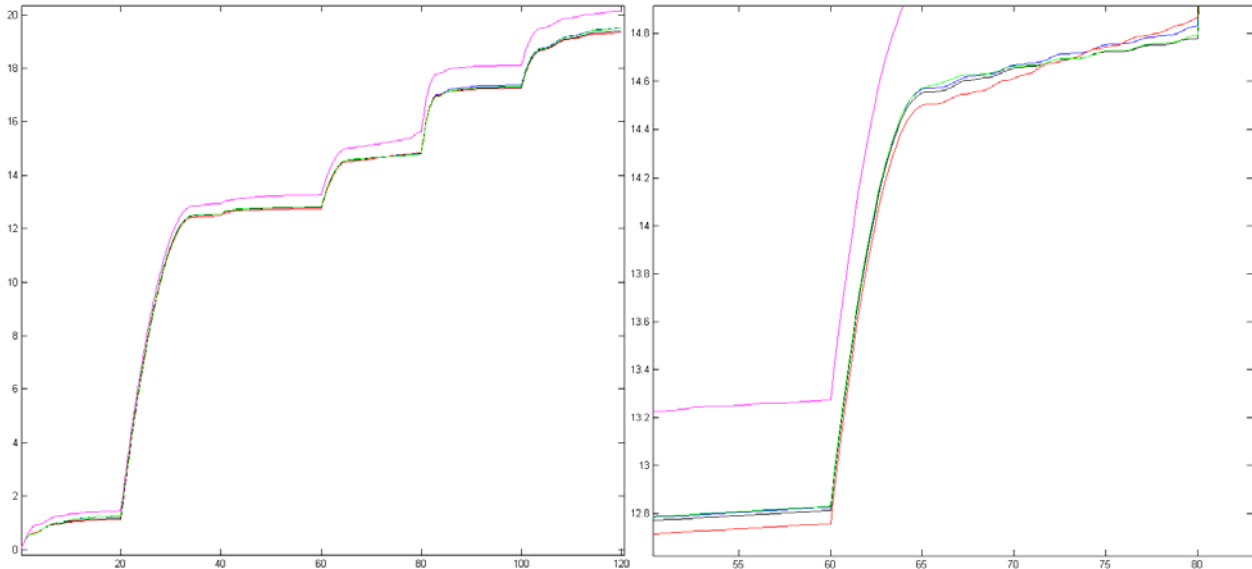


Рис. 5. Інтеграли (1) — (5) абсолютних різниць реальних та прогнозованих рівнів концентрацій у реакторі за п'ятьох різних процедур мінімізації помилки

Далі будемо нескінченну антагоністичну гру з ядром $K(x, y; t)$ на множині $X \times Y$, де чиста стратегія першого гравця

$$x \in X = (0; t] \quad \text{при} \quad t \in (0; 120], \quad (6)$$

а чиста стратегія другого гравця

$$y \in Y = \{y_{\text{CSRCHGOL}}, y_{\text{CSRCHBAC}}, y_{\text{CSRCHNYB}}, y_{\text{CSRCHBRE}}, y_{\text{CSRCHCHA}}\}, \quad (7)$$

причому ядро $\forall t \in (0; 120]$ визначається так:

$$K(x, y_{\text{CSRCHGOL}}; t) = d_{\text{CSRCHGOL}}(x), \quad (8)$$

$$K(x, y_{\text{CSRCHBAC}}; t) = d_{\text{CSRCHBAC}}(x), \quad (9)$$

$$K(x, y_{\text{CSRCHNYB}}; t) = d_{\text{CSRCHNYB}}(x), \quad (10)$$

$$K(x, y_{\text{CSRCHBRE}}; t) = d_{\text{CSRCHBRE}}(x), \quad (11)$$

$$K(x, y_{\text{CSRCHCHA}}; t) = d_{\text{CSRCHCHA}}(x). \quad (12)$$

Виявляється, що нескінченна антагоністична гра з ядром $K(x, y; t)$ на множині $X \times Y$ з (6) і (7) при (8) — (12) розв'язується у чистих стратегіях, причому для

$$X \in \{(0; t]\}_{t \in (0; 0.7)} \cup \{(0; t]\}_{t \in (5.5; 120)} \quad (13)$$

процедура мінімізації помилки CSRCHBAC справді виявляється найкращою. А ось для

$$X \in \{(0; t]\}_{t \in [0.7; 5.5]} \quad (14)$$

оптимальним є застосування процедури CSRCHNYB. Це говорить про те, що процедура CSRCHBAC за умовчанням вибрана вірно, але для тих випадків, коли час готовності реактора належить відрізку $[0.7; 5.5]$, слід вмикати процедуру CSRCHNYB.

Висновок та перспектива подальшого дослідження

Для імітаційного моделювання такого складного об'єкта як ядерний реактор невраховування навіть дрібниць є неприпустимим, тому принцип мінімаксу (найбільш обережний принцип) і був застосований. А продемонстрований приклад оптимізації процедури мінімізації помилки можна використати як шаблон при неоднозначностях у виборі й інших параметрів нейромереж. Лише треба коректно застосовувати найбільш обережний принцип, при якому дії першого гравця вважаються вкрай непередбачуваними. У перспективі можна продовжити дослідження щодо оптимізації інших параметрів нейромережі ПКККЯР у MATLAB Simulink®.

1. Дьяконов В. П. Математические пакеты расширения MATLAB. Специальный справочник / В. П. Дьяконов, В. В. Круглов. — СПб. : Питер, 2001. — 480 с. : ил.
2. Дьяконов В. П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6®. Основы применения. Серия “Библиотека профессионала” / В. П. Дьяконов. — М. : СОЛОН-Пресс, 2005. — 800 с. : ил.
3. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С. Д. Штовба. — М. : Горячая линия — Телеком, 2007. — 288 с.
4. Romanuke V. V. Adjusting the neuron transfer function with symmetric kernel matrix game / V. V. Romanuke // V International Conference on Optoelectronic Information Technologies “Photonics — ODS 2010”, September 28 — 30, 2010, Vinnytsya : abstracts. — Vinnytsya : VNTU, 2010. — P. 61.
5. Романюк В. В. Мінімаксний підхід у реалізації стохастичного параметра з невідомим імовірнісним розподілом на інтервалі ненульової міри / В. В. Романюк // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. — 2010. — № 3. — С. 65 — 71.
6. Романюк В. В. Оцінювання вірогідності розподілу статистичних частот випадкової величини з невідомим математичним сподіванням і дисперсією / В. В. Романюк // Вісник НТУ “ХПІ”. Тематичний випуск: Інформатика і моделювання. — Харків : НТУ “ХПІ”, 2010. — № 21. — С. 152 — 161.

Надійшла 2.11.2010 р.

УДК 620.19: 629.33

Ю.І. ШАЛАПКО, А.Л. ГАНЗЮК, М.А. РАЗУВАЄВА
Хмельницький національний університет

ПРИХОВАНІСТЬ ФРЕТТИНГ-ПРОЦЕСІВ У З’ЄДНАННЯХ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ ТА ЇХ ВПЛИВ НА БЕЗПЕКУ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

Явище фретингу як одне з специфічних контактних видів взаємодії досліджується вже друге сторіччя. Найбільш інтенсивно це відбувається останні 20-30 років і пов’язано не стільки з проблемою зношування вузлів тертя, а з небезпекою раптового виходу з ладу номінально-нерухомих з’єднань. Експлуатація автомобільної техніки з точки зору надійності вузлів кріплення та фретинг-процесів відрізняється певними особливостями: нестационарністю динамічних навантажень та впливом агресивного середовища. Саме нестационарність навантаження призводить до раптового руйнування вузлів нерухомого спряження, а прихованість довготривалої дії від фретингу не дає можливості передбачити аварійну ситуацію.

The phenomenon of fretting, as one of the specific kinds of contact interaction study is the second century. The most intense is the case the last 20-30 years is due, not so much the problem of wear of friction units, and the danger of sudden failure of the nominally-fixed connections. Operation of vehicles in terms of reliability of components and fasteners fretting process is different specific features: dynamic loads and nonstationary environments. This nonstationary loading leads to sudden destruction of real coupling units and long-term action of secrecy prevents fretting include emergency.

Ключові слова: фретинг, надійність, номінально-нерухоме з’єднання.

Вступ

Сучасний розвиток наукоємності техніки вимагає більш уважного ставлення до трибологічних проблем, пов’язаних з контактними мікропереміщеннями, які виникають у номінально-нерухомих з’єднаннях при динамічному та вібраційному навантаженні механічного вузла. Приклади пошкоджень від фретинг-корозії та фретинг-втоми зустрічаються у багатьох дослідженнях цієї трибологічної проблеми. Наведемо результати звіту державної комісії з розслідування найбільш масштабної за останні часи аварії Саяно-Шушенської ГЕС у 2009 році [1]. З акту технічного розслідування Ростехнадзору слідує, що під час перехідних гідродинамічних процесів, пульсації тиску у проточному тракті й підвищеної вібрації виникли втомні тріщини біля місць контактування деталей кріплення гідроагрегату, в тому числі кришки турбіни. Це викликало руйнування шпильок, зрив кришки турбіни й розгерметизацію водопідводного тракту гідроагрегату.

Особливості сил тертя при вібраційному навантаженні нерухомих з’єднань

Розглянемо специфіку фретинг-процесів у малоамплітудній області відносних мікропереміщень. Саме амплітуда у 5-20 мкм практично не дає можливості об’єктивно оцінити передруйнівний стан з’єднання: відсутні стуки, удари, скрипіння, видиме розшатування, підвищена вібрація. В умовах малоамплітудного фретингу швидкість мікропроковзування є дуже малою, навіть за великих частот коливань. Так, при гармонічному законі коливань двох поверхонь з частотою 100 Гц й амплітудою відносних мікропереміщень 10 мкм максимальна швидкість проковзування дорівнює 3.14 мм/с. А для імпульсних коливань у формі трикутника швидкість з такою ж амплітудою буде 2 мм/с. Такі малі відносні швидкості разом з малими мікропереміщеннями мають принципові особливості, які впливають на загальну картину фретинг-процесів у номінально-нерухомому контакті. Для розуміння природи латентного (прихованого) фретингу, умов його ініціювання та подальшої еволюції контакту необхідно врахувати наступні ключові моменти:

- залежність тертя від відносної швидкості;
- ефект пам'яті при терті або часове запізнення критичної амплітуди проковзування;
- невизначеність або багатозначність сил тертя при нульовій відносній швидкості;
- час перебування контакту в умовах статичного тертя – попереднє зміщення поверхонь.

Особливу увагу необхідно приділяти функції сили тертя, отже саме вона є рушійною силою всіх динамічних та фрикційних явищ. Класичні моделі тертя [2,3] складаються із функціональних залежностей різних параметрів, кожен з яких описує відповідні аспекти сили тертя. Головні тези полягають у тому, що будь-якому руху опирається сила тертя і її величина не залежить від швидкості й площі контакту. Це можна описати простим виразом $Q = Q_C \text{sign}(\vartheta)$, де сила тертя Q пропорційна нормальному навантаженню P :

$Q_C = \mu \cdot P$. Наведено основні моделі статичного тертя (рис. 1).

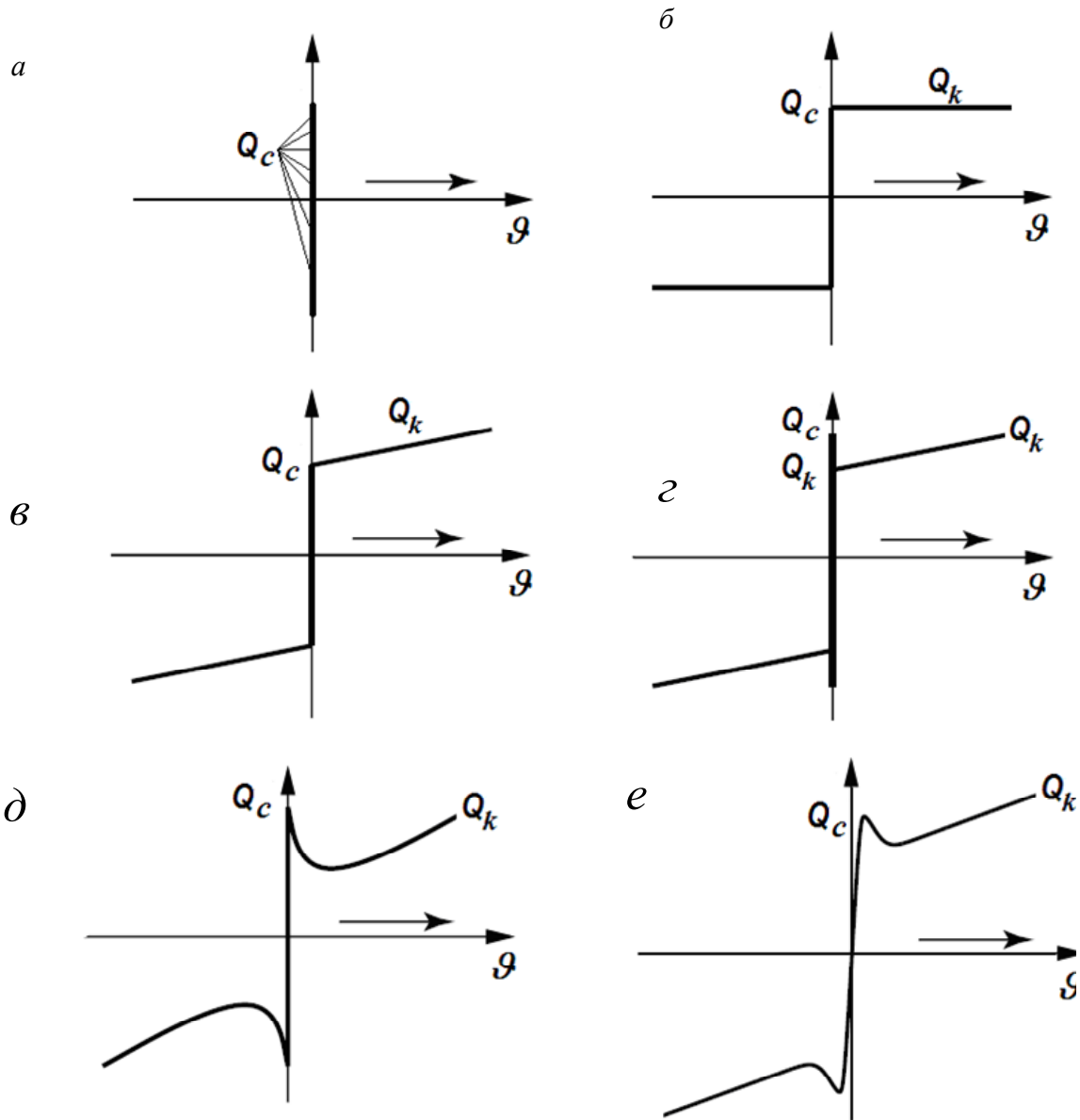


Рис. 1. Основні закони статичного тертя (характеристики тертя $Q = f(\vartheta)$):

- a* – багатозначність статичного тертя при $\vartheta = 0$; *б* – закон Кулона; *в* – закон Кулона + в'язке тертя; *г* – стрибок сили тертя в момент зрушення + Кулонове тертя + в'язке тертя; *д* – гладкий закон переходу від статичного тертя до кінематичного (Штрибек ефект); *е* – неперервна модель тертя

У випадку відсутності відносного руху ($\vartheta = \dot{x} = 0$) сила тертя може приймати будь-які значення, які за модулем менше статичного тертя (рис. 1, *a*). Якою б малою не була сила, що прикладається до тіла, перед переходом до чистого ковзання завжди буде відбуватися мікрозміщення окремих ділянок номінальної площини контакту. В такому разі виникає черговий формальний парадокс: перебування контактних поверхонь у стані квазістатичного тертя, а значить у відсутності відносної швидкості, не є достатньою умовою зміщення поверхонь однієї відносно іншої.

Стан поверхонь та зовнішні фактори навантаження дають нам той чи інший закон тертя. Наприклад, в момент повного зчеплення сила тертя може приймати будь якого значення не більше сили статичного тертя (рис. 1,а), а при переході до ковзання сила тертя може збільшуватись (рис. 1,в, г), або з початку зменшуватись, а потім збільшуватись. В цілому, залежно від перебігу сили тертя відбувається відповідна силова взаємодія двох поверхонь.

Еволюція фретинг-процесів у номінально – нерухомих з'єднаннях

Важливим для розуміння прихованості малоамплітудного фретингу є встановлення початкового стану системи в момент пуску (перших десятків циклів), а саме позиціонування поверхонь, визначення напружено-деформованого стану, початкової пластичної деформації, характеристики множини мікроконтактів у границях номінальної площини. Все це визначає стаціонарну амплітуду відносного зміщення поверхонь та силу тертя на певному проміжку часу, які значно відрізняється від амплітудно-силових параметрів у початковий момент часу.

Розглядаючи фретинг-процеси як еволюційні, важливо чітко визначити, в першу чергу експериментально, критерії відносного рівня упорядкованості процесу тертя. Без таких критеріїв важко буде відрізнити процес деградації від процесу самоорганізації. При цьому виникає проблема вибору управляючих параметрів. Для циклічних фрикційних мікропереміщень це може бути амплітуда (у бік збільшення), нормальна сила (у бік зменшення), сила тертя (у бік зменшення), параметри Штрибек-ефекту, температури, частоти, реакційна здатність до окислення, адсорбції та інших чинників. У мультистійких станах вибір одного із стаціонарних станів може бути визначений вибором початкових умов. Генеральним управляючим параметром динамічної системи є поняття повільного часу, що відповідає відомому явищу періодичності стадій фретингу. Для довготривалого прогнозування якості номінально-нерухомого з'єднання необхідно чітко визначити критичний стан спряження за яким можливе його руйнування за механізмом фретинг-втоми або фретинг-зношування.

Саме нестаціонарність навантаження при експлуатації автомобільної техніки призводить до раптового руйнування вузлів нерухомого спряження, а прихованість довготривалої дії від фретингу не дає можливості передбачати аварійну ситуацію. Руйнування пошкодженого фретингом номінально-нерухомого з'єднання може відбутися при зміщенні центру ваги вантажу (вузол кріплення причепа), різкі маневри на дорозі, удари о бордюри камені, динамічний дисбаланс при пошкодженні шини, перенавантаження автомобіля, неякісний монтаж. Зупинимось на аналізі ДТП, які сталися за останні два роки в результаті руйнування номінально-нерухомих з'єднань.

Аналіз ДТП

6 березня 2007 року близько 17 год на 204 км + 500 м автодороги Житомир-Чернівці стався виїзд автобуса "Ікарус" д.н. 002-57МС під керуванням водія Воробця В.М. за межі лівої смуги руху, наїзд на захисне металеве огороження з подальшим його пошкодженням та з'їздом автобуса в кювет, де відбулось перекидання автобуса на дах (рис. 2). У результаті ДТП декілька пасажирів автобуса отримали різного ступеня тілесні ушкодження і каретами швидкої допомоги були доставлені в ХМЛ.

7 березня 2007 року під час дослідження технічного стану вказаного автобуса спеціалістом – автотехніком НДЕКЦ при УМВСУ в Хмельницькій області виявлено несправність його ходової частини, яка заключається у порушенні різьбового з'єднання лівої штанги передньої підвіски з переднім наконечником автобуса "Ікарус" д.н. 002-57МС та зриву даної штанги з наконечника, і, відповідно до висновку спеціаліста № 57А від 15.03.2007 р., має експлуатаційний характер, виникла під час руху автобуса до дорожньо-транспортної пригоди під дією циклічних динамічних експлуатаційних навантажень, що викликало порушення співвісності переднього та заднього мостів автобуса із зміщенням лівої частини передньої вісі до задньої частини автобуса і, могло стати причиною виникнення крутного моменту, направлено в сторону зміщення вісі (ліворуч) по ходу руху автобуса та втрати з цієї причини керованості транспортного засобу (рис. 2, б).



Рис. 2. Видгляд слідів гальмування та траєкторії руху автобуса: а - "Ікарус" д.н. 002-57МС до настання ДТП та видгляд автобуса; б - "Ікарус" д.н. 002-57МС на момент огляду місця події



Рис. 3. Загальний вигляд пошкодження елементів передньої підвіски автобуса



Рис. 4. Детальний вигляд пошкодження різьбової частини наконечника лівої штанги передньої підвіски автобуса «Ікарус» д.н. 002-57МС

27.04.2009 року біля 16 год. 30 хвилин в с. Подільське Віньковецького району сталась дорожньо-транспортна пригода, під час якої від автомобіля ЗІЛ-131 номерний знак 77-88 ХМП, під керуванням Хмельовського Сергія Миколайовича, який із завантаженим причепом, завантаженим рухався вгору вулицею Козацькій, під час руху відбулось від'єднання причепа від автомобіля, внаслідок чого причіп, покотившись донизу в некерованому стані, здійснив наїзд на пішохода Заганяч Олександра Анатолійовича, який від отриманих травм помер у Віньковецькій ЦРЛ.

28.04.2009 року під час дослідження технічного стану вказаного автомобіля та причепа спеціалістом – автотехніком НДЕКЦ при УМВСУ в Хмельницькій області виявлено несправність петлі тягово-зчіпного пристрою причепа (рис. 5), що заключається у порушенні різьбового з'єднання петлі з гайкою її кріплення до диска причепа, яке, за висновком спеціаліста № 54А від 05.05.2009 р., має експлуатаційний характер, виникло внаслідок експлуатаційного зношування різьбової ділянки вказаного з'єднання і наступного некваліфікованого ремонту та усунення несправності вказаного вузла (рис. 5).



Рис. 5. Вигляд тягово – зчіпного пристрою автомобіля ЗІЛ-131 д.н. 77-88 ХМП



Рис. 6. Детальний вигляд пошкодження різьбової частини петлі причепа до автомобіля ЗІЛ-131 д.н.77-88 ХМП

01.07.2009 р., біля 10 год. 30 хв, на перехресті проспекту Миру та Старокостянтинівського шосе у м. Хмельницькому в напівпричепі «МАЗ 9530-010» д/знак АА4191ХТ автомобіля «МАЗ 642208» д/знак АА7378СХ, яким керував водій Кобрін І.В., відламалася частина осі, що спричинило від'єднання переднього

правого колеса причепа. Рухаючись по проїзній частині, колесо скоїло наїзд на автомобіль «Лексус РХ-350» д/знак ВХ7700АТ під керуванням водія Решетюк Ю.В, внаслідок чого автомобіль «Лексус РХ-350» д/знак ВХ7700АТ отримав механічні пошкодження.

В ході дослідження технічного стану та структурного аналізу зламу вісі передніх правих коліс напівпричепа «МАЗ 9530-010» д/знак АА4191ХТ (висновок спеціаліста – автотехніка № 195А від 14.07.09р.) встановлено, що руйнування вісі відбулось внаслідок дії значного динамічних циклічних навантажень експлуатаційного характеру у місці перерізу, яке було ослаблене розвитком фретинг-втомної тріщини металу (рис. 7).

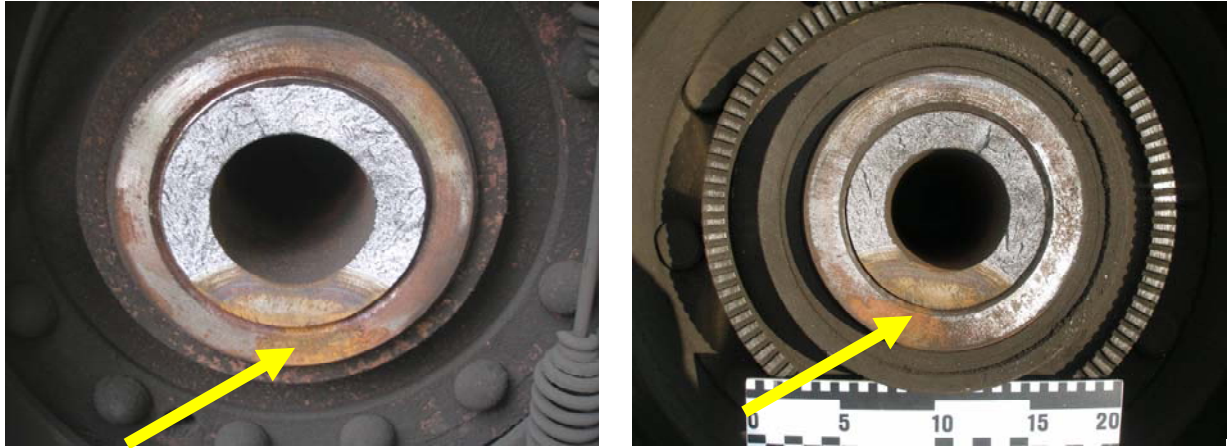


Рис. 7 Детальний вигляд перерізу зламу вісі правих передніх коліс напівпричепа «МАЗ 9530-010» д/знак АА4191ХТ та розвитку фретинг-втомної тріщини (вид на гальмівний щит та на гальмівний барабан)

Висновки

1. Механізм динамічних мікропереміщень у номінально-нерухомих з'єднаннях автомобільної техніки відрізняється широким спектром силового та вібраційного навантаження.
2. Залежно від характеристики контактних поверхонь та їх “замикання” діють декілька законів квазістатичного тертя, які описують кінематику та динаміку мікропереміщень.
3. Малоамплітудний фретинг носить прихований характер та вимагає своєчасного діагностування номінально-нерухомих з'єднань.
4. Рекомендовано розробити інструкції для діагностично-регламентних робіт з виявлення стану зношування та віброактивності вузлів номінально-нерухомих з'єднань у автотранспорті.

Література

1. <http://tayga.info/documents/2009/10/03/~93639>
2. Шалапко Ю.І. Активация фретинг-процесів в області дії мікрозміщень контактних поверхонь Шалапко Ю.І., Курской В.С // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 2. – С. 168-73
3. Шалапко Ю.І. Моделювання динамічного руху в інтерфейсі контактних поверхонь при мікропереміщеннях / Шалапко Ю.І., Курской В.С // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2008. – № 1. – С. 26– 31.

Надійшла 15.11.2010 р.

УДК 621.396.96

Б.Б. ПОСПЕЛОВ

Государственный университет информационно-коммуникационных технологий, г. Киев

О.Н. ШИНКАРУК, Л.В. КАРПОВА

Хмельницкий национальный университет

МЕТОДЫ МНОГОАНТЕННОЙ СВЯЗИ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХОВОЙ СИТУАЦИОННОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Рассматриваются методы многоантенной связи в условиях неопределенности помеховых ситуаций на основе использования управляемых MIMO антенных систем на передающей и приемной сторонах.

Consider methods of multi-antenna communications in the face of uncertainty jamming situations through the use of controlled MIMO antenna systems for transmitting and receiving sides.

Ключевые слова: беспроводная связь, многоантенные технологии, помеха, антенные системы.

Введение. По мере развития беспроводных телекоммуникаций все большее внимание уделяется проблеме повышения их пропускной способности и надежности связи. Из-за интенсивного использования радиочастотного ресурса радиосистемами, увеличения плотности размещения радиооборудования и роста числа потребителей беспроводных информационных приложений существенно возрастает электромагнитная "загрязненность" среды передачи. В этих условиях решения, базирующиеся на увеличении частотно-энергетического ресурса беспроводных телекоммуникаций, оказываются не вполне приемлемыми, поскольку новые приложения требуют существенного возрастания времени использования беспроводных терминалов, что приводит к увеличению нежелательного электромагнитного воздействия на окружающую среду. Это требует снижения общего частотно-энергетического ресурса и стимулирует развитие других подходов к решению данной проблемы. Одними из конструктивных следует считать подходы, основанные на комплексном использовании с существующими подходами различных «частотно-энергосберегающих» технологий. Такие технологии должны базироваться на целенаправленном создании и рациональном использовании пространственного и поляризационного ресурсов в беспроводных телекоммуникациях. Это предполагает переход от использования традиционных технологий формирования (обработки) пространственно-временных полей с помощью одиночных антенн или традиционных антенных решеток к различным многоантенным технологиям с произвольной геометрией апертур.

Известные многоантенные технологии управления направленностью передающих антенн, разнесенного приема, многолучевых антенн, адаптивного формирования характеристик антенн, MIMO антенных систем, цифровых адаптивных антенных решеток, распределенных антенных систем [1, 2], а также их развитие могут рассматриваться в рамках реализации концепции динамических каналов связи [3, 4]. Основой для реализации данной концепции служат управляемые многоантенные структуры с произвольной геометрией, которые используются в беспроводных телекоммуникациях на передающей и приемной сторонах.

Важной особенностью современных условий беспроводной связи является существенная электромагнитная "загрязненность" среды передачи, характеризующаяся как неопределенностью помеховой ситуации, так и непредсказуемостью ее быстрого изменения. В этих условиях развитие многоантенных технологий должно осуществляться на основе адаптивного подхода. В этой связи развитие методов многоантенной связи в условиях неопределенности помеховой ситуации является особо актуальным.

Модель многоантенной связи с использованием MIMO антенных систем. Будем полагать, что на передающей стороне сформировано i информационных потоков. Каждый поток характеризуется совокупностью последовательно передаваемых сигналов x_{λ}^i . Для организации многоантенной связи используются MIMO передающая и MIMO приемная антенные системы, размещаемые соответственно на передающей и приемной сторонах. Число входов MIMO передающей антенной системы определяется числом i передаваемых потоков информационных сигналов, а число выходов – количеством N используемых передающих антенн. При этом число входов MIMO приемной антенной системы определяется количеством M используемых приемных антенн, а число выходов – числом i передаваемых информационных потоков.

В передающей MIMO антенной системе, включающей N произвольных антенн с известными пространственными $Fl(\bar{\varphi})$ и поляризационными $\bar{p}_{Fl}(\bar{\varphi})$ характеристиками направленности, где $l = \overline{1, N}$, формируются i пространственных каналов передачи (в общем случае $N \neq i$). Здесь вектор $\bar{\varphi}$ определяет произвольное направление излучения волн (в заданной сферической системе координат на передающей стороне). Полагается, что каждый из пространственных каналов является управляемым, а их характеристики

определяются соответствующими векторными U^i_T управлениями. Поскольку структура организуемых пространственных каналов передачи идентична, в дальнейшем ограничимся рассмотрением модели многоантенной связи для одного из каналов передачи произвольного потока информационных сигналов. В связи с этим далее верхний индекс i , указывающий на принадлежность к соответствующему потоку, опущен.

Пусть преобразования информационного сигнала x_λ в произвольном пространственном канале с учетом его структуры и параметров описываются матричным оператором D_T соответствующего вида и размера. Тогда для произвольного пространственного канала ММО передающей антенной системы справедливо операторное представление вида:

$$F_{UT} : F_T(x_\lambda, \bar{\varphi}, U_T) = U_T^T D_T A_T(\bar{\varphi}) V_T(\bar{\varphi}) x_\lambda \quad (1)$$

где
$$A_T(\bar{\varphi}) = \begin{vmatrix} F1(\bar{\varphi}) \bar{p}_{F1}(\bar{\varphi}) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & FN(\bar{\varphi}) \bar{p}_{FN}(\bar{\varphi}) \end{vmatrix}; \quad V_T(\bar{\varphi}) = \begin{vmatrix} e^{-j2\pi r(\bar{R}, \bar{R}1)/\lambda} / r(\bar{R}, \bar{R}1) \\ \dots & \dots & \dots \\ e^{-j2\pi r(\bar{R}, \bar{R}N)/\lambda} / r(\bar{R}, \bar{R}N) \end{vmatrix}.$$

В (1) вектор $V_T(\bar{\varphi})$ описывает влияние среды на сигналы, излучаемые N антеннами, положения которых определяются произвольными векторами $\bar{R}l$ в сферической системе координат на передающей стороне, и наблюдаемые в произвольной удаленной точке \bar{R} с координатами $(\bar{\varphi}, \bar{R})$. Полагается, что среда не оказывает влияния на поляризацию излучаемых волн, а лишь приводит к ослаблению и изменению их фазовой структуры.

Преобразование произвольного сигнала ζ , рассматриваемого в точке \bar{R} и наблюдаемого в направлении $\bar{\theta}$ в связанной системе координат на приемной стороне (оси соответствующих координат на передающей и приемной сторонах коллинеарны) в ММО приемной антенной системе будет определяться оператором:

$$F_{UR} : F_R(\zeta, \bar{\theta}, U_R) = V_R^T(\bar{\theta}) A_R(\bar{\theta}) D_R U_R \zeta, \quad (2)$$

где $V_R(\bar{\theta})$, $A_R(\bar{\theta})$ и D_R – вектор и матрицы, определяемые соответствующими характеристиками и параметрами для ММО приемной антенной системы, а вектор U_R определяет управление соответствующим пространственным каналом приема. Пусть в области размещения M приемных антенн кроме информационных сигналов действуют аддитивные помехи j^p от $p=1..L$ внешних источников и шумы n . При этом пространственное положение источников помех отличается от пространственного положения источника сигнала. С учетом передаваемых информационных сигналов x_λ , внешних помех, действующих в направлениях $\bar{\theta}_p$, и вектора шумов \bar{n} сигналы на выходе M приемных антенн, расположенных в заданных точках пространства, определяемых в связанной системе координат на приемной стороне, представимы в виде вектора, функционально связанного с управлением U_T :

$$Y^T(U_T) = U_T^T D_T A_T(\bar{\varphi}) V_T(\bar{\varphi}) V_R^T(\bar{\theta}) A_R(\bar{\theta}) x_\lambda + \sum_p V_R^T(\bar{\theta}_p) A_R(\bar{\theta}_p) j^p + \bar{n}^T. \quad (3)$$

С учетом (3) сигнал на выходе соответствующего пространственного канала приема с учетом его структуры, параметров и управления будет определяться:

$$y_\lambda(U_T, U_R) = Y^T(U_T) D_R U_R. \quad (4)$$

Соотношение (4) определяет модель многоантенной связи для произвольного пространственного канала передачи потока информационных сигналов, организуемого с помощью ММО антенных систем на передающей и приемной сторонах. Свойства организуемых пространственных каналов, следуя (4), зависят от текущих управлений на передающей и приемной сторонах. В случае изменения соответствующих управлений во времени пространственные каналы становятся динамическими. Качество многоантенной связи в этом случае можно оценивать средним квадратом невязки $\varepsilon^2 = M\{[y_\lambda(U_T, U_R) - s_0]^2\}$ между выходным сигналом динамического канала и опорным s_0 .

Неопределенность помеховой ситуации в среде передачи. При многоантенной связи в условиях неопределенности помеховой ситуации априорные сведения о направлениях воздействия и статистике помех и шумов в (3) отсутствуют и при этом могут существенно меняться в процессе связи. Это означает, что статистика и моменты распределений, например, корреляционная матрица $R_{YY} = M\{Y(U_T) Y^T(U_T)\}$

вектора наблюдений $Y(U_T)$ неизвестны априори. Поэтому использовать для оценивания качества многоантенной связи в этих условиях $\varepsilon^2 = M\{[y_\lambda(U_T, U_R) - s_0]^2\}$ не представляется возможным.

Однако в соответствии с развиваемым адаптивным подходом могут быть измерены реализации $Y(U_T)$ и по ним для заданного вектора управлений U_R определены соответствующие реализации функционала:

$$\varepsilon_t^2(U_T, U_R) = s_0^2 - 2s_0 Y^T(U_T) D_R U_R + U_R^T D_R^T Y(U_T) Y^T(U_T) D_R U_R. \quad (5)$$

Для удобства дальнейшего рассмотрения преобразуем (5) к более удобному виду:

$$\varepsilon_t^2(U_T, U_R) = s_0^2 - 2s_0 y_\lambda(U_T, U_R) + y_\lambda^2(U_T, U_R). \quad (6)$$

Реализация (6) допускает представление $\varepsilon_t^2(U_T, U_R) = \varepsilon_{1t}^2(U_T, U_R) + \varepsilon_{2t}^2(U_R)$. Введем матрицу $T_M = A_T V_T V_R^T A_R$ (здесь и далее аргументы у соответствующих векторов опущены), описывающую преобразования сигнала в среде передачи с учетом многоантенных передающей и приемных апертур. Тогда составляющая $\varepsilon_{1t}^2(U_T, U_R)$ характеризует искажения, обусловленные передачей сигнала через среду без учета помех и шумов и определяемые $(U_T^T D_T T_M D_R U_R x_\lambda - s_0)^2$, а составляющая $\varepsilon_{2t}^2(U_R)$ – искажения, обусловленные за счет внешних помех и шумов $U_R^T D_R^T (\sum_l A_l^T V_l j^l + \bar{n}) (\sum_l V_l^T A_l j^l + \bar{n}^T) D_R U_R$. В

этом случае оптимальные в смысле минимизации $\varepsilon_t^2(U_T, U_R)$ управления могут определяться из соответствующих условий: $M\{\varepsilon_{1t}^2(U_T, U_R)\} \rightarrow 0$ и $M\{\varepsilon_{2t}^2(U_R)\} \rightarrow 0$.

Методы оптимизации многоантенной связи в условиях неопределенности помеховых ситуаций. Воспользуемся хорошо разработанными вероятностными алгоритмическими методами оптимизации, оперирующими с реализациями функционалов, получаемых в ходе наблюдений, для которых определены условия вероятностной устойчивости и сходимости по вероятности, сходимости в среднеквадратическом и сходимости почти наверное [5]. Такие методы позволяют находить оптимальные решения на основе информации, получаемой в ходе самих наблюдений. Они являются теоретической базой для разработки методов и процедур адаптации (самонастройки) реальных систем к неизвестным заранее и изменяющимся условиям. В рассматриваемом случае для разработки методов адаптации многоантенной связи воспользуемся известными реализациями функционалов $\varepsilon_t^2(U_T, U_R)$, $\varepsilon_{1t}^2(U_T, U_R)$, $\varepsilon_{2t}^2(U_R)$ или их соответствующих градиентов.

Методы раздельной адаптации ММО передающей (приемной) антенной системы. Применяя данный подход к функционалу $\varepsilon_{1t}^2(U_T, U_R)$, получим метод адаптации управления произвольным пространственным каналом в ММО передающей антенной системе, который в случае непрерывного и дискретного времени будет определяться соответствующими процедурами:

$$dU_T(t)/dt = -2\mu(U_T^T(t) D_T T_M D_R U_R x_\lambda - s_0) D_T T_M D_R U_R x_\lambda, \quad (7)$$

$$U_T(k+1) = U_T(k) - 2\mu(U_T^T(k) D_T T_M D_R U_R x_\lambda - s_0) D_T T_M D_R U_R x_\lambda, \quad (8)$$

где μ – в общем случае матрица, удовлетворяющая условиям устойчивости для непрерывной и сходимости для дискретной процедур адаптации.

Реализация процедур (7) и (8) предполагает известной структуру и характеристики пространственных каналов используемых ММО антенных систем на передающей и приемной сторонах, матрицу T_M преобразований сигнала в среде передачи (канальную матрицу), а также реализации передаваемого и опорного сигналов.

Другая возможная разновидность процедур адаптации пространственных каналов имеет вид:

$$dU_T(t)/dt = -2\mu(y_\lambda(t) - s_0(t)) D_T T_M D_R U_R x_\lambda(t), \quad (9)$$

$$U_T(k+1) = U_T(k) - 2\mu(y_\lambda(k) - s_0(k)) D_T T_M D_R U_R x_\lambda(k). \quad (10)$$

В этом случае, как следует из (9) и (10), необходима информация о текущей невязке $y_\lambda(t) - s_0(t)$ в отсутствие помех, структуре и характеристиках пространственных каналов на передающей и приемной сторонах, канальной матрице и реализациях передаваемого и опорного сигналов.

Процедура адаптации управлений в ММО антенных системах может быть реализована на передающей или приемной стороне. Если процедура реализуется на приемной стороне, то необходима информация о передаваемых сигналах и канал связи для управления соответствующими пространственными

каналами на передающей стороне. Если процедура реализуется на передающей стороне, то необходим обратный канал связи для передачи информации о текущей невязке. В беспроводных телекоммуникациях такие каналы обычно имеются. Следуя процедурам (7) и (8), и полагая, что $s_0 = x_\lambda$ получим:

$$dU_T(t)/dt = -2\mu(U_T^T(t)D_T T_M D_R U_R - 1)D_T T_M D_R U_R P_{x_\lambda}, \quad (11)$$

$$U_T(k+1) = U_T(k) - 2\mu(U_T^T(k)D_T T_M D_R U_R - 1)D_T T_M D_R U_R P_{x_\lambda}, \quad (12)$$

где P_{x_λ} – средняя мощность сигнала на выходе передатчика соответствующего пространственного канала. При этом процедуры (11) и (12) реализуются на передающей стороне без использования обратного канала.

В условиях нестационарного пространственного положения источника сигнала матрица T_M в (11) и (12) будет изменяться. Поэтому адаптация должна производиться с учетом изменений указанной канальной матрицы. В ряде случаев эти изменения могут быть определены с помощью имеющихся на подвижных объектах навигационных измерителей.

Рассмотренные процедуры адаптации могут использоваться и в случаях, когда адаптация на приемной стороне по тем или иным соображениям не представляется возможной или целесообразной. Кроме этого существует ряд задач, когда адаптация на приемной стороне возможна, а на передающей стороне такая возможность отсутствует. В этом случае процедуры адаптации управлений на приемной стороне при использовании функционала $\varepsilon_l^2(U_T, U_R)$ оказываются аналогичными процедурам для передающей стороны при условии, что вектор $D_T T_M D_R U_R$ заменяется вектором $D_R^T T_M^T D_T^T U_T$.

Методы согласованной адаптации ММО передающей и приемной антенных систем. В случае, когда существует возможность адаптации на обеих сторонах, должны рассматриваться методы согласованной адаптации управлений соответствующими пространственными каналами в ММО передающих и приемных антенных системах. Следует заметить, что процедуры адаптации на приемной стороне, обеспечивающие экстремум функционала $\varepsilon_l^2(U_T, U_R)$, получены без учета помеховой ситуации. В реальных условиях неопределенность помеховой ситуации является основным фактором, обуславливающим необходимость адаптации пространственных каналов ММО антенных систем.

Общие методы адаптации могут быть получены на основе функционала $\varepsilon_l^2(U_T, U_R)$. Рассмотрим вектор сигналов $Y(U_T)$, действующих на выходе апертуры ММО приемной антенной системы. Представим функционал $\varepsilon_l^2(U_T, U_R)$ в виде:

$$\varepsilon_l^2(U_T, U_R) = s_0^2 - 2s_0 U_R^T D_R^T Y(U_T) + U_R^T D_R^T Y(U_T) Y^T(U_T) D_R U_R. \quad (13)$$

Учитывая (13), метод адаптации управлений пространственных каналов ММО приемной антенной системы в непрерывном времени будет определяться следующей процедурой:

$$dU_R(t)/dt = -2\mu'(D_R^T Y(t) Y^T(t) D_R U_R - s_0(t) D_R^T Y(t)). \quad (14)$$

Поскольку $Y^T(t) D_R U_R = y_\lambda(t)$, вместо (14) можно использовать процедуру вида:

$$dU_R(t)/dt = -2\mu'(y_\lambda(t) - s_0(t)) D_R^T Y(t). \quad (15)$$

В процедуре (15) выходной процесс $y_\lambda(t)$, в отличие от (9) и (10), соответствует случаю приема сигнала, помех и шумов. Определяя градиент (13) по вектору управлений U_T , получим метод и процедуру адаптации управлений пространственными каналами ММО передающей антенной системы в виде:

$$dU_T(t)/dt = -2\mu(y_\lambda(t) - s_0(t)) D_T T_M D_R U_R x_\lambda(t). \quad (16)$$

Матричные коэффициенты μ' и μ в процедурах (15) и (16) определяют устойчивость и скорость соответствующих процессов адаптации. Процедура (16) оказывается универсальной, поскольку позволяет осуществлять адаптацию управлений ММО передающей антенной системы в темпе передачи данных. В случае пауз в передаче данных процедура адаптации автоматически прерывается с сохранением текущих управлений. При этом (16) обеспечивает адаптацию ММО передающих антенных систем независимо от наличия или отсутствия помех в среде передачи. Для реализации процедуры (16) необходима информация о невязке $y_\lambda(t) - s_0(t)$, структуре пространственных каналов и характеристиках апертуры на передающей стороне, направлении связи и передаваемом сигнале. При этом процедуры адаптации ММО передающих и ММО приемных антенных систем оказываются связанными между собой.

Структурная схема адаптивной (самонастраиваемой) многоантенной связи на основе ММО передающих и ММО приемных антенных систем, реализующих методы совместной их адаптации к помеховой ситуационной неопределенности приведена на рис. 1.

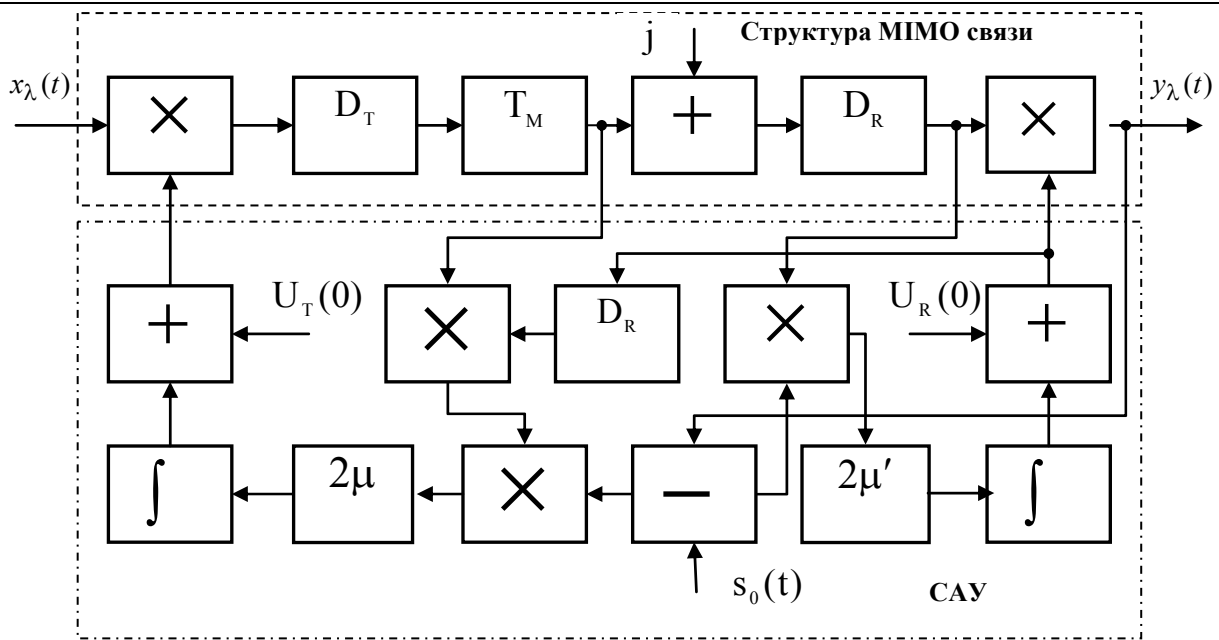


Рис. 1. Структура багатоантенної зв'язу на основі МІМО антенних систем і системи адаптації управлінь (САУ)

Случай подвижности источников и получателей информации. В условиях пространственной подвижности источников и получателей информации соответствующие каналные матрицы T_M оказываются нестационарными. В этом случае удобно рассматривать два независимых процесса. Первый из них характеризует нестационарную динамику матрицы $T_M(t')$ во времени t' , а второй – динамику процесса адаптации управлений в МІМО передающих и МІМО приемных антенных системах во времени t .

Тогда рассмотренные методы адаптации управлений на передающей и приемной сторонах для нестационарных условий можно представить в виде процедур:

$$dU_T(t)/dt = -2\mu(y_\lambda(t, t') - s_0(t))D_T T_M(t, t')D_R U_R(t)x_\lambda(t), \quad (17)$$

$$dU_R(t)/dt = -2\mu'(y_\lambda(t, t') - s_0(t))D_R^T Y(t, t'). \quad (18)$$

Такое представление позволяет рассматривать непрерывные процедуры отдельно во времени t' и t протекания соответствующих процессов. Так, например, адаптация может производиться в непрерывном времени t для отдельных выборок нестационарного процесса, взятых в дискретный момент t'_i или для непрерывной реализации при условии $t = t'$.

Возможна адаптация в дискретные моменты времени $t_k = \Delta tk$, где Δt является интервалом следования дискретных отсчетов, при условии непрерывности наблюдения нестационарного процесса. В этом случае процедуры адаптации представимы в виде:

$$U_T(k+1) = U_T(k) - 2\mu(y_\lambda(k, t') - s_0(k))D_T T_M(k, t')D_R U_R(k)x_\lambda(k), \quad (19)$$

$$U_R(k+1) = U_R(k) - 2\mu'(y_\lambda(k, t') - s_0(k))D_R^T Y(k, t'). \quad (20)$$

Соотношения (17)– (20) определяют общие процедуры метода согласованной адаптации управлений в МІМО передающих и МІМО приемных антенных системах в непрерывном и дискретном времени.

В общем случае возможности адаптации в соответствии с методами (17)– (20) в динамических условиях будут определяться соотношением скоростей изменения процессов, рассматриваемых в соответствующих временных измерениях. Для успешной адаптации необходимо, чтобы скорость процесса адаптации во времени t была выше скорости процесса нестационарных изменений во времени t' .

Заключение. Главным достоинством предложенных методов многоантенной связи является возможность создания «сквозных» интегрированных пространственно-временных структур формирования, излучения, приема и обработки информации. При этом появляется возможность реализации многофункциональной передачи в сочетании с динамическим управлением пространственно-временными характеристиками с целью их адаптации к ситуационной неопределенности и быстро изменяющейся электромагнитной обстановке, а также экономного использования частотного и энергетического ресурса в беспроводных телекоммуникациях.

Использование управляемых МІМО передающих и МІМО приемных антенных систем гарантирует совместимость новых «сквозных» интегрированных пространственно-временных технологий с уже существующими технологиями беспроводной передачи. В условиях ограниченного частотного ресурса и существенной «загрязненности» среды использование технологии интегрированных МІМО передающих и

приемных антенных структур может стать единственной возможностью решения проблемы обеспечения высокоскоростной и надежной передачи данных не только в системах беспроводного доступа, но и в системах и сетях связи с подвижными и высокоподвижными объектами.

Литература

1. Вишнеvский В. М. Энциклопедия WiMAX: путь к 4G / Вишнеvский В. М., Портной С. Л., Шахнович И. В. – М.: Техносфера, 2009. – 472 с.
2. WiMAX – технология беспроводной связи: основы теории, стандарты, применение / [Сюваткин В. С. и др.]; под ред. В. В. Крылова. – СПб.: БВХ-Петербург, 2005. – 368 с.
3. Поспелов Б. Б. Реализация концепции адаптируемого канала связи в авиационных радиоперелиниях / Б. Б. Поспелов // Радиотехника. – 2002. – Вып. 128. – С. 197– 205.
4. Поспелов Б. Б. Комплексная оптимизация беспроводных каналов связи / Б. Б. Поспелов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 2. – С. 162– 167.
5. Цыпкин Я. З. Адаптация и обучение в автоматических системах / Цыпкин Я. З. – М.: Наука, 1968. – 400 с.

Надійшла 21.11.2010 р.

УДК 621.317.73

В.В. МІШАН, Ю.М. БОЙКО
Хмельницький національний університет

ПИТАННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗВ'ЯЗКУ В CDMA МЕРЕЖАХ

Розглянуто особливості формування мереж стільникового зв'язку на основі технології CDMA. Описані переваги реалізації мереж на основі технології CDMA. Досліджені питання енергетичного контролю в мережах CDMA з метою ефективного регулювання переданої енергії базової і мобільної станції. Представлений алгоритм роботи логіки системної станції у випадку енергетичного контролю, приведені результати симуляції алгоритму тестування енергетичного контролю в середовищі Matlab.

In the article the conducted analysis and the features of realization of networks are considered on the basis of technology of CDMA. The considered advantages of realization of networks are with the help of technology of CDMA. Probed question of the effective adjusting by procedure of power control in CDMA networks, with the purpose of management and providing of the equivalent smoothing of distances power from mobile terminals to the base station in the conditions of action of hindrances. Presented results of simulation of algorithm of power control of logic of the system station.

Ключові слова: мережа, енергетичний контроль, трафік.

Вступ. В даний час доречно говорити про прорив на ринку телекомунікацій – розгортання нової мережі стільникового зв'язку на основі технології CDMA (Code Division Multiple Access). CDMA-система використовує для передачі даних складні (шумоподібні) широкосмугові цифрові сигнали. Цей перспективний напрямок в техніці прийому і передачі інформації – застосування шумоподібних сигналів (ШПС) – систематично вивчався російським професором Д. В. Агеевим ще в 30-х роках, а саме в 1935 р., пізніше була опублікована перша робота присвячена обробці складних сигналів – "Основи теорії лінійної селекції. Кодове розділення каналів". А уже в 1942 р. з'явилися роботи "Математична теорія зв'язку" Клода Шеннона і "Теорія потенційної завадостійкості" В.О. Котельникова. Шеннон і Котельников по суті створили наукову базу для розробки технології CDMA. 1956 р. – лабораторією Лінкольна Массачусетського технологічного інституту розроблена і випробувана в реальних умовах система телеграфного короткохвильового радіозв'язку "Rake" з розділенням променів і підсумовуванням їх енергій. Паралельно в нашій країні був створений радіолокатор з лінійно-частотною модуляцією. 1960 р. – В США випущена система зв'язку ARC-50, та система телефонного зв'язку з використанням ШПС RASER, що забезпечує зв'язок з рухомими наземними абонентами. У міру розвитку методів аналого-цифрового перетворення мовних сигналів з'явилися перші пропозиції використовувати ШПС в комерційних системах зв'язку. В цей же час фірмою "Motorola" запропонована широкосмугова система передачі мови з використанням дельта-функції. 70– 80 роки – в США активно впроваджувалися системи супутникового зв'язку, авіаційні, сухопутного рухомого зв'язку. Були створені такі супутникові системи як MIL-STAR для потреб стратегічного і тактичного зв'язку, FLEITSATCOM для потреб тактичного зв'язку. Кінець 80-х років – в США розгорнена перша супутникова система зв'язку комерційного призначення за технологією CDMA Omni TRACKS. 1991 р. – компанією "Qualcomm" розроблений проект стандарту IS-95. На сьогодні вже багато фахівців у сфері телекомунікацій вважають, що технологія стільникового зв'язку з кодовим розділенням каналів CDMA складе серйозну конкуренцію цифровим технологіям на базі технології часового ущільнення каналів TDMA [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. CDMA забезпечує істотне збільшення ємності мережі. Як і метод множинного доступу [1, 2], він має на увазі передачу голосової інформації тільки в

оцифрованому вигляді. У англомовній літературі використовується термін *spread spectrum*, що перекладається на українську мову як "розподілений", або "розтягнутий", "розмитий" спектр. Корисна інформація як би "розмазується" по частотному діапазону, істотно ширшому, ніж при традиційних способах модуляції сигналу (у даному контексті такий сигнал часто називають вузькосмуговим). Здійснюється це за рахунок перемноження послідовності корисних бітів інформації на псевдовипадкову послідовність коротших імпульсів. Смуги інформаційних сигналів можуть бути розширені з коефіцієнтами від 10 до 10000 за рахунок представлення їх спеціальними двійковими послідовностями з використанням декількох різних методів. В результаті виходить сигнал, який займає більший частотний діапазон і має значно меншу інтенсивність, ніж одержуваний при вузькосмуговій модуляції. В цьому випадку інформацію можна прийняти, тільки знаючи послідовність, на яку був перемножений корисний сигнал при передачі, – інакше він виглядатиме як шум (звідси і назва) [3].

Для передачі інформації відводиться частотний діапазон (для IS-95 (Interim Standard – часовий стандарт)) шириною 1,25 МГц і фрагменти загальної "великої" псевдовипадкової послідовності, по-різному зміщені від умовно вибраного початку цієї послідовності [2]. Ємність комірки мережі CDMA визначається тим, наскільки незалежні один від одного коди використані абонентськими апаратами. Взаємна залежність між розмірами комірки і ємністю мережі обумовлена тим, що можна забезпечити задану якість передачі мови, тільки якщо співвідношення сигнал/шум виявляється вище певного значення. Важливим результатом використання CDMA, є можливість ослаблення впливу інтерференційних завад на якість передачі інформації і зокрема такого небажаного ефекту як фединг. Тут на різних частотах в межах його широкого спектру створюються різні інтерференційні картини, що і викликає вирівнювання результуючого сигналу. Несинфазна зміна рівня сигналу на різних частотах спектру сигналу приводить до сильного ослаблення впливу завмирань на подібні системи.

Вагома перевага CDMA полягає також в тому, що замість жорсткого перемикавання (*hard handoff*, або *break before make*) від комірки до комірки, прийнятого у всіх інших стільникових мережах, в CDMA можна використовувати м'який перехід (*soft handoff*, або *make before break*): мобільний апарат спочатку встановлює зв'язок з базовою станцією, в зону дії якої він переходить, і лише після цього звільняє канал в комірці яку покидає [1– 4]. Це можливо за рахунок того, що в комірках одна і та ж несуча частота.

Організація CDMA зв'язку відбувається перемноженням сигналу джерела псевдовипадкового шуму PN (Pseudorandom Number) з інформаційним сигналом, енергія останнього розподіляється в широкій смузі частот, тобто його спектр розширюється і зменшується частота помилок при передачі інформації.

Розширення спектру частот переданих цифрових повідомлень може здійснюватися різними методами або їх комбінацією. Перерахуємо основні:

- прямим розширенням спектру частот Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS-CDMA);
- з багатоканальним розширенням спектру частот Multi Carrier (MC-CDMA);
- стрибкоподібною зміною частоти несучої Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS-CDMA).

Особливість другого методу полягає в перемноженні інформативних бітів з кодовою послідовністю та розділенням користувачів використанням ортогональних функцій Уолша, що мінімізує інтерференційні завади між абонентами. Основні переваги такого методу: захист переданої інформації від підслуховування ("чужий" приймач використовує тут інший алгоритм кодування і не зможе декодувати інформацію не від свого передавача), надлишковість метода обумовлює малу потужність сигналу для забезпечення зв'язку. На даному етапі для систем MC-CDMA використовується смуга частот в 1,25 МГц з розділенням на 512 піднесучих.

Особливість третього методу полягає в тому, що тут відбувається стрибкоподібна зміна несучої частоти. Вся відведена для передачі смуга частот поділяється на деяку кількість підканалів (за стандартом 802,11 цих каналів 79). Кожен передавач в певний момент використовує тільки один з цих підканалів, регулярно перескакуючи з одного підканалу на інший. Стандарт 802,11 не фіксує частоту таких стрибків – вона може задаватися по-різному в кожній країні. Ці скачки відбуваються синхронно на передавачі і приймачі по наперед заданій псевдовипадковій послідовності, відомій обом; ясно, що не знаючи послідовності перемикаць, прийняти передачу також не можна.

Розробка питань енергетичного контролю в CDMA мережі. Енергетичний контроль дуже суттєва проблема в сучасних CDMA стільникових мережах. Енергетичний контроль охоплює методи і алгоритми які використовуються, щоб регулювати передачу енергію базової і мобільної станції. Він служить також для декількох цілей: для зменшення каналних втручань, керування якістю голосових повідомлень, максимізації кількості каналів і мінімізації випромінювання від мобільної станції.

Успішна оптимізація любого алгоритму енергетичного контролю потребує моделювання багатьох компонентів. Ця оптимізація може бути досягнута на системному рівні проекту, який дозволяє моделювати фізичні і зв'язуючі шари цілих систем комутації мережі зв'язку.

У системі передбачено повільне (статичне) управління потужністю і швидке. Команди швидкого управління посилаються із швидкістю 800 бод і вбудовані в розмовні фрейми. Повільне управління потужністю забезпечує еквівалентне вирівнювання відстаней від мобільних терміналів до базової станції. Відсутність швидкого управління потужністю завмирань пов'язаних з розповсюдженням радіохвиль в структурах і об'єктах (стіни будинків, металеві конструкції і так далі) за рахунок відбиття, привело б до значного погіршення характеристик системи. Повільне управління потужністю забезпечує еквівалентне

вирівнювання відстаней від мобільних терміналів до базової станції.

Щоб вирішити цю проблему в міських умовах, алгоритм енергетичного контролю гарантує, що спільно прийняті енергетичні рівні всіх мобільних станцій такі ж, як і базової. Алгоритм керує передаючою енергією мобільної станції. Щоб керувати енергією в цій формі, алгоритм постійно контролює спільно прийняту енергію кожної мобільної станції і безперервно регулює передачу енергії, щоб досягти потрібного рівня, з метою визначення частоти появи вікна помилкового біта Frame Error Ratio (FER).

У відкритій петлі енергетичного контролю, мобільна станція передає енергію вимірюючи прийнятий сигнал базової станції і оцінює втрати тракту зв'язку. Мобільна станція використовує цю інформацію і через зворотній зв'язок передає її базовій станції.

Мобільна станція – початковий і головний відправник енергетичних повідомлень, функція базової станції – прийняття енергетичних повідомлень і відправлення параметрів доступу до каналу. Потужність передачі сигналу мобільною станцією вибирається так, щоб сума потужностей переданого і отриманого сигналу (з врахуванням втрат на розповсюдження) сигналів була рівна певному значенню (наприклад – 73 дБм), яке передається із допомогою каналу управління (рис. 1). До початку процесу передачі мобільної станції з допомогою схеми автоматичного регулювання підсилення приймача визначається потужність яка була передана по прямому каналу. Нехай отримана потужність дорівнює – 83дБм. Тоді згідно з алгоритмом керування, потужність сигналу який передається $P_{np} = (-73) - (83)$ дБм, або 10 дБм.

При прямому керуванні каналом базова станція періодично знижує потужність сигналу який передається мобільною станцією. Якщо мобільна станція фіксує збільшення кількості помилок в кадрах, відправляється запит на збільшення потужності базової станції. Зміни вносяться періодично, залежно від значення рівня помилок в кадрі.

До основних параметрів доступу відносяться номінальна потужність (Num_Pwr), початкова потужність (Init_Pwr), збільшення кроку потужності між запитами доступу (Pwr_Step), число запитів доступу (Num_Step), які зв'язані між собою наступним чином:

$$\text{mean output power} = - \text{mean input power} - 73 + \\ + \text{Num_Pwr} + \text{Init_Pwr} \text{ (dBm)}$$

Рисунок 1 ілюструє роботу системної станції і описує контрольну логіку, процес роботи якої, звичайно реалізується програмним забезпеченням в мікропроцесорі. Графічні з'єднання стаціонарного апарату дозволяють описувати системну станцію, підстанції і події які викликаються переходами між ними. Порівняння системних станцій, та моделювання також дозволяє візуально порівняти системну станцію з системними сигналами. На рисунку 1 одна системна станція складається з двох підстанцій. Стрілками показані переходи між підстанціями, а ярлики на стрілках показують події які викликають ці переходи. Обробка даних виконується в самій станції після того як зміниться ярлик. Коли мобільна станція вперше звертається в Access_probe, підстанція System_access звернеться до станції за типом інформації:

- встановлює передачу енергії, використовуючи формулу;
- дозволяє відправлення;
- запускає таймер;
- чекає в підстанції Access_Probe.

Якщо енергетичний рівень мобільної станції достатній для прийому на базовій станції, базова станція передає дозвіл на пошуковий канал зв'язку. BS_Responce запускає систему System_access суперстанції, блокує передачу на доступному каналі і переміщає на реверсивний канал зв'язку нижчої станції. Якщо відповіді немає, подія Time_Out заставляє систему перейти на підстанцію Access_Probe, збільшує Sum_Access_Probe_Correction змінною Pwr_Step, і збільшує значення Num_Access_Probes до одиниці. Потім система повертається до Access_Probe state де нове значення Sum_Access_Probe_Correction змінюється для передаючої потужності. Процедура повторюється поки від базової станції не прийде відповідь, що число запитів доступу перевищило Num_Step. Коли досягнутий поріг Num_Step (Num_Access_Probes=Num_Step), система переводить станцію в режим очікування. Тут доступ передачі блокований, енергія скоректована, змінні графа перезавантажені і мобільна станція знаходиться в стані очікування протягом випадково вибраного періоду який задає інший системний параметр. Як тільки мобільна станція починає передачу на реверсивному каналі трафіку і отримує на приймальний телефонний канал навантаження, тоді використовується алгоритм закритої петлі енергетичного контролю. Тут базова станція вимірює енергію сигналу мобільної станції і посилає повідомлення мобільній станції для збільшення або зменшення переданої енергії таким чином, щоб зворотній канал трафіку збігався з вказаним FER. Наприклад якісні мінімальні рівні мають бути від 1 % до 2 % FER.

При моделюванні системи інженер може на місці запустити проектування протоколу зв'язного шару без фізичного шару, а потім додати фізичний шар після тестування протоколу, або інженер може проектувати кодовий канал з додаванням білого Гаусівського шуму (AWGN), а потім дослідити затухання.

В закриті петлю контролю входять прямий і зворотній канали трафіку. Така успішна оптимізація алгоритму потребує одночасного моделювання фізичних шарів каналу. Щоб додати фізичний шар до проекту, інженер може використовувати бібліотеки попередньо сформованих блоків для DSP (Digital signal processors) і забезпечення дії комунікації з блок діаграмою системних інструментів. Зворотній канал трафіку складається із блоків які виконують циклічну надлишкову перевірку (CRC) генерації і містять кодувач,

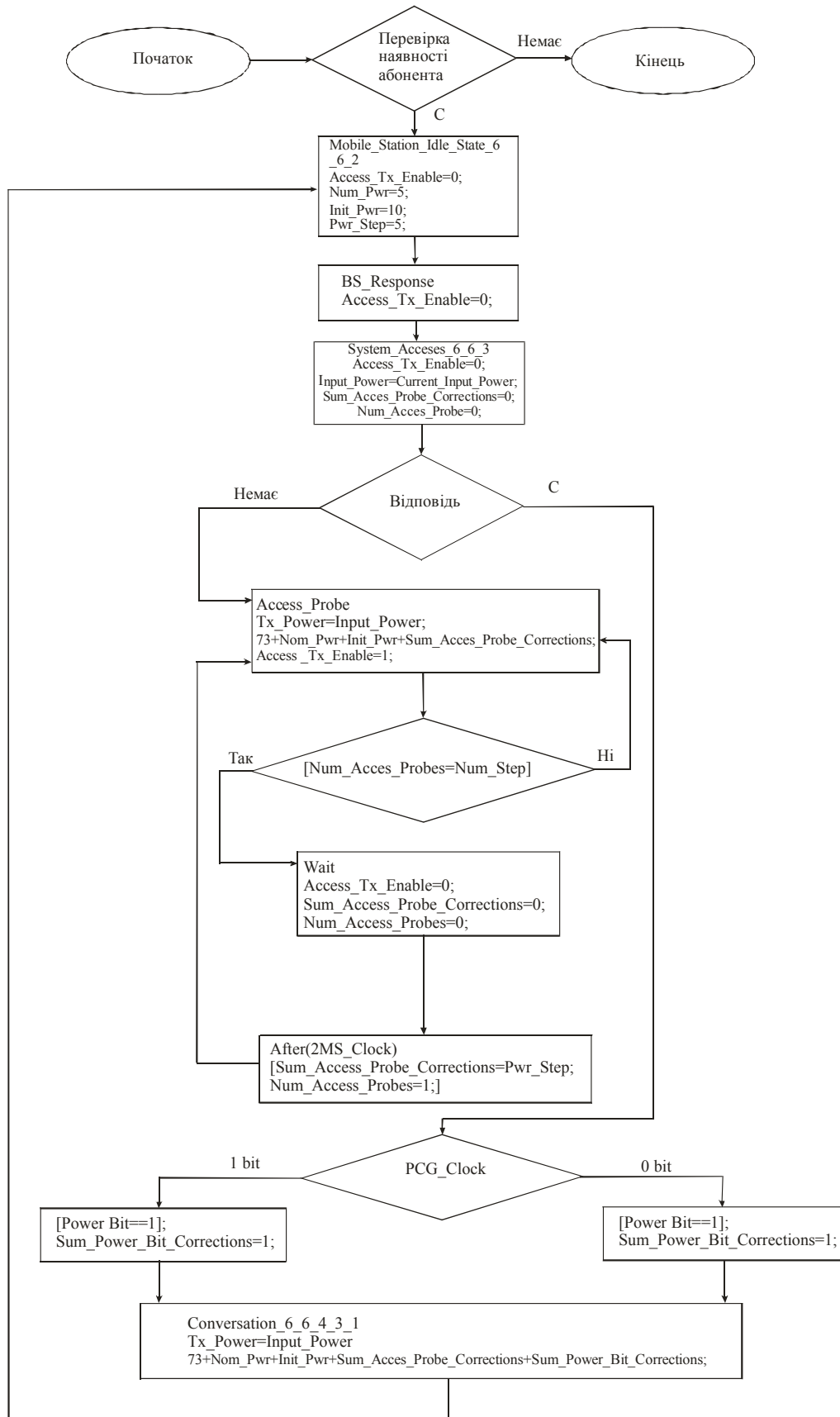


Рис. 1. Алгоритм роботи логіки системної станції у випадку енергетичного контролю

Закрита петля енергетичного контролю крім того може бути поділена на внутрішні і зовнішні цикли. У внутрішньому циклі базова станція починає роботу з контролю FER і контрольного біта відношення E_b / N_0 (сигналу до шуму), яке потрібне для контролю FER. Потім базова станція повторює

вимір FER і регулює поріг E_b / N_0 відповідно.

Алгоритм роботи базової станції наступний: як прямий, так і зворотній трафік каналу ділиться на частинки тривалістю 20 мс. Крім того кожна частинка ділиться на 16 груп енергетичного контролю power control group (PCGs) довжиною 1,25 мс у внутрішній петлі. Базова станція має данні про прийняту величину E_b / N_0 для кожної мобільної станції, а також для кожної PCG і порівнює тип інформації з пороговою мірою. Якщо E_b / N_0 менше за потрібну, базова станція передає команду мобільній станції на збільшення переданої енергії, а якщо більше – на зменшення.

Базова станція зв'язується з мобільною через підканал енергетичного контролю трафіку прямого каналу передачі даних. Цей підканал передає енергетичні службові біти всередині трафіку каналу в форматі PCG використовуючи процедуру "symbol puncturing". В цьому випадку біти розміщуються після довгого кодового скремблювання, тільки перед кодом Уолша. Вони складаються з 24 символів в одному PCG трафіку прямого каналу передачі даних і тому виникає 24 можливих варіанта розміщення цих енергетичних бітів. Розміщення міняється з кожним PCG і формується останніми 4 бітами довгого PN – коду. Мобільна станція приймає енергію службового біта, використовуючи той же довгий PN – кодовий біт. Якщо мобільна станція прийняла 1 біт то вона зменшує енергію до 1 дБм, якщо 0 біт – збільшує до 1 дБм. Тоді формула для визначення переданої енергії буде наступна:

$$\begin{aligned} \text{mean output power} = & - \text{mean input power} - 73 + \\ & + \text{Nom_Pwr} + \text{Init_Pwr} \\ & + \text{sum of all acces probe correction} \\ & + \text{the sum off closed - loop power control corrections (dBm)} \end{aligned}$$

На вході каналу трафіку рис. 1, станція контролюється від System_access state, трафік в каналі дозволений. В кожному PCG випадків, система виходить із підстанції і порівнює значення енергетичного біта з Power_bit. Якщо значення дорівнює 0 то Sum_power_bit_correction збільшується до 1 дБм. Якщо значення дорівнює 1 то Sum_power_bit_correction зменшується до 1 дБм. Тоді система повертається до обміну даними між підстанціями де нове значення Sum_power_bit_correction виправляється і використовується.

На рис. 2 показані результати симуляції алгоритму тестування енергетичного контролю в середовищі Matlab.

На рис. 2 на осцилограмі а) жовтим кольором (1), відображено рівень переданої мобільною станцією енергії, пурпуровим (2) – відношення E_b / N_0 , і поріг E_b / N_0 представлено в світло-голубому (3). На рис. 2 на осцилограмі б) показано жовтим кольором (1) частоту кадрів синхронізації, де кожен край відповідає початку кадру енергетичного біту відправленого енергетичним контролем підканалу, представлено в пурпурі (2), і групи кадрів енергетичного контролю (PCG) в світло-голубому (3).

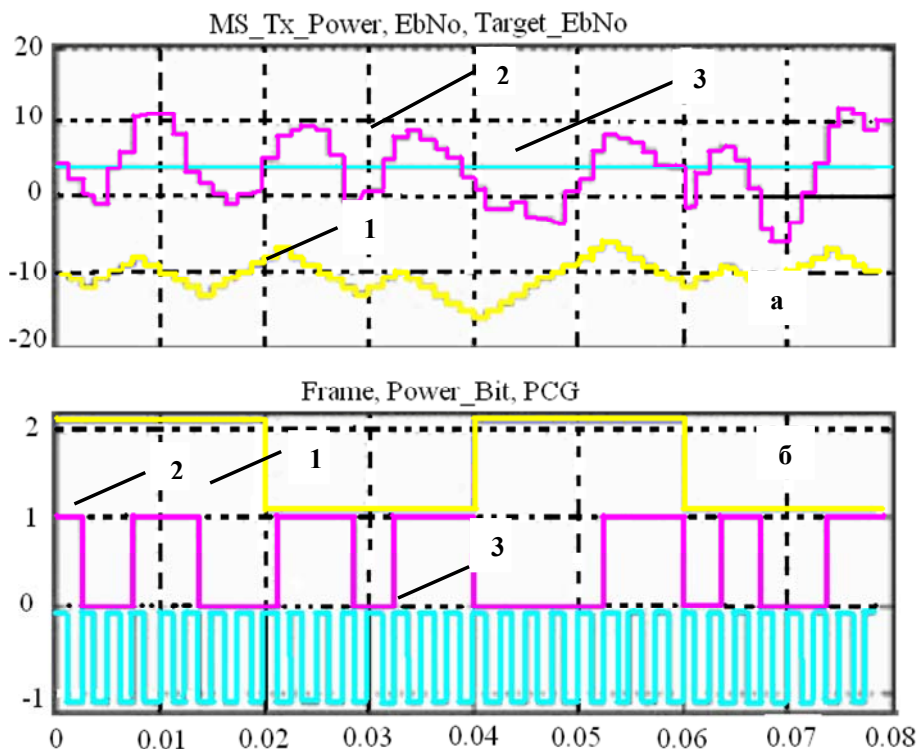


Рис. 2. Осцилограми результатів симуляції алгоритму тестування енергетичного контролю

Завдяки затуханню, відношення E_b/N_0 змінюється. Кожен раз коли E_b/N_0 збільшується за порогове значення (осцилограма 3 на рис. 2 а), базова станція збільшує енергетичний службовий біт до 1 (осцилограма 2 на рис. 2 б) і мобільна станція зменшує передачу енергії, а коли E_b/N_0 зменшується – навпаки. Ці енергетичні коректування гарантують, що мобільна станція підтримує прийнятний FER, при цьому мінімізує передачу енергію.

Висновки:

1. Головна задача контуру регулювання потужності – корекція очікуваних значень відкритого циклу.
2. Важливою перевагою швидкісного і високоточного регулювання потужності по зворотному зв'язку є значне зниження середньої потужності передачі в зворотному каналі.
3. При виявленні збільшення кількості помилок в кадрах системою енергетичного контролю відправляється запит на збільшення потужності базової станції. Зміни вносяться періодично залежно від рівня помилок в кадрі.
4. Результати симуляції алгоритму тестування енергетичного контролю дозволяють ефективно досліджувати та проводити енергетичні коректування з метою забезпечення оптимального рівня FER, та мінімізувати передачу енергію.

Література

1. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Варакин Л. Е. – М.: Радио и связь, 1985. – 200 с.
2. Гепко И. А. Эволюция технологии CDMA: взгляд в третье тысячелетие / Гепко И. А. – К.: Зв'язок, 2000. – 150 с.
3. Невдяев Л. CDMA: канальная структура / Л. Невдяев // Сети. – 2000. – № 2. – 130 с.
4. Бойко Ю. М. Концептуальні особливості реалізації безпроводних сенсорних мереж / Ю. М. Бойко, В. В. Мишан // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 2 – С. 94-98.

Надійшла 6.11.2010 р.

УДК 681.325.36

І.М. ЛАЗАРОВИЧ, О.П. ПАШКЕВИЧ
ПВНЗ "Галицька Академія", м. Івано-Франківськ

МОДЕЛЮВАННЯ ЦИФРОВОГО ПРИЙМАЧА СИГНАЛІВ З ВИКОРИСТАННЯМ РАНДОМІЗАЦІЇ НА ОСНОВІ БАГАТОРІВНЕВИХ М-ПОСЛІДОВНОСТЕЙ

У роботі розглянуто метод рандомізації гармонійних сигналів з використанням приведення початкового сигналу до форми дворівневих і багаторівневих послідовностей максимальної довжини. Це дає можливість використовувати переваги кореляційного методу прийому псевдовипадкових сигналів при використанні гармонійних сигналів і фазової модуляції. Моделювання, що проведене при дослідженні запропонованого методу, показало його ефективність.

In work the randomization method of harmonic signals with the use of adduction of initial signal to the form of two-tier and multilevel sequences of maximal length is considered. It enables to take advantages of correlation method of acceptance pseudocausal signals at the use of harmonic signals and phase modulation. The modelling, that it is conducted at research of the offered method, showed his efficiency.

Ключові слова: рандомізація, М-послідовність, фазова модуляція, кореляція.

Вступ. В сучасному виокотехнологічному суспільстві в галузі застосування інформаційних систем дедалі частіше доводиться розв'язувати задачі підвищення ефективності збору, перетворення, обробки, зберігання і передавання даних. Комплексне використання фундаментальних теоретичних основ цифрової обробки інформації та новітніх досягнень теорії у цих галузях на базі сучасних програмних і апаратних комп'ютерних засобів дозволяє поставити нові задачі в даній галузі і ефективно їх розв'язувати.

Одним із перспективних напрямків розвитку теорії обробки сигналів стосовно застосування в комп'ютерних системах керування є освоєння нелінійних теоретико-числових перетворень в базисах Крестенсона, Галуа, Крестенсона-Галуа.

Оцінка сучасних методів та засобів цифрової обробки даних (ЦОД) показує, що лінійні методи, які часто застосовуються для ЦОД, досягли значного насичення в своєму розвитку, а нелінійні методи є малодослідженими. Водночас є позитивний досвід використання нелінійних методів, зокрема рандомізації [1]. Одним із перспективних напрямків використання цієї процедури є метод підвищення завадостійкості приймання фазо-модульованих гармонічних сигналів в каналі з шумом. В роботі [2] показано ефективність вищезгаданого методу при використанні рандомізації для перетворення гармонічного сигналу в

псевдовипадковий, зокрема з використанням послідовностей максимальної довжини [3] (М-послідовностей) з основою 2. Проте аналіз властивостей М-послідовностей з основою більше 2, що проведений в роботі [4], показує перспективу їх використання в поєднанні з рандомізацією. В цій роботі запропоновано теорію завадостійкого приймання фазо-модульованих сигналів з використанням рандомізації та М-послідовностей з основою 3 і 5, а також проведено моделювання наведеного алгоритму.

Постановка завдання

1. Визначення процедури рандомізації.
2. Розробка структурної схеми передавання даних з використанням рандомізації для перетворення гармонічного фазо-модульованого сигналу в багаторівневий псевдовипадковий.
3. Розробка програмної моделі системи передавання на основі запропонованого методу та її дослідження.
4. Оцінка ефективності методу для різних режимів роботи, порівняння ефективності використання дворівневих і багаторівневих М-сигналів.

Методи рандомізації. Одним із вагомих недоліків застосування псевдовипадкових сигналів для передавання даних є необхідність ширококутового каналу зв'язку. Використавши метод рандомізації, можна передавати фазо-модульовані гармонічні сигнали (що не потребує ширококутового каналу), а в приймачі застосовувати процедуру рандомізації для перетворення отриманого зашумленого сигналу до форми М-послідовності з основою $p > 2$.

Рандомізація (англ. random – випадковий, нерегулярний, безпорядковий) – це нелінійна процедура навмисного внесення “випадковості” або шумоподібності в обробку вибіркового даних для перетворення деяких систематичних помилок у випадкові. Рандомізація полягає в перемішуванні інформаційної вибірки відповідно до певного закону.

Оператором рандомізації \mathcal{Ran} послідовності $X = \{x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_n\}$ будемо називати дію, яка полягає в переміщенні i -го елемента на місце j -го елемента послідовності X , а відповідність між i та j будемо називати законом рандомізації:

$$X = \{x_i\} \dots \mathcal{Ran}(X) = \mathcal{Ran}(\{x_i\}) = X^{\mathcal{Ran}}, \quad (1)$$

$$X^{\mathcal{Ran}} = \{x_j\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = k_i, \quad (2)$$

де $K = \{k_i\}$ – масив-ключ (закон) процедури рандомізації \mathcal{Ran} .

Рандомізація виконується над кожним елементом послідовності X . Для того, щоб показати, що i -й елемент послідовності X переміщено на місце $\mathcal{Ran}(x_i)$, використаємо наступну форму запису:

$$\mathcal{Ran}(X) = (\mathcal{Ran}(x_0), \mathcal{Ran}(x_1), \dots, \mathcal{Ran}(x_i), \dots, \mathcal{Ran}(x_n)). \quad (3)$$

В результаті рандомізації послідовності X утворюється послідовність $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_j, \dots, y_n\}$, причому $x_i = y_j$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, .. У більшості випадків рандомізації $m = n$, тобто рандомізована послідовність має ту саму довжину, що і початкова. Проте, скажімо при зсуві фази сигналу на основі рандомізації відбувається розширення розміру рандомізованої послідовності, тобто $m = n + r$, де r – величина зсуву. Існує очевидна процедура \mathcal{Ran}^{-1} обернена до \mathcal{Ran} , тобто така, що дозволяє отримати початкову послідовність з рандомізованої, тобто:

$$\mathcal{Ran}^{-1}(Y) = X. \quad (4)$$

Таким чином маючи гармонічний дискретизований сигнал, скажімо один період синусоїди, застосувавши рандомізацію і перевпорядкувавши відліки сигналу за певним законом, можна отримати сигнал наближений до багаторівневої М-послідовності, наприклад при $p=3$, що наведено на рис. 1.

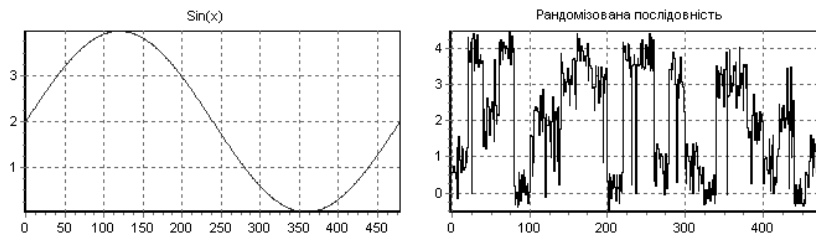


Рис.1. Перетворення гармонічного сигналу у псевдовипадковий

Якщо обчислити і побудувати автокореляційну функцію такого рандомізованого сигналу, то вона матиме подібну форму до автокореляційної функції чистого сигналу М-послідовності, що показано на рис.2.

Як видно з рис. 2, застосування рандомізації гармонічного сигналу дозволяє отримати переваги шумоподібного сигналу, оскільки автокореляційна функція М-сигналу і рандомізованого гармонічного сигналу відрізняються несуттєво. Окрім цього при використанні рандомізації сигналу, на який накладається

адитивна завада, виконується декореляція сигналу і завади, що дозволяє додатково збільшити потенційну завадостійкість методу.

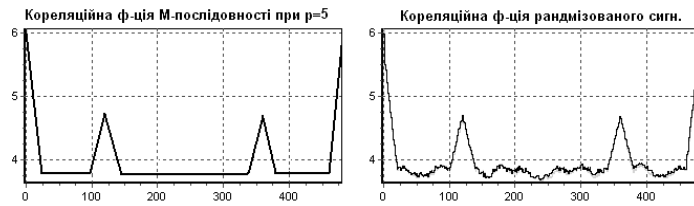


Рис.2. Автокореляційні функції М-послідовності та рандомізованого сигналу

На основі запропонованих теоретичних засад з метою подальшого дослідження та моделювання методу було розроблено структурну схему (рис. 3) системи передавання цифрових даних з використанням рандомізації для перетворення прийнятого сигналу до ШПС.

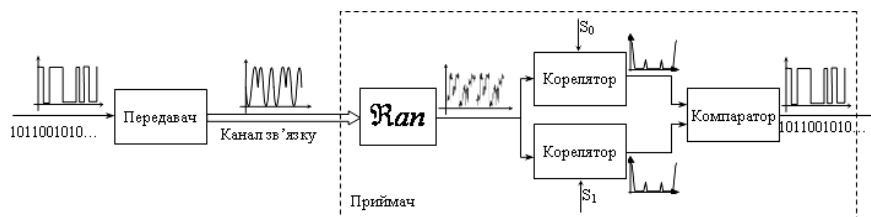


Рис.3. Структура системи передавання даних з використанням рандомізації

В наведеній на рис. 3 схемі на вхід передавача поступають цифрові інформаційні біти в базисі Радемахера. Передавач перетворює їх у фазомодульований гармонічний сигнал, який поступає в канал зв'язку, де на корисний сигнал накладається завада. Зачумлений фазомодульований сигнал із входу приймача подається на рандомізатор, який оцифровує сигнал, та виконує рандомізацію по заданому ключу. В результаті цього на виході рандомізатора отримуємо сигнал, що за формою наближається до шумоподібного, скажімо, до М-послідовності з основою $p=3$ та періодом $N=26$. Далі цей сигнал подається на два корелятори, кожен з яких порівнює вхідний сигнал з еталонним сигналом логічного "нуля" або "одиниці" відповідно. Результати кореляції порівнюються компаратором, який і робить висновок про приймання бітів інформації.

Моделювання цифрового приймача з рандомізацією

Для глибокого дослідження ефективності запропонованих теоретичних положень було сформовано основні вимоги до програмної моделі методу. Така система повинна забезпечувати:

- можливість генерації дво- та багаторівневих рівневих М-послідовностей;
- можливість генерування гармонійних сигналів різної фази для представлення сигналів типу логічна "1" та логічний "0" в цифровому передавачі;
- можливість рандомізації генерованих гармонійних сигналів до форми М-послідовностей;
- можливість формування оптимальних ключів рандомізації, які визначаються мінімальним середньоквадратичним відхиленням між значеннями рандомізованого сигналу та М-послідовності;
- можливість накладання на корисний сигнал випадкового гаусівського шуму змінної амплітуди;
- можливість побудови взаємкореляційних функцій: кореляції, структурної, модульної та еквівалентності;
- можливість моделювання цифрового приймача шляхом вибору ключа рандомізації, задання цифрової послідовності для передавання, вибору і обчислення кореляційної функції для розпізнавання прийнятого сигналу, вибору апертури кореляції для розпізнавання прийнятих даних, рандомізації отриманого сигналу, циклічного повторення вищенаведених процедур, визначення ймовірності правильного розпізнавання сигналу при впливі випадкових шумів заданої амплітуди,
- можливість графічного відображення результатів моделювання, та їх збереження.

На основі вищенаведених вимог, авторами роботи було розроблено програму "Дослідження рандомізації", робоче вікно якої наведено на рис. 4.

В розробленій програмі кінцевим результатом моделювання є оцінка ймовірності правильного приймання переданих даних при впливі гаусівського білого шуму, амплітуду якого можна міняти. Ймовірність правильного приймання визначається відношенням кількості правильно прийнятих даних, до загальної кількості переданих даних. Програма дозволяє перевірити ефективність методу при зміні фаз гармонічного сигналу, що характерно для фазової модуляції. В якості псевдовипадкових сигналів використовуються М-послідовності з основою $p=2, 3$ та 5 . Також доцільно дослідити оптимальність використання однієї із функцій кореляції [5]: взаємкореляційної, взаємструктурної, взаємомодульної та взаємеквівалентності відповідно:

$$R_{xy}(j) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} x_i \cdot y_{i+j}, \quad C_{xy}(j) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} (x_i - y_{i+j})^2, \quad (5)$$

$$G_{xy}(j) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} |x_i - y_{i+j}|, \quad F_{xy}(j) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1} Z_{ij}, \quad \text{де } Z_{ij} = \begin{cases} x_i, & x_i < y_j \\ y_j, & x_i \geq y_j \end{cases} \quad (6)$$

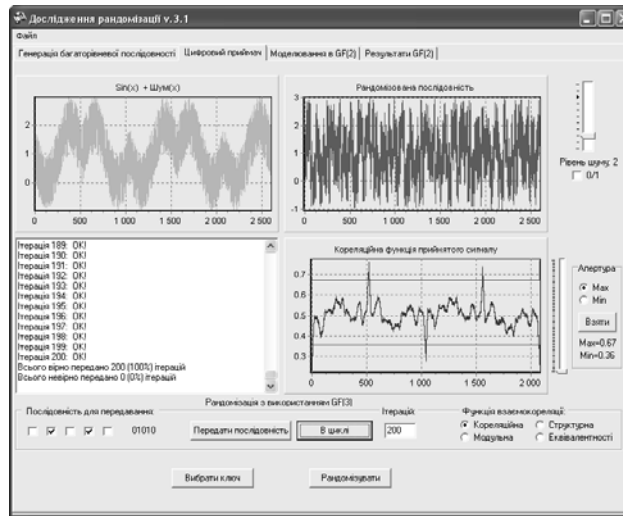


Рис.4. Робоче вікно програми дослідження цифрового приймача

Таким чином, провівши дослідження ймовірності правильного приймання переданої послідовності з використанням вищенаведених можливостей, і взявши найнищу оцінку завадостійкості, можна оцінити потенційну завадостійкість запропонованого методу приймання за найгірших умов. Внаслідок проведених експериментів було побудовано сімейство графіків, які відображають ймовірність (P) правильного приймання цифрової послідовності залежно від інтенсивності шуму (вісь X) та від виду функції кореляції, яка застосовується при розпізнаванні сигналів. На рис. 5,а наведено залежність ймовірностей передавання послідовності 01010 при застосуванні M -послідовності основою $p=3$, а на рисунку 5,б – з основою $p=5$.

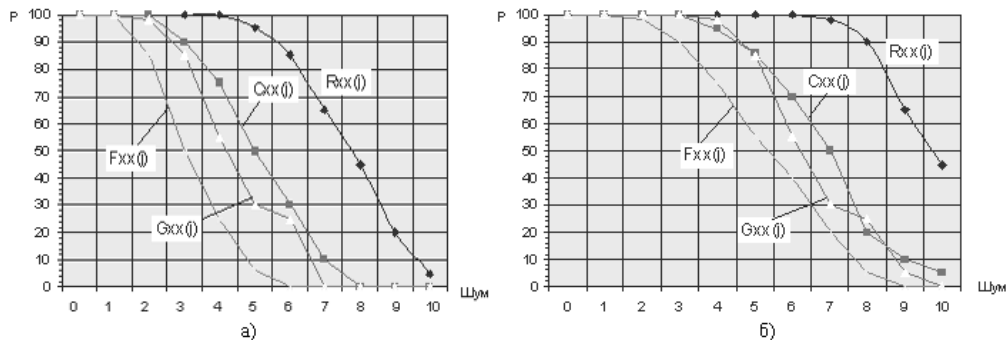


Рис. 5 Залежність ймовірності передавання послідовності 01010

Вищенаведені графіки доводять працездатність запропонованого методу приймання, а їх аналіз та аналіз роботи розробленої програми дозволяє зробити наступні висновки:

- незалежно від типу M -послідовності для завадостійкого приймання з використанням процедури рандомізації на вході оптимального приймача найбільш ефективною є взаємкореляційна функція прийнятого і еталонного сигналу;
- найгірша завадостійкість спостерігається при передаванні послідовності з однією зміною фази, а отже саме ці графіки можуть бути верхньою оцінкою завадостійкості запропонованого методу приймання. Таким чином, при використанні трохрівневої послідовності з довжиною періоду 26 із ймовірністю 100% можна приймати сигнали за накладання випадкового гаусівського шуму при відношенні $P_c/P_{ш}$ не менше як 0,66, а при допустимій ймовірності приймання від 90 до 100% $P_c/P_{ш}$ може досягати 0,3–0,5 в залежності від зміни фаз у переданому сигналі;
- при використанні п'ятирівневої послідовності з довжиною періоду 24 із ймовірністю 100% можна приймати сигнали за накладання випадкового гаусівського шуму при відношенні $P_c/P_{ш}$ не менше як 0,58, а при допустимій ймовірності приймання від 90 до 100% $P_c/P_{ш}$ може досягати 0,25–0,5 залежно від зміни фаз у переданому сигналі;
- ефективність приймання з використанням п'ятирівневої M -послідовності на 5–10% вища ніж при використанні трьохрівневої послідовності із приблизно такою ж довжиною періоду;

- в порівнянні із застосуванням рандомізації в приймачі та дворівневих послідовностей, запропонований метод дозволяє приймати сигнали на 10–15% слабші при дії шуму однакової інтенсивності;
 - оскільки кореляційна функція багаторівневих сигналів має бічні пелюстки, амплітуда яких в 2–3 рази нижча від амплітуди центрального піка, то їх можна застосовувати для додаткової синхронізації при прийманні, а також як додатковий елемент при розпізнаванні прийнятого сигналу.

Висновки. В результаті проведених досліджень розроблено структурної схеми передавання даних з використанням рандомізації для перетворення гармонічного фазомодульованого сигналу в багаторівневий псевдовипадковий, доведено працездатність та ефективність методу передавання даних з використанням рандомізації та багаторівневих М-послідовностей. Запропонована структура цифрової системи передавання може бути основою для створення спецпроцесора на основі ПЛІС. Основними перевагами методу є висока завадостійкість, можливість використання вузькосмугових каналів зв'язку. Основним недоліком є залежність коректності роботи методу від вибору аперттури кореляційної функції при розпізнаванні сигналів. Метод може бути застосований при передаванні даних із цифрових сенсорів на низових рівнях комп'ютерних систем керування на виробництві, в цифрових системах зв'язку, на низових рівнях комп'ютерних систем та мереж.

Література

1. Методы передачи данных в цифровом телевидении. Часть 3. Концепция DVB-T [Електронний ресурс] / К. Галсман, М. Прокопцева // 625-net. – 1999. – № 9. – Режим доступу : <http://www.625-net.ru/archive/0999/glasman.htm>
2. Лазарович І. М. Дослідження застосування процедури рандомізації при передаванні сигналів в каналі з шумом / І. М. Лазарович, Я. М. Николайчук // Комп'ютерні технології друкарства : зб. наук. пр. – Львів, 2000. – № 4. – 442 с.
3. Варакин Л. Е. Системы связи с шумоподобными сигналами / Варакин Л. Е. – М. : Радио и связь, 1985. – 384 с.
4. Галів В. М. Структурні властивості багаторівневих М-послідовностей / В. М. Галів, С. М. Щеряков, Т. П. Каюк // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. Серія: Методи та засоби технічної діагностики. – Івано-Франківськ : ІФДТУНГ, 2004. – 248 с.
5. Николайчук Я. М. Низові обчислювальні мережі : [навч. посібник] / Николайчук Я. М. – К. : УМК ВО, 1990. – 55 с.

Надійшла 27.11.2010 р.

УДК 621.317.73

Д.А. МАКАРИШКІН, В.М. КУЛЬЧИЦЬКИЙ
 Хмельницький національний університет

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕДАВАЛЬНИХ ПРИБОРІВ НАДШИРОКОСМУГОВИХ МОБІЛЬНИХ РАДІОЛОКАТОРІВ ШЛЯХОМ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ

Наведені результати дослідження підвищення ефективності імпульсних передавальних пристроїв, які використовуються в надширокосмугових мобільних радіолокаторах.

The results of research of increase of efficiency of impulsive transmission devices which are utilized in nadshirokosmugovikh mobile radio-locators are resulted.

Ключові слова: підвищення ефективності, електроживлення.

Вступ

Надширокосмугові мобільні радіолокатори широко застосовуються у військовій та цивільній техніці зондування цілей та отримання більш повної інформації про їх характер, коли час спостереження за ціллю обмежений. Природно, що імпульсний передавальний пристрій надширокосмугових мобільних радіолокаторів визначає тактико-технічні характеристики радіолокатора, тому для підвищення інформаційних можливостей мобільних радіолокаторів необхідно розширити їх смугу частот, використовуючи надширокосмугові імпульсні сигнали [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В надширокосмугових мобільних радіолокаторах інформативні можливості підвищуються завдяки зменшенню імпульсного об'єму радіолокатора по дальності. Зменшення тривалості сигналу в НШС мобільному радіолокаторі дозволяє збільшити точність вимірювання відстані до цілі та підвищити розрізнявальну здатність по дальності, розпізнати клас і тип цілі, підвищити ефективність захисту від видів пасивних завад та підвищити стійкість надширокосмугового мобільного радіолокатора до впливу зовнішніх електромагнітних випромінювань та завад. В НШС мобільних радіолокаторах в якості зондуючих імпульсів, які дозволяють реалізувати надшироку смугу, використовуються два види сигналів тривалістю від 1нс до

5нс [1-3].

Живлення генератора зондуєчих імпульсів надширококутвого мобільного радіолокатора здійснюється від літій-іонної батареї напругою $U_B = 3,6$ В, яка характеризується значеннями внутрішнього активного опору в межах $R_{ВН} = 300$ мОм, що показано на рис. 1.

В процесі випромінювання надширококутвим мобільним радіолокатором коротких імпульсів струм літій-іонної батареї досягає значення $I_B = 2$ А і більше в наслідок цього виникає спад напруги на внутрішньому опорі літій-іонної батареї $R_{ВН}$, що виражається наступним співвідношенням:

$$U_{ВН} = I_B R_{ВН} = 2 \cdot 0,3 = 0,6 \text{ В.}$$

Втрати енергії на внутрішньому опорі літій-іонної батареї спричиняють зменшення напруги живлення, яка поступає на генератор імпульсів надширококутвого мобільного радіолокатора, до величини $U_T = 3,6 - 0,6 = 3$ В, а це призводить до зміни положення робочої точки активних елементів генератора, спотворення форми вихідного сигналу та зменшення його коефіцієнта корисної дії майже до 17 % в порівнянні із живленням від ідеального джерела, для якого значення активного внутрішнього опору $R_{ВН} = 0$ Ом.

Аналіз типової структурної схеми надширококутвого мобільного радіолокатора [4,5] показує, що генератори зондуєчих імпульсів НШС мобільних радіолокаторів будуються по схемі релаксаційних генераторів із зовнішнім збудженням і складаються із формувача імпульсів та підсилювача потужності надвисокої частоти (рис. 2).

Для зменшення втрат енергії на внутрішньому активному опорі літій-іонної пропонується вдосконалена структурна схема генератора зондуєчих імпульсів надширококутвих мобільних радіолокаторів [6], яка використовує блок послідовно з'єднаних суперконденсаторів та перетворювач постійної напруги літій-іонної батареї, схема якої зображена на рис. 3.

Враховуючи, що типова літій-іонна батарея створює напругу $U_B = 3,6$ В, а робоча напруга одного суперконденсатора складає $U_{СК} = 2,75$ В, автор пропонує застосувати послідовне з'єднання двох суперконденсаторів у блок суперконденсаторів із загальною робочою напругою $U_{БСК} = 5,5$ В.

Для перетворення постійної напруги літій-іонної батареї $U_B = 3,6$ В в постійну напругу блоку суперконденсаторів $U_{БСК} = 5,5$ В використовується перетворювач постійної напруги. Це дозволить підвищити потужність генератора зондуєчих імпульсів надширококутвих мобільних радіолокаторів та призведе до покращення його технічних характеристик.

Дуже важливо, щоб параметри і характеристики суперконденсаторів, які використовуються при послідовному з'єднанні, були максимально подібними. Якщо параметри і характеристики суперконденсаторів будуть суттєво відрізнятися, то буде виникати перерозподіл напруги між двома суперконденсаторами. В такому випадку один суперконденсатор буде працювати в недонапруженому режимі, а другий буде працювати в перенапруженому режимі. Таке явище призведе до пробію другого суперконденсатора, а тоді вся напруга $U_{СК} = 5,5$ В буде прикладена до першого суперконденсатора, що спричинить також його пробій і вихід всієї схеми із робочого стану. Якщо суперконденсатори підібрані із близькими параметрами і характеристиками, то вони будуть працювати в нормальному робочому режимі без перенапруження, а це забезпечить надійну і тривалу роботу всієї запропонованої вдосконаленої схеми живлення генератора коротких імпульсів НШС мобільного радіолокатора.

Дослідження схеми живлення генератора зондуєчих імпульсів

На основі вдосконаленої математичної моделі генератора зондуєчих імпульсів надширококутвих мобільних радіолокаторів запропоновано його нову електричну схему із використанням блоку суперконденсаторів, яка зображена на рис. 4 [6].

В запропонованій схемі використовуються типові елементи: літій-іонна батарея напругою $U_B = 3,6$ В, перетворювач постійної напруги типу LTC3442 фірми Linear Technology для перетворення постійної напруги літій-іонної батареї $U_B = 3,6$ В в постійну напругу блоку суперконденсаторів C_5 та C_6 $U_{БСК} = 5,5$ В.

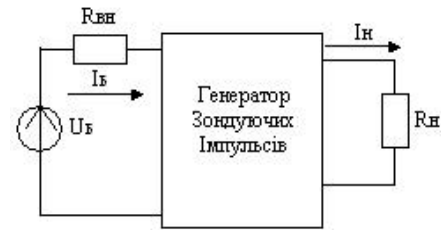


Рис. 1. Живлення генератора зондуєчих імпульсів надширококутвих мобільних радіолокаторів від традиційної літій-іонної батареї



Рис. 2 Типова структурна схема генератора зондуєчих імпульсів надширококутвих мобільних радіолокаторів

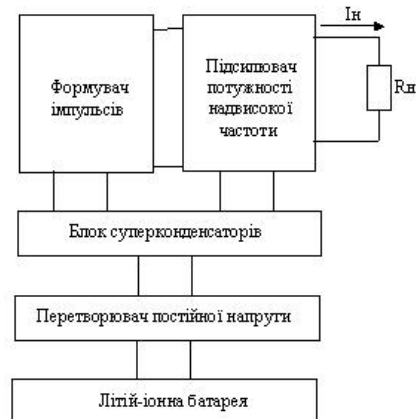


Рис. 3. Структурна схема генератора зондуєчих імпульсів надширококутвих мобільних радіолокаторів із використанням блоку суперконденсаторів

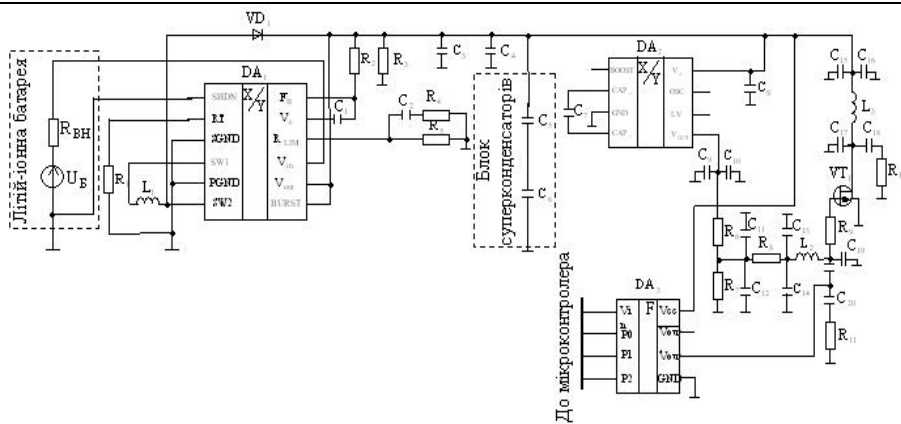


Рис. 4. Вдосконалена електрична схема генератора зонduючих імпульсів надширокопasmових мобільних радіолокаторів

Також в схемі використовується програмований формувач імпульсів DA₃ типу DS1040, фірми Dallas Semiconductor, який може формувати зонduючі імпульси тривалістю від 5 нс до 50 нс залежно від вхідного кодового слова. Для забезпечення вихідної потужності зонduючих імпульсів використовується потужний надвисокочастотний польовий транзистор VT₁ типу P121, фірми PolyFET RF Devices.

Моделювання електричної схеми генератора зонduючих імпульсів надширокопasmових мобільних радіолокаторів, виконано в програмному середовищі LTspice IV, фірми Linear Technology. Аналогічно було проведено моделювання електричної схеми генератора зонduючих імпульсів надширокопasmових мобільних радіолокаторів без використання блоку суперконденсаторів C₅ та C₆ та перетворювача постійної напруги DA₁ типу LTC3442. В результаті моделювання отримано осцилограми імпульсів струму, який проходить через резистор навантаження R_н = 1,5 Ом у схемі із блоком суперконденсаторів та перетворювачем постійної напруги, що показано на рис. 5.

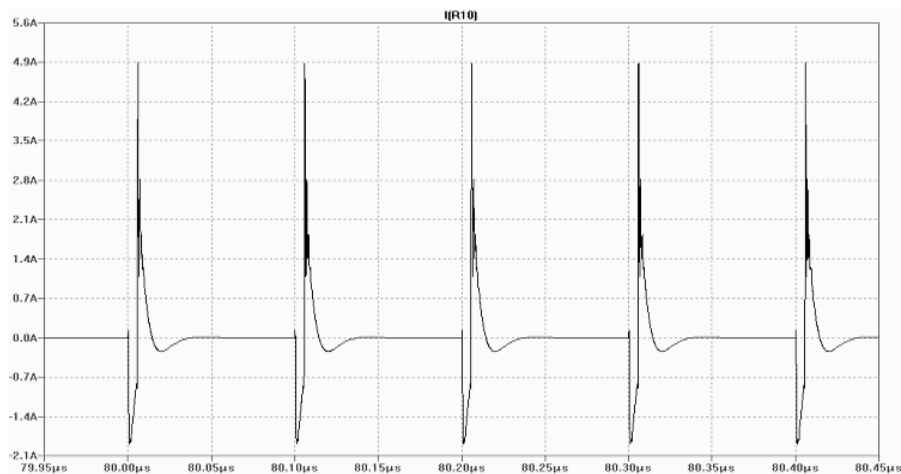


Рис. 5. Осцилограми імпульсів струму, які проходять через навантаження у схемі із блоком суперконденсаторів та перетворювачем постійної напруги

Визначено, що за допомогою блоку суперконденсаторів та перетворювача постійної напруги амплітуда від'ємної частини імпульсу струму складає $I_{ск- max} \approx 2$ А, а амплітуда додатної частини імпульсу струму складає $I_{ск+max} \approx 4,9$ А, а при відсутності блоку суперконденсаторів та перетворювача постійної напруги амплітуда від'ємної частини імпульсу струму складає $I_{б- max} \approx 1,25$ А, а амплітуда додатної частини імпульсу струму складає $I_{б+max} \approx 3,2$ А.

Коефіцієнт збільшення потужності вихідного сигналу m_p , яка виділяється на навантаженні визначається наступним співвідношенням:

$$m_p = \frac{P_{СК}}{P_B} = \frac{6}{2,34} = 2,56. \tag{1}$$

Коефіцієнт зменшення тривалості фронту імпульсів m_i генератора зонduючих імпульсів надширокопasmових мобільних радіолокаторів у схемі із блоком суперконденсаторів та перетворювачем постійної напруги визначається наступною формулою:

$$m_i = \frac{\tau_{\PhiБ}}{\tau_{\PhiСК}} \approx \frac{460 \cdot 10^{-12}}{365 \cdot 10^{-12}} = 1,26. \tag{2}$$

Висновки

1. Великий внутрішній активний опір сучасних акумуляторів та батарей не дозволяє забезпечити заданої величини заданої величини струму та потужності вихідних зондуючих імпульсів надширококутних мобільних радіолокаторів.

2. Вдосконалена схема імпульсного передавального пристрою надширококутного мобільного радіолокатора з оптимізованою системою електроживлення дозволяє збільшити вихідну потужність генератора в 2.56 рази у порівнянні із традиційною схемою живлення.

3. Вдосконалена схема імпульсного передавального пристрою надширококутного мобільного радіолокатора з оптимізованою системою електроживлення дозволяє зменшити тривалість фронтів зондуючих імпульсів генератора в 1.26 рази у порівнянні із традиційною схемою живлення.

Література

1. Иммореев И.Я. Сверхширокополосные и узкополосные системы связи совместная работа в общей полосе частот // Иммореев И.Я., Судаков А.А – Электроника: Наука, Технология. – 2003. – № 2 – С. 34 – 37.
2. Щербак Н. Сверхширокополосная радиолокация. Что это такое. – ЭЛЕКТРОНИКА: НТБ, 2002, № 3, с.38_46.
3. Иммореев И.Я. Излучение сверхширокополосных сигналов // Иммореев И.Я., Синявин А.Н. – Антенны. – 2001. – № 1 – С. 47 – 55.
4. Хармут Х.Ф. Несинусоидальные волны в радиолокации и радиосвязи / Хармут Х.Ф.; Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1985.
5. Астанин Л.Ю. Основы сверхширокополосных радиолокационных измерений // Астанин Л.Ю., Костылев А. – М.: Радио и связь, 1989.
6. Макаришкін Д.А. Математична модель генератора зондуючих імпульсів із використанням суперконденсаторів для надширококутних мобільних радіолокаторів / Д.А. Макаришкін // Вісник Хмельницького національного університету. – Технічні науки. – Т. 3. – Хмельницький. – 2009. – № 3. – С. 245-249.

Надійшла 25.11.2010 р.

УДК 004.415.2:57.087.1+618.2-071.6

О.В. СЕМЧИШИН, Ю.З. ЛЕЩИШИН

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДУ ВИДІЛЕННЯ RR-ІНТЕРВАЛІВ ЕЛЕКТРОКАРДІОСИГНАЛІВ ПЛОДУ

Розглянуто існуючі методи виділення RR-інтервалів. Вказано їхні недоліки при застосуванні до задачі виділення RR-інтервалів електрокардіосигналів внутрішнього плоду для подальшого аналізу варіабельності серцевого ритму. Розроблено новий метод виділення RR-інтервалів в часовій області, який може працювати в реальному масштабі часу. Проведено оцінку ефективності розробленого методу та порівняння отриманих результатів із відповідними показниками відомих методів виділення RR-інтервалів.

Existing methods of RR-interval detection are presented. Showed their limitations applying to problem of RR-intervals detection from foetal electrocardiosignal for further heart rate variability analyses. New method of real-time RR-interval detection was developed. The estimation of developed method efficiency was made. Obtained results compared with values of known RR-intervals detection methods.

Ключові слова: електрокардіосигнал, внутрішній плід, RR-інтервал, R-зубець, QRS-комплекс, варіабельність серцевого ритму.

Постановка задачі. Серцева діяльність плоду є найбільш точним та об'єктивним показником стану плоду в період з 23 тижнів вагітності до пологів і під час пологів. Порушення серцевої діяльності можуть бути ознакою функціональних патологій плоду.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я великий відсоток становить смертність плоду в період гестації внаслідок аномалій пологової діяльності та виникнення анемії, гіпоксії плоду, яка пов'язана з порушенням матково-плацентарного кровообігу тощо. Ці аномалії на ранньому етапі розвитку діагностуються за зміною серцевої діяльності, шляхом запису та аналізу електрокардіосигналів (ЕКС). ЕКС матері та ЕКС внутрішнього плоду розділяються із суміші сигналів та аналізуються окремо автоматизованими методами, що потребує розв'язання задач виявлення, виділення і класифікації кожного R-зубця QRS-комплексу. Виділені R-зубці та часові інтервали між ними (RR-інтервали) використовуються для аналізу варіабельності серцевого ритму (ВСР), що відображає регуляторний вплив на синусовий вузол серця вегетативної нервової системи і різних гуморальних факторів. Тому, аналіз ВСР надає важливу інформацію про стан вегетативної регуляції серцево-судинної системи й організму в цілому, що уможливорює оцінку стану серцево-судинної системи матері та її плоду. Вчасне виявлення відхилень від норми може зберегти здоров'я матері і/або плоду чи навіть зберегти їхнє життя.

У даній статті наведено результати випробування методу виділення послідовностей RR-інтервалів, які використовуються при аналізі ВСР.

Аналіз відомих методів. Існуючі алгоритми виділення RR-інтервалів розділяють на 4 основних групи [1]:

- а) алгоритми аналізу ЕКС у часовій області;
- б) алгоритми, які базуються на частотно-часових, в тому числі і нелінійних, перетвореннях сигналу ЕКС;
- в) алгоритми, які використовують нейромережеві моделі;
- г) комбіновані алгоритми.

В алгоритмах групи (а) до процедури лінійного перетворення (послідовна процедура фільтрації високих частот – ФВЧ і фільтрації низьких частот – ФНЧ) додається нелінійне перетворення, яке включає в себе процедуру інтегрування сигналу в ковзному вікні. Положення R-зубця визначається за допомогою порогового детектора рівня сигналу, значення якого можуть бути як фіксованими, так і обчислюватися адаптивно на кожному кроці роботи алгоритму. Для підвищення точності і чутливості алгоритмів групи (а) використовують додаткову попередню обробку ЕКС. Ефективність алгоритмів цієї групи становить 95–97% коректно визначених QRS-комплексів із загальної кількості присутніх в ЕКС.

В алгоритмах групи (б) після процедур попередньої обробки ЕКС застосовують різні частотно-часові перетворення, такі як перетворення Фур'є, Карунена-Лоєва, вейвлет-перетворення. Вейвлет-аналізатори переважно застосовуються при автоматизованому аналізі вже записаної ЕКС. Група (б) характеризується відносно невисокою продуктивністю, досить низькою чутливістю до завад і ефективністю понад 99% [1].

В алгоритмах групи (в) застосовують нейромережеві методи обробки даних і, зазвичай, застосовуються для аналізу морфології та класифікації елементів ЕКС. Нейромережеві моделі дозволяють набагато ефективніше адаптуватися до нестационарного характеру ЕКС, тому в завданнях виділення QRS-комплексів використовуються при адаптивній узгодженій фільтрації. Чутливість алгоритмів групи (г) варіюється від 96% і в цілому досягає 99% [1].

Групу (г) становлять різні комбінації методик, що переважно є синтезом алгоритмів групи (в) і (б) або (в) і (а). Особливо вигірним виявилось перше об'єднання, такий підхід дозволяє досягти максимальної чутливості – 99,9% на тестових ЕКС. Основним недоліком цієї групи є високі вимоги до обчислювальних засобів.

Виділення невирішених завдань та формулювання цілей. Перелічені алгоритми, груп (б), (в), (г) вимагають на порядок більшої швидкодії, ніж алгоритми групи (а), і призначені для ретельного контурного аналізу коротких записів ЕКС, і за часом обчислень, і обсягом програм не придатні для застосування в системах, що працюють в реальному масштабі часу та використовують малу обчислювальну потужність при роботі. Для вчасного виявлення відхилень при аналізі ЕКС внутрішнього плоду та його ВСР необхідним є розроблення методу виділення RR-інтервалів в реальному часі із підвищеною ефективністю (чутливістю та специфічністю). Слід також врахувати, що, при роботі в реальному часі, значна частина виділених апаратних ресурсів затратиметься на роботу методів розділення суміші ЕКС матері і плоду.

Для досягнення поставленої мети необхідно розробити алгоритм виділення RR-інтервалів в реальному масштабі часу, який використовуватиме невеликий обсяг апаратних ресурсів при роботі. Важливою також є попередня обробка ЕКС в часовій області, яка крім невеликого апаратного навантаження повинна забезпечувати мінімальні спотворення сигналу.

Метод виділення RR-інтервалів. В статті [2] описано алгоритм виділення RR-інтервалів, який працює у часовій області. Структурна схема такого алгоритму наведена на рис. 1.

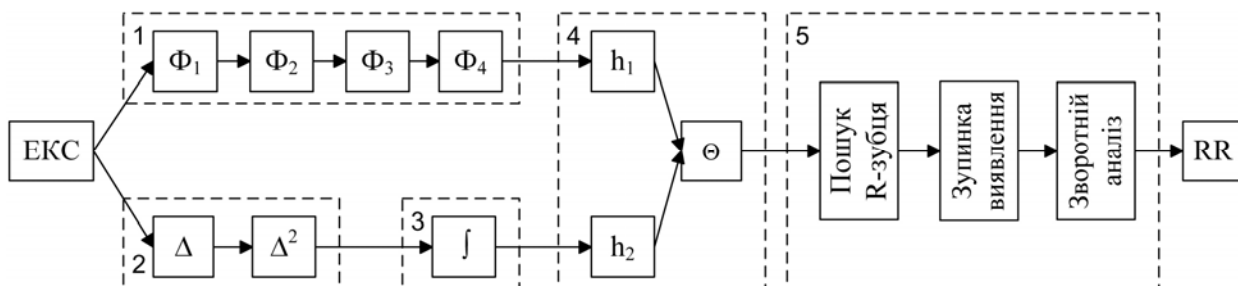


Рис. 1. Структурна схема алгоритму виділення RR-інтервалів:

- 1 – попередня обробка; 2 – диференціювання та підсилення; 3 – інтегрування ковзним вікном; 4 – розрахунок і порівняння порогових значень та визначення інтервалу, в якому приблизно знаходиться R-зубець; 5 – прийняття рішення

В алгоритмі використано паралельну двопотокову обробку ЕКС. Перший потік піддається попередній обробці ЕКС, що полягає у придушенні завад фільтрами. Складними високоамплітудними завадами ЕКС, які неможливо усунути простим фільтруванням [3] є: дрейф ізолінії (Baseline Wander), завади контакту електродів та рух електродів (Electrode Movement), тремор м'язів (Muscle Artifact).

Дрейф ізолінії є чужорідною активністю в ЕКС, яка може перешкоджати аналізу сигналу. Її усувають ВЧ-фільтрацією, що реалізують за допомогою трьох фільтрів з частотами зрізу $f_s = 0,05, 0,1$ та 1 Гц відповідно. ВЧ-фільтри із частотами зрізу $0,05$ та $0,1$ Гц (блок 1, Φ_1, Φ_2) базуються на обчисленні адаптивного середнього [1] і забезпечують придушення постійного зміщення завади в -52 дБ та в -45 дБ

відповідно. ВЧ-фільтрація з частотою зрізу 1 Гц (блок 1, Ф3) реалізована на базі рекурсивного фільтру [4].

Для усунення завад контакту електродів та інших завад, які спричиняють нерегулярності ізолінії, використовується (блок 1, Ф4) восьмиточковий згладжувальний фільтр ковзного середнього із куполоподібними частотними характеристиками [5]. Даний фільтр має нулі на частотах $f_s/8 = 125$ Гц, $f_s/4 = 250$ Гц, $f_s/8 = 375$ Гц та $f_s/2 = 500$ Гц.

Виділення RR-інтервалів передбачає виявлення R-зубців та відкидання інших елементів ЕКС, використовуючи максимальну амплітуду QRS-комплексу (блок 4, h_1):

$$h_1 = \frac{2}{3} \max QRS. \quad (1)$$

При використанні сталого порогу можлива хибна прив'язка до артефактів. Тому розрахунки порогових значень проводяться кожних 2 секунди ЕКС для того, щоб забезпечити більшу точність, що згідно з даними [6] відповідає максимальній паузі між сусідніми R-зубцями для немовлят. Приклад чистого та відфільтрованого ЕКС із відповідними значеннями порогів показано на рис. 2.

На рис. 2 тонкою пунктирною лінією позначено вхідний ЕКС, тонкою суцільною лінією – ЕКС після процедури ВЧ-фільтрації, а товстою суцільною лінією – порогові значення h_1 , які застосовуються до відфільтрованого ЕКС (1).

Для формування другого потоку (блок 2) за основу береться вихідний сигнал ЕКС – X , який диференціюється і кожен відлік послідовно підноситься до квадрату, це підсилює проміжки з високою амплітудою (зокрема QRS-комплекс), також зникає потреба обчислення абсолютних значень цієї похідної:

$$y[n] = (\Delta X[n])^2. \quad (2)$$

Наступний крок – апроксимація диференціюючого оператора:

$$\Delta X[i] = \frac{x[i+1] - x[i-1]}{2T_{SR}}; \quad T_{SR} = \frac{1}{f_{SR}} \quad (3)$$

де T_{SR} і f_{SR} – період та частота дискретизації.

Після процедури диференціювання здійснюється інтегрування цього сигналу (блок 3) ковзним вікном, яке вибирають рівним 140–160 мс, що містить весь QRS-комплекс [4, 7, 8]:

$$Y[k] = \frac{1}{w_{QRS}} \sum_{n=k-n_d+1}^{n=k+n_d} y[n], \quad \text{при } k \geq n_d = \frac{w_{QRS}}{2}, \quad (4)$$

де w_{QRS} – величина інтегровального вікна.

На основі Y , аналогічно до першого потоку, кожних 2 секунди розраховуються порогові значення h_2 (блок 4, h_2):

$$h_2 = \frac{1}{10} Y. \quad (5)$$

На рис. 3 наведено приклад сигналу, що опрацьовується в другому потоці алгоритму виділення, із відповідними значеннями порогів.

На рис. 3 тонкою лінією позначено ЕКС після процедур диференціювання та інтегрування ковзним вікном, а товста суцільна лінія відповідає пороговим значенням h_2 (5).

В сформованих сигналах проводиться пошук точок (блок 4, Θ), які перевищують пороги h_1 та h_2 . Інтервали, в яких відбувається перевищення обох порогів одночасно, відмічаються як такі, що містять R-зубець.

Ймовірність того, що R-зубець міститься на інтервалах, де $\Theta[n]=1$, достатньо висока, проте для підвищення точності алгоритму отримані результати детально аналізуються використовуючи правила прийняття рішень про можливу появу R-зубців. Правила прийняття рішень про появу R-зубця це: перевищення порогових значень h_1 та h_2 у відповідному потоці, зупинка алгоритму виділення (blinking) на визначений період часу (250 мс), щоб уникнути передчасного виділення, та зворотній пошук, де проводиться аналіз по відкинутих при виділенні R-зубця, якщо протягом значного часу не виявлено жодного R-зубця (блок 5).

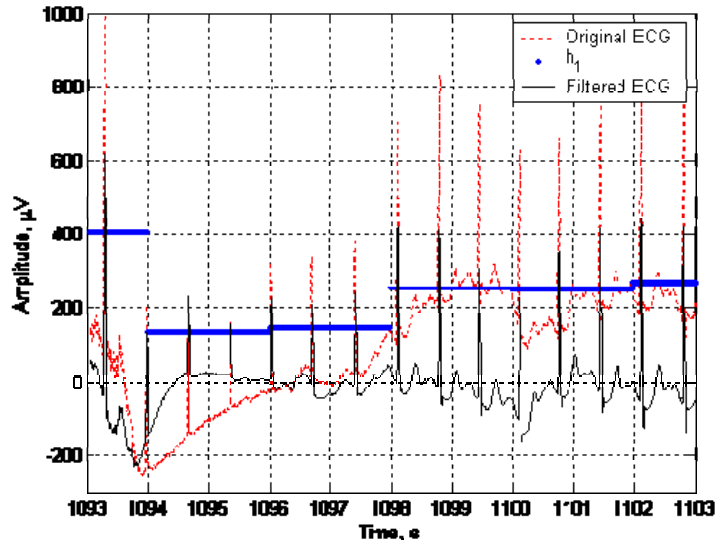


Рис. 2. Графік ЕКС до і після попередньої обробки із пороговими значеннями h_1 (модифіковане друге відведення ЕКС №103 MIT-BIH Arrhythmia Database)

Оцінка ефективності методу виділення RR-інтервалів. Для оцінки ефективності методу використовують такі кількісні характеристики ефективності алгоритмів виділення: чутливість (sensitivity) – ймовірність розпізнавання довільного R-зубця, виражена у відсотках, специфічність (specificity) – ймовірність того, що довільний виділений R-зубець є істинним та ефективність (efficiency) – ймовірність видачі детектором правильного результату. Чутливість Se визначається кількістю правильно визначених зубців (true positive – TP) та кількістю хибно відсіяних R-зубців (false negative – FN), специфічність Sp залежить від TP та кількості хибно визначених зубців (false positive – FP), а ефективність є інтегральним показником якості методу. Зазначені величини обраховуються за такими формулами [1,3,7–9]:

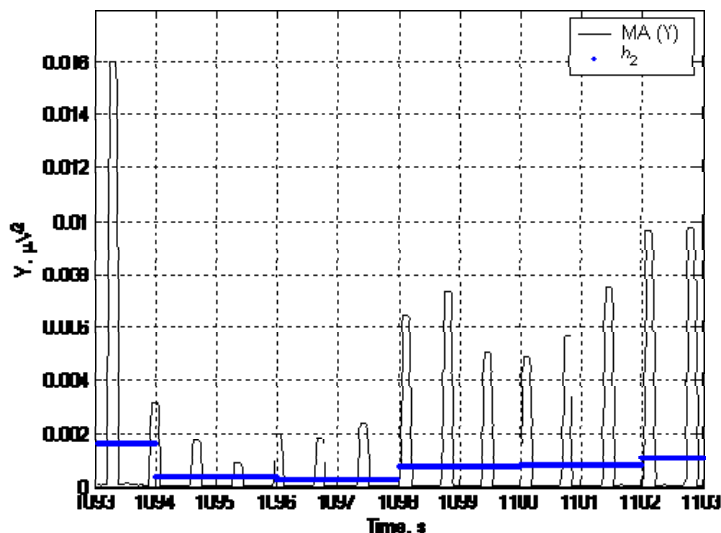


Рис. 3. Графік сигналу Y із пороговими значеннями h_2 (модифіковане друге відведення ЕКС №103 MIT-BIH Arrhythmia Database)

$$Se = 1 - \frac{FN}{TP + FN} = \frac{TP}{TP + FN}, \quad (6)$$

$$Sp = 1 - \frac{FP}{TP + FP} = \frac{TP}{TP + FP}, \quad (7)$$

$$E = \frac{TP}{TP + FN + FP}. \quad (8)$$

Ефективність алгоритмів виділення оцінюють за допомогою тестових ЕКС із міжнародних баз даних American Heart Association (AHA) та Massachusetts Institute of Technology / Beth Israel Hospital (MIT-BIH). Ці бази даних містять надзвичайно великі масиви даних, в яких розміщення кожного зубця є перевіреним та задокументованим відповідно до часової шкали [10].

Розглянемо приклад хибного спрацювання алгоритму при використанні ЕКС №213 із MIT-BIH Arrhythmia Database (рис. 4). Як видно із рисунку, в кінці 17-ї хвилини запису ЕКС (між 1080-ю та 1081-ю секундою запису) через появу аномального R-зубця, алгоритм виділення хибно спрацював. Амплітуда аномального R-зубця виявилася не лише нижчою за амплітуду T-зубця, а й дещо меншою за амплітуду R-зубця даного серцевого циклу. Замість R-зубця на вказаному проміжку алгоритм зафіксував високий T-зубець, що відповідає події появи хибно визначених зубців FP. Через те, що положення істинного R-зубця не було визначено, виникає подія хибного відсіювання R-зубця FN.

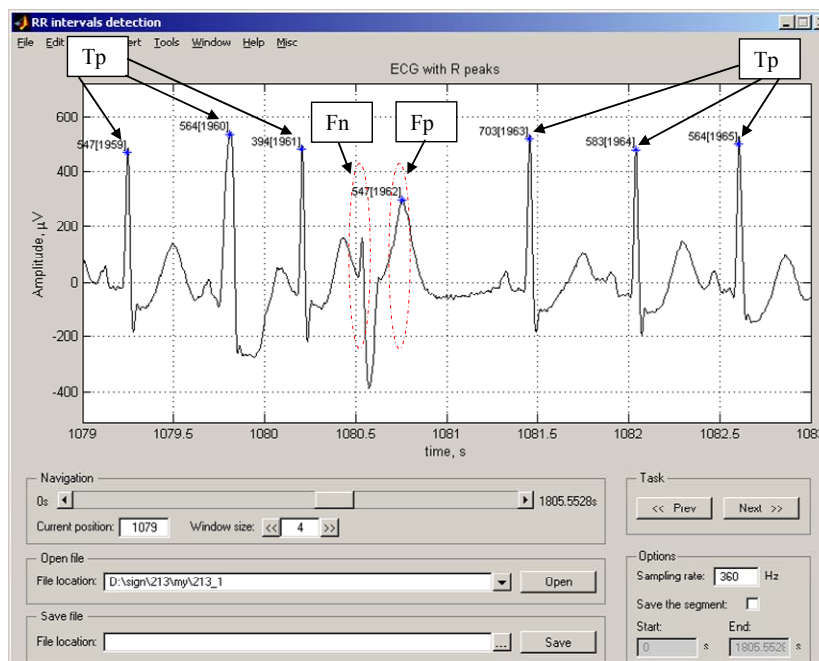


Рис. 4. Приклад хибного спрацювання алгоритму виділення RR-інтервалів (модифіковане друге відведення ЕКС)

Оцінка ефективності запропонованого алгоритму за кількісними характеристиками (1–3) проводилася за допомогою записів ЕКС із MIT-BIH Arrhythmia Database. При обчисленні Se , Sp та E за інтервал правильного виділення [8], всередині якого виділені алгоритмом зубці вважаються правильно визначеними по відношенню до задокументованих, взято 200 мс проміжок із задокументованим R-зубцем посередині. Запропонований алгоритм в цілому хибно виявив (FP) 1086 та хибно відсіяв (FN) 1417 R-зубців, опрацювавши при цьому 40 записів, що включають 92681 задокументованих R-зубців (таблиця 1). Загальна чутливість (Se), специфічність (Sp) та ефективність (E) відповідно рівні 98,47%, 98,82% та 97,33%. У записах із низьким співвідношенням сигнал/шум зафіксовано появу значної кількості FP R-зубців. Основним завданням запропонованого алгоритму є виявлення R-зубців в нормі, тому при опрацюванні ЕКС із окремими патологіями виникають помилки виявлення. Зокрема хибні виявлення було зафіксовано під час тріпотіння передсердь. Значна кількість помилок алгоритму зосереджена при появі передчасних скорочень шлуночків та передсердних екстрасистол.

Таблиця 1

Результати роботи алгоритму виділення RR-інтервалів із записами MIT-BIH Arrhythmia Database

Запис №	Заг. к-сть (R-зубці)	TP (R-зубці)	FP (R-зубці)	FN (R-зубці)	Погані виявлен. (FP+FN)	Погані виявлен. (%) (FP+FN)×100/Заг. к-ть	Se (%)	Sp (%)	E (%)
100	2273	2273	0	0	0	0,00	100,00	100,00	100,00
101	1865	1864	5	1	6	0,32	99,95	99,73	99,68
102	2187	2184	3	3	6	0,27	99,86	99,86	99,73
103	2084	2084	0	0	0	0,00	100,00	100,00	100,00
104	2229	2223	12	6	18	0,81	99,73	99,46	99,20
105	2572	2500	78	72	150	5,83	97,20	96,97	94,34
106	2027	1857	71	170	241	11,89	91,61	96,32	88,51
107	2137	2089	53	48	101	4,73	97,75	97,53	95,39
109	2532	2525	14	7	21	0,83	99,72	99,45	99,18
111	2124	2102	63	22	85	4,00	98,96	97,09	96,11
112	2539	2539	0	0	0	0,00	100,00	100,00	100,00
113	1795	1795	3	0	3	0,17	100,00	99,83	99,83
115	1953	1952	6	1	7	0,36	99,95	99,69	99,64
116	2412	2396	9	16	25	1,04	99,34	99,63	98,97
117	1535	1532	6	3	9	0,59	99,80	99,61	99,42
118	2278	2275	32	3	35	1,54	99,87	98,61	98,48
121	1863	1860	7	3	10	0,54	99,84	99,63	99,47
122	2476	2476	0	0	0	0,00	100,00	100,00	100,00
123	1518	1518	2	0	2	0,13	100,00	99,87	99,87
124	1619	1584	35	35	70	4,32	97,84	97,84	95,77
202	2136	2111	30	25	55	2,57	98,83	98,60	97,46
205	2656	2596	43	60	103	3,88	97,74	98,37	96,18
208	2955	2933	12	22	34	1,15	99,26	99,59	98,85
209	3005	3004	0	1	1	0,03	99,97	100,00	99,97
210	2650	2491	98	159	257	9,70	94,00	96,21	90,65
212	2748	2748	0	0	0	0,00	100,00	100,00	100,00
213	3251	3234	6	17	23	0,71	99,48	99,81	99,29
214	2262	2235	80	27	107	4,73	98,81	96,54	95,43
215	3363	3312	2	51	53	1,58	98,48	99,94	98,42
217	2208	2199	15	9	24	1,09	99,59	99,32	98,92
219	2154	2147	85	7	92	4,27	99,68	96,19	95,89
220	2048	2047	0	1	1	0,05	99,95	100,00	99,95
221	2427	2412	74	15	89	3,67	99,38	97,02	96,44
222	2483	2409	30	74	104	4,19	97,02	98,77	95,86
223	2605	2433	78	172	250	9,60	93,40	96,89	90,68
228	2053	1855	94	198	292	14,22	90,36	95,18	86,40
230	2256	2255	1	1	2	0,09	99,96	99,96	99,91
231	1571	1571	11	0	11	0,70	100,00	99,30	99,30
233	3079	2891	28	188	216	7,02	93,89	99,04	93,05
234	2753	2753	0	0	0	0,00	100,00	100,00	100,00
Всього	92681	91264	1086	1417	2503	2,70	98,47	98,82	97,33

Порівняння отриманих результатів. Провести точний порівняльний аналіз результатів роботи запропонованого алгоритму виділення RR-інтервалів із уже існуючими алгоритмами досить важко,

зважаючи на декілька обставин:

- багато авторів користуються різними показниками для оцінки ефективності алгоритмів, а також модифікують загальноприйняті формули для обчислення Se та Sp ;
- попри визначені рекомендації автори по різному визначали, який тип зубця відповідно до анотацій MIT-BIH Arrhythmia Database вважати R-зубцем, відкидаючи при цьому проблемні ділянки;
- деякі автори вказують лише кінцевий результат, не вказавши при цьому, яку кількість сигналів опрацьовано і, яку кількість зубців згідно з анотаціями MIT-BIH Arrhythmia Database взято за основу;
- частина авторів із тих чи інших причин проводила дослідження з окремими записами.

Зважаючи на ці обставини проведено порівняння роботи алгоритмів виділення RR-інтервалів на прикладі кількох записів ЕКС, які фігурують в роботах різних авторів (табл. 2).

Таблиця 2

**Порівняння результатів роботи алгоритмів виділення RR-інтервалів
для записів 104, 105 та 116 бази даних MIT-BIH Arrhythmia Database**

Критерій порівняння		FP	FN	FP+F N	(FP+FN)× 100/Заг. к-ть, %	Se, %	Sp, %
Алгоритм	Сигнал						
Запропонований алгоритм	104	12	6	18	0,81	99,73	99,46
	105	78	72	150	5,83	97,2	96,97
	116	9	16	25	1,04	99,34	99,63
A1	104	2	2	4	0,18	99,91	99,91
	105	73	31	104	4,04	98,76	97,13
	116	4	22	26	1,08	99,09	99,83
A2	104	25	25	50	2,3	98,9	98,9
	105	51	28	79	3,1	98,9	98,0
	116	1	28	29	1,2	98,8	99,96
A3	104	1	0	1	0,05	100	99,95
	105	2	35	37	1,44	98,64	99,92
	116	22	2	24	0,99	99,92	99,09
A4	104	1	0	1	0,05	100,00	99,95
	105	2	36	38	1,48	98,60	99,92
	116	19	2	21	0,87	99,92	99,21
A5	104	6	5	11	0,49	99,78	99,73
	105	16	14	30	1,17	99,45	99,37
	116	0	12	12	0,5	99,5	100
A6	104	24	12	36	1,62	99,46	98,83
	105	78	5	83	3,23	99,81	97,05
	116	2	20	22	0,91	99,17	99,92
A7	105	10	4	14	0,54	99,84	99,61
A8	105	15	13	28	1,09	99,49	99,41
A9	105	53	22	75	2,92	99,13	97,92
A10	105	67	22	89	3,46	99,12	97,37

Примітки:

- A1 – алгоритм, розроблений Matteo Paoletti та Carlo Marchesi [11];
 A2 – алгоритм, розроблений John Darrington [8];
 A3 – алгоритм 1, розроблений Ivaylo I. Christov [12];
 A4 – алгоритм 2, розроблений Ivaylo I. Christov [12];
 A5 – алгоритм, розроблений Y. Ferdi, J.P. Herbeuval, A. Charef, B. Boucheham [13];
 A6 – алгоритм, розроблений Szi-Wen Chen, Hsiao-Chen Chen, Hsiao-Lung Chan [14];
 A7 – алгоритм, розроблений Q. Xue, Y.H. Hu, W.J. Tompkins [15];
 A8 – алгоритм, розроблений C. Li, C. Zheng, C. Tai [16];
 A9 – алгоритм, розроблений P.S. Hamilton та W.J. Tompkins [17];
 A10 – алгоритм, розроблений J. Pan та W.J. Tompkins [18].

Як видно із таблиці 2 результати для алгоритмів, які використовують вейвлет-перетворення (A6, A8) [14, 16], нейронні мережі (A7) [15], набори смугових фільтрів (A9, A10) [17, 18] та деякі морфологічні особливості ЕКС (A3, A4) [12] переважно дають кращий результат, при більших затратах апаратних потужностей або не можуть працювати із сигналом в реальному часі. Сигнал 105 має одне із найнижчих співвідношень сигнал/шум в MIT-BIH Arrhythmia Database, що і пояснює погані результати роботи запропонованого алгоритму. Зауважимо, що у A3, A4 [12] автор в сигналі 104 не врахував 17 зубців, а в сигналі 105 – сім зубців. При роботі зі звичайними сигналами, де мінімальна кількість патологій (100, 101,

102, 103), результати запропонованого алгоритму є найкращими (таблиця 1).

Висновки. За результатами тестування чутливість і специфічність алгоритму виділення RR-інтервалів сягають майже 99%, а ефективність – 97%. Тестування алгоритму виявлення проводилося з сигналами із міжнародної бази даних PhysioNet – MIT-BIH Arrhythmia Database, що дало можливість зробити порівняльний аналіз чутливості та специфічності розробленого алгоритму з відомими алгоритмами виділення RR-інтервалів. Значення чутливості, специфічності та ефективності для 40 сигналів згаданої бази даних відповідно рівні: $Se = 98.47\%$, $Sp = 98.82\%$ та $E = 97.33\%$. Із 92681 R-зубців, задокументованих в файлах анотацій бази даних [10], кількість правильно виділених зубців $TP = 91264$, кількість хибно визначених зубців $FP = 1086$, кількість хибно відкинутих зубців $FN = 1417$.

Використання запропонованого алгоритму виділення RR-інтервалів дає можливість проводити ефективне виділення RR-інтервалів ЕКС внутрішнього плоду в реальному масштабі часу для подальшого використання цих інтервалів при аналізі ВСП. Також, даний алгоритм уможливує покращення методів виділення ЕКС внутрішнього плоду з суміші ЕКС матері і плоду на базі апріорної інформації про ЕКС матері, яку отримують в результаті виділення материнських RR-інтервалів з суміші ЕКС матері і плоду.

Література

1. Нагин В. А. Выделение QRS-комплексов в компьютерных ЭКГ-системах / В. А. Нагин, И. В. Потапов, С. В. Селищев // “Биомедприбор-2000” : труды междур. конф. по биомедицинскому приборостроению, 24–26 окт. 2000. – М., 2000. – Ч.1. – С. 120–121.
2. Семчишин О. В. Алгоритм виділення RR-інтервалів кардіосигналу для задачі аналізу варіабельності серцевого ритму в системі реального часу / О. В. Семчишин, Ю. З. Лещишин, В. П. Забитівський // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький, 2007. – № 6. – Т.1. – С. 130–136.
3. A comparison of the noise sensitivity of nine QRS detection algorithms / [G.M. Friesen, T.C. Jannett, M.A. Jadallah et al // IEEE Transactions on BME, January 1990: proc. conf, 1990. – Vol. 37, No. 1. – pp. 85–98.
4. Dotsinsky I. Ventricular beat detection in single channel electrocardiograms [електронний ресурс] / I. Dotsinsky, T. Stoyanov // Biomed. Eng. Online. – 2004. – Vol. 3. – No.:3. – 9 p. – Режим доступу до журн. : <http://www.biomedical-engineering-online.com/content/3/1/3>
5. <http://www.biomedical-engineering-online.com/content/3/1/3>
6. Rangaraj M. Rangayyan. Biomedical Signal Analysis: A Case-Study Approach / Rangaraj M. Rangayyan. – John Wiley & Sons, Inc., 2002. – 552 p.
7. Амбулаторне ЕКГ-моніторування (рекомендації Асоціації кардіологів України: Асоціація кардіологів України, Робоча група по порушенню ритму серця, Робоча група по атеросклерозу та ішемічній хворобі серця). – К., 2005. – 52 с.
8. Development of a Matlab Software for Analysis of Heart Rate Variability / J.L. Carvalho, A.F. Rocha, F.A. Oliveira Nascimento // 6th International Conf. Signal Processing, ICSP'02: proc. conf. – Beijing, China, 2002. – Vol. 2. – pp. 1488-1491.
9. Darrington J. Towards real time QRS detection: A fast method using minimal pre-processing / J. Darrington // Biomedical Signal Processing and Control. – Elsevier inc., 2006. – Vol. 1. – pp. 169-176
10. Абакумов В. Г. Біомедичні сигнали. Генезис, обробка, моніторинг / В. Г. Абакумов, О. І. Рибін, Й. Сватош. – К. : Нора-прінт, 2001. – 516 с.
11. Physio Bank, PhysioToolkit, and PhysioNet: components of a new research resource for complex physiologic signals [електронний ресурс] / A.L. Goldberger, L.A.N. Amaral, L. Glass et al // Circulation. – 2000. – Vol. 101. – e215-e220. – 6 p. – Режим доступу до журн. : <http://circ.ahajournals.org/cgi/content/full/101/23/e215>
12. Paoletti M. Discovering dangerous patterns in long-term ambulatory ECG recordings using a fast QRS detection algorithm and explorative data analysis / M. Paoletti, C. Marchesi // Computer Methods and Programs in Biomedicine. – Elsevier Inc., 2006. – Vol. 82, pp. 20–30.
13. Christov I.I. Real time electrocardiogram QRS detection using combined adaptive threshold [електронний ресурс] / I.I. Christov // BioMed. Eng. Online. – 2004. – Vol. 3. – No. 28. – 9 p. – Режим доступу до журн. : <http://www.biomedical-engineering-online.com/content/3/1/28>
14. R wave detection using fractional digital differentiation / [Ferdin Y., Herbeuval J.P., Charef A., Boucheham B.]. – ITBM-RBM. – Elsevier Inc., 2003. – Vol. 24. – pp. 273–280.
15. Chen S.-W. A real-time QRS detection method based on moving-averaging incorporating with wavelet denoising / S.-W. Chen, H.-C. Chen, H.-L. Chan // Computer Methods and Programs in Biomedicine. – Elsevier Inc., 2006. – Vol. 82, pp. 187–195.
16. Xue Q. Neural-network- based adaptive matched filtering for QRS detection / Q. Xue, Y.H. Hu, W.J. Tompkins // IEEE Trans. Biomed. Eng., 1992. – Vol. 39(4). – pp. 317–329.
17. Li C. Detection of ECG characteristic points using the wavelet transform / C. Li, C. Zheng, C. Tai // IEEE Trans. Biomed. Eng., 1995. – Vol. 42. – pp. 21–28.
18. Hamilton P.S. Quantitative investigation of QRS detection rules using the MIT/BIH Arrhythmia database / P.S. Hamilton, W.J. Tompkins // IEEE Transactions on Biomed. Eng., 1986. – Vol. 33. – pp. 1157–1165.
19. Pan J. A real-time QRS detection algorithm / J. Pan, W.J. Tompkins // IEEE Trans. Biomed. Eng., 1985. – Vol. 32. – No. 3. – pp. 230–236.

Надійшла 9.11.2010 р.

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ МЕТОДОЛОГИЙ

В статье рассматриваются принципы моделирования и применения предметно-ориентированных методологий (*Domain Specific Methodologies – DSMd*). Предлагаемый подход позволяет строить методологии, наиболее полно соответствующие запросам рассматриваемой предметной области (предприятия, проекта, технологии и т.д.). Применимость подхода доказывается путем его применения для порождения таких известных методологий как ERD, SSA, OOD и других.

The principles of modelling and application of Domain Specific Methodologies (DSMd) are considered in the paper. The offered approach allows to develop methodologies, as full as possible corresponding to requirements of considered domain (enterprise, project, technology etc.). Applicability of the approach is proved by its application for producing such well-known methodologies as ERD, SSA, OOD and others.

Ключевые слова: предметно-ориентированное моделирование, предметно-ориентированные методологии.

Введение. В области информационных технологий (ИТ) в настоящее время разработано множество различных методологий моделирования и проектирования компьютерных систем. В конце прошлого столетия даже возникло понятие *войны методов*. Причиной является тот факт, что разработчики новых методологий моделирования игнорировали лежащие в их основе общие подходы. Именно поэтому появление новой методологии встречается с критическими взглядами как со стороны теоретических исследователей, так и практических разработчиков в области ИТ.

Идеи предлагаемого в статье подхода схожи с так называемой компьютерно-ориентированной инженерией методов (*Computer Aided Method Engineering, CAME*) [1; 2], которую можно рассмотреть по аналогии с компьютерно-ориентированной программной инженерией (*Computer Aided Software Engineering, CASE*). Как CASE облегчает процесс разработки программных систем, CAME осуществляет поддержку деятельности по разработке методов, технологических процессов, технологий и др. В то же самое время, CAME подход основан на ситуативной инженерии методов (*Situational Method Engineering, SME*) [3], чья главная цель – разработка специфичных для проекта методологий.

Объектом статьи являются принципы моделирования и применения предметно-ориентированных методологий (*Domain Specific Methodologies, DSMd*). Предложенный подход основан на методологии предметно-ориентированного моделирования (*Domain Specific Modelling, DSM*) [4; 5].

Идея DSMd состоит в определении специального механизма, который позволяет пользователю создавать не только *модели* ПрО (как в DSM), но также и *предметно-ориентированные методологии*. Таким образом, DSMd включает в себя DSM как частный случай.

Особенностью DSM является разработка моделей не в технических терминах данных и алгоритмов, а в содержательных понятиях предметной области (ПрО). Эти понятия порождаются из т.н. *метамодели* и служат предметно-ориентированным языком (*Domain Specific Language, DSL*) для разработки моделей ПрО. Заметим также, что методология DSM предназначена главным образом для разработки программных систем, в то время как мы не ограничиваем область применимости DSMd подхода.

Методология DSMd основана на определении двух метамоделей: первая служит для порождения предметно-ориентированных моделей, вторая – для построения предметно-ориентированных методологий (моделирования, проектирования и др.). Для разграничения этих метамоделей, мы будем называть первую *онтологической* (как модель, так и метамодель).

Заметим, что в философии онтология определяется как учение о бытии [6]. Иное (и более узкое) определение онтологии дается в *Semantic Web*, где оно означает формальную (обычно, основанную на графах) спецификацию концептуализации [7].

DSM и DSMd подходы весьма схожи с онтологическим моделированием, как оно имеет место в *Semantic Web*. Они основаны на концептуализации ПрО, то есть определении важнейших понятий ПрО и формализации отношений между ними. Различие состоит в том, что онтологическая модель в *Semantic Web* является полностью описательной. Для формализации отношений онтологии применяют логику первого порядка, а точнее ее DL (*Description Logic*) подмножество. Данный подход позволяет доказать некоторые свойства онтологической модели ПрО, однако не дает возможности определить методологию решения специфичных для предметной области задач.

Смысл DSMd состоит в определении *императивной методологии*, которая может быть применена к построенной ранее онтологической модели ПрО. Т.о. DSMd предоставляет пользователю поддержку в решении специфичных для ПрО задач.

В то же самое время, декларативный подход к моделированию ПрО остается важным частным случаем DSMd. Так, используя DSMd, мы можем породить методологию моделирования *Semantic Web* как частный случай. При этом могут быть проверены различные свойства онтологических моделей ПрО, например, валидность иерархии концептов онтологии, связанных отношением Is-A. С этой целью мы

используем существующие инструменты автоматизации умозаключений (reasoners), созданные для доказательства свойств онтологий Semantic Web (например, Fact++ [8]).

Следующий раздел статьи посвящен принципам создания и применения DSMd. Дальнейшие разделы доказывают применимость DSMd путем порождения существующих подходов и методологий моделирования. Завершают статью выводы и планы будущих исследований.

Принципы моделирования методологий. **Моделирование любых ПрО (в том числе и методологий) всегда имеет в основе некоторые общие принципы, среди которых выделим:**

абстрагирование, то есть выделение существенных свойств ПрО (в отвлечении от несущественных);

декомпозиция, то есть разделение сложных ПрО на отдельные элементы, свойства которых могут быть поняты и смоделированы;

структурирование, то есть связывание отдельных частей, полученных в результате декомпозиции, в определенные структуры;

формализация, то есть математически точное определение свойств и отношений объектов ПрО.

Заметим, что большинство методологий моделирования, проектирования и т.д. в области ИТ являются слабо или же вообще не формализованными. Например, объектно-ориентированная методология (ООМ), описанная в известной книге [9], вообще говоря, является множеством текстовых рекомендаций, которые весьма далеки от формальной техники проектирования систем.

В то же самое время заметим, чтобы породить методологию (например, ООМ), ее принципы должны быть ясно поняты и формализованы. Именно поэтому мы выделяем формализацию как один из базовых принципов нашего подхода. Имея целью доказательство применимости DSMd путем порождения существующих методологий, первым этапом всегда является понимание и формализация принципов этих методологий.

Следуя DSM, мы рассматриваем три уровня абстрагирования от ПрО:

- мета-метамодель (сокращено, МММ или M^3) ПрО;
- метамодель (ММ или M^2) ПрО;
- модель (М) ПрО.

Основное направление приложения DSMd мы можем определить как *переход от абстрактного к конкретному*, то есть от мета-метамодели к метамодели, от метамодели к конкретной модели ПрО.

Абстрактные понятия уровня M^3 служат базовыми типами для порождения понятий M^2 (что близко к *наследованию*, как оно понимается в ООМ). В то же самое время, понятия M^2 являются типами для создания конкретных *экземпляров* объектов, составляющих модель ПрО. Основная идея DSMd (как и DSM) состоит в предоставлении возможности пользователю разработки метамодели, в понятиях которой будет осуществляться декомпозиция объектов модели ПрО.

Таким образом, *типизация*, *наследование* и *инстанциация* в DSMd являются методами реализации общенаучных принципов абстрагирования и декомпозиции.

Заметим, что традиционно *типизацию* рассматривают как классификацию объектов при переходе от единичного к общему (с последующей возможностью создавать копии этих типичных объектов). В DSM типы производятся из еще более абстрактных метатипов, таким образом, сохраняется общее направление от абстрактного к конкретному.

Инстанциация – механизм создания копий объекта одного и того же типа – является основным методом порождения модели из метамодели. После определения метамодели, мы рассматриваем ее понятия как типы для создания *экземпляров*, имеющих конкретные значения атрибутов.

На уровне метамодели типы можно рассмотреть как экземпляры мета-метамодели, к которым добавляются специфичные для предметной области атрибуты. Назовем этот метод *атрибутизацией* для разграничения с определенным в ООД термином *наследование*.

Описанные выше принципы не являются принципиально новыми и используются в уже существующих DSM инструментах (например, MetaEdit+ [10]). Мы можем также показать параллель с системами управления содержанием (Content Management Systems, CMS), где типы контента используются для порождения конкретных экземпляров содержания. Некоторые из CMS (например, Plone [11]), даже позволяют редактировать концептуальную схему ПрО, и, таким образом, создавать новые типы контента путем атрибутизации базовых понятий (составляющих концептуальную схему).

Отличие DSMd от CMS состоит в возможности *моделирования структуры ПрО*. Предложенная метамодель является не только набором абстрактных понятий (служащих типами для порождения экземпляров), она также определяет *способы отношений экземпляров*. Например, экземпляры понятий "система" и "подсистема", определенных в метамодели, могут быть связаны на уровне модели только отношением "Часть-Целое". Таким образом, принцип *структурирования* осуществляется путем наложения ограничений на возможные отношения экземпляров метамодели.

Определение мета-метамодели и метамодели онтологии. Как было упомянуто выше, идея DSMd состоит в формальном определении базовых понятий. Мы определяем мета-метамодель как формализм, который позволяет породить метамодели ПрО. В то же самое время метамодель – это формализм, позволяющий породить модели ПрО.

В этой статье мы будем рассматривать мета-метамодель и метамодели, основанные на

математической теории графов.

Заметим, что использование графа, как структурной части мета-метамодели не является новой идеей. Мы можем сослаться, например, на мета-метамодель GOPHR, используемую в MetaEdit+ [10]. GOPHR есть аббревиатура от Graph, Object, Property, Role and Relationship (Граф, Объект, Свойство, Роль и Отношение).

Однако в DSMd мы используем графы не только для иерархического структурирования объектов ПрО, но и для построения методов решения возникающих в ПрО задач. Другими словами, мы используем методы теории графов как метамодель для порождения методологий ПрО.

Граф G определяется как упорядоченная пара вершин N и ребер E :

$$G = (N, E), \quad (1)$$

где N – есть множество вершин; E – множество ребер, являющихся подмножеством из двух элементов множества N (то есть ребро графа представляется двумя вершинами графа).

Таким образом, мета-метамодель M^3 онтологии мы определяем как граф G .

$$M^3 \overset{\Delta}{=} G. \quad (2)$$

Граф M^3 состоит из вершин и ребер, служащих базовыми типами для порождения типов метамодели M^2 .

Переход от уровня мета-метамодели к метамодели осуществляется путем добавления к вершинам и ребрам графа специфичных для ПрО атрибутов.

Таким образом, метамодель M^2 может быть определена как атрибутизированный граф:

$$M^2 \overset{\Delta}{=} G_{attr}. \quad (3)$$

Каждая вершина n графа содержит множество атрибутов:

$$A^n = \{A_1, A_2, \dots, A_K\}, \quad (4)$$

где K является общим количеством атрибутов вершины n графа.

Для обозначения принадлежности атрибута к вершине или ребру графа, мы будем использовать верхние индексы, например. A^n_k – k -й атрибут n -й вершины.

Граф M^2 определяет структуру модели, то есть возможный способ соединения экземпляров вершин посредством экземпляров ребер. Реализация данного принципа на уровне метамодели означает введение двух специальных атрибутов ребра: *субъекта* и *объекта* отношения, определяющих возможные типы вершин, которые может соединять данное ребро.

Модель M является графом, содержащим экземпляры вершин и ребер M^2 :

$$M = (N_{inst}, E_{inst}). \quad (5)$$

На уровне модели атрибут определяется как множество из трех элементов: имя, тип, значение (Name, Type, Value).

$$A = \{N, T, V\}. \quad (6)$$

Например, атрибут "скорость" объекта автомобиль определяется как («скорость», «целое», «100»).

Обязательным атрибутом всех объектов является имя. Этот атрибут необходим для однозначной *идентификации* объекта. Идентификация применяется для получения значений атрибутов объекта, например, может быть использована импликация:

$$(Entity.Name=Car) \rightarrow (Car.Speed.Value=100)$$

Значение имени объекта не должно меняться в течение жизненного цикла модели.

Заметим, что в рамках теории множеств можно определить некоторые другие важные понятия ПрО. Например, *состояние* можно рассмотреть как множество всех значений атрибутов объектов модели. Последовательность состояний определяет *поведение* модели и т.д.

Поскольку основанная на теории графов мета-метамодель может быть произведена из теории множеств, последняя может быть определена как мета-мета-метамодель ПрО. Однако данные рассуждения выходят за пределы DSMd подхода. Следуя DSMd, мы ограничиваем наше обсуждение тремя уровнями абстрагирования.

Заметим, что являются возможными и другие определения модели, метамодели и мета-метамодели, например, мы можем породить метамодель с такой базовой абстракцией, как вектор. Свойства таких метамоделей будут исследованы в наших следующих статьях.

Моделирование методологии. Методология определяется нами как упорядоченный набор методов, которые могут быть применены к онтологической модели с целью решения задач рассматриваемой ПрО. Вообще говоря, метамодель методологии – это любой формализм, который является частью ядра математической теории, используемой в качестве метамодели онтологической модели ПрО.

Основываясь на определении метамодели онтологии как графа (2), методология может быть определена как множество методов обработки и преобразования графов онтологий.

В пределах данного определения мы можем дать следующую классификацию методов:

- наложение ограничений на структуру графа (например, условий добавления или удаления вершин и ребер графа);
- определение различных маршрутов обхода графа, обладающих заданными свойствами (например, минимального пути);
- выделение деревьев в графах;
- отображение различных графов онтологий и т.д.

Построенная таким образом методология использовалась нами для решения задач над онтологическими моделями, отражающими структуру программных систем [12]. В данном подходе методология определяла структуру решения задачи, что, вообще говоря, может использоваться в случае достаточной формализованности ПрО. Однако, как было замечено нами выше, существующие методологии моделирования весьма далеки от математически точного определения.

Для таких ПрО целесообразность DSMd подхода состоит в порождении графических нотаций, а также формулировке правил, накладывающих ограничения на процесс разработки системы. Следующие разделы статьи иллюстрируют данные подходы.

Использование DSMd для порождения графических нотаций. В пределах системной инженерии существует несколько методологий и соответствующих им графических нотаций: диаграммы сущность-связь (Entity-Relationship Diagrams, ERD) [13; 14], диаграммы функционального моделирования (Structured Analysis and Design Technique, SADT) [15], диаграммы потоков данных (Data-Flows Diagrams, DFD) [16], OOM [9] с UML [17] и т.д.

Заметим, что использование методологии сводится иногда только лишь к применению соответствующей графической нотации. В этом случае порождение методологии как DSMd означает разработку соответствующей графической системы обозначений.

Фактически, все существующие в системной инженерии графические нотации могут быть произведены на основе графов. Это является следствием того факта, что граф позволяет осуществить декомпозицию ПрО наиболее привычным для человека способом: в объекты (вершины) и их зависимости (ребра). Иным преимуществом является возможность выделения иерархических древоподобных структур и др.

Таким образом, задача порождения ERD как DSMd не является сложной. Фактически, ERD нотация один к одному соответствует основанному на теории графов подходу DSMd. В ERD сущность обладает множеством атрибутов, включающим также его уникальное имя (идентификатор). Зависимость определяется как соотношение или ассоциация между отдельными сущностями ERD.

Для порождения ERD как DSMd, мы определяем ERD-сущность как вершину графа, а ERD-отношение как ребро (что собственно и составляет метамодель ERD). DSMd предоставляет возможность добавления специфичных для ПрО атрибутов сущностей. Для графического обозначения вершин и ребер диаграмм ER используются библиотека графических символов.

Однако заметим, что применимость ERD подхода состоит главным образом в проектировании баз данных [13; 14]. DSMd может быть использован для порождения более общего OOM подхода.

OOM рассматривает ПрО (или будущую систему) как множество взаимосвязанных объектов. Объект определяется как часть действительности, имеющая определенные свойства и поведение.

Диаграммы ER также используются в контексте OOM. Однако самой популярной является UML [17] нотация, имеющая 14 типов диаграмм (для UML v.2.3). Все эти типы UML диаграмм могут быть порождены как DSMd. Их отличия состоят только в графических обозначениях и атрибутах вершин и ребер.

Приведем как пример диаграмму классов UML (рис. 1):

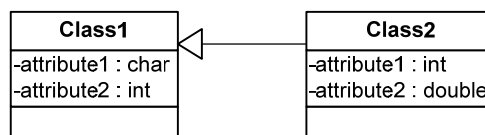


Рис. 1. Пример UML диаграммы классов

Однако DSMd подход позволяет не только породить графические нотации как то ERD или же UML, но и определить процесс моделирования ПрО. Следующие разделы статьи объясняют этот подход.

Моделирование методологии разработки систем. В наших предыдущих статьях (см., например, [21]) была определена методология разработки систем (Systems Development Methodology, SDM). Рассмотрим порождение SDM как DSMd. Базовыми понятиями SDM являются требование, спецификация, задача разработки, задача тестирования, задача валидации, задача верификации и др. Определения этих понятий были даны в [21].

Эти понятия имеют атрибуты и связаны отношениями, иными словами, теория графов также может использоваться в качестве метамодели SDM. Методы теории графов используются нами для выделения различных деревьев в графах онтологий построенных при помощи SDM моделей ПрО (например, зависимостей понятий).

Методологию SDM мы определяем как *формализм, управляющий процессом разработки системы*. Вообще говоря, методология SDM состоит в создании графа онтологической модели будущей системы и определении различных способов его обхода. Процесс построения онтологической модели есть создание экземпляров (*инстанциация*) абстрактных понятий метамодели (т.е. требований, спецификаций, задач выполнения и т.д.) и связывание их отношениями, специфичными для ПрО.

Порядок процесса разработки системы определяется логическими условиями, положенными на величины атрибутов экземпляров понятий. Например, все понятия SDM имеют атрибут статус (*status*) с набором возможных значений «в работе» («*in work*»), «одобрено» («*approved*»), «не применимо» («*not applicable*»). Связь между понятиями требования (*requirement*) и спецификации (*specification*) есть

логическая импликация:

$$\forall((Requirement.Status = Approved) \vee (Requirement.Status = Not applicable)) \\ \rightarrow Specification.Status = Approved$$

То есть спецификация может быть одобрена, если соответствующие требования были одобрены (или же не применимы). Таким образом, переход к следующему уровню определения системы (уровень спецификаций) возможен только после одобрения предыдущего (уровень требований).

Такой подход есть не что иное, как определение возможных состояний онтологической модели системы. Иными словами, модель будущей системы мы рассматриваем как конечный автомат. Другая особенность DSMd – связывание декларативных условий с императивными действиями. Если формула истина, вызывается соответствующий условию метод (например, устанавливающий значение атрибута Status в "Approved").

Порождение методологии структурного моделирования. Рассмотрим применимость DSMd подхода на примере порождения методологии структурного моделирования.

Диаграммы структурного моделирования были созданы в середине 1960-х, когда Дуглас Т. Росс предложил специальную технику моделирования SADT (Structured Analysis and Design Technique). Позже SADT стала основой для методологии IDEF [18]. Далее в 1981 был создан стандарт IDEF0 (Icam DEFinition) в рамках программы интеграции компьютерных и промышленных технологий ICAM (Integrated Computer Aided Manufacturing) [19].

Методология IDEF-SADT предоставляет набор методов, принципов и процедур для разработки функциональных моделей систем в любой ПрО. Функциональная модель SADT отражает структуру процессов как системы, так и ее отдельных подсистем. IDEF рассматривает систему как множество функций, которые преобразовывают входные в выходные данные.

Для создания методологии IDEF-SADT каждый элемент онтологической модели рассматривается нами как процесс. Процесс принимает участие (или используется) в выполнении некоторой функции или операции (преобразования, обработки, формирования и т.д.).

Функция является логической композицией операций (действий), которые преобразуют вход в выход. Последовательность взаимосвязанных входов и выходов функций составляет процесс. Функции могут также генерировать объекты любой природы. Вообще говоря, функции могут выполняться в любой последовательности (например, циклический). Порядок выполнения функций в нашем подходе имеет структуру графа. Такой порядок зависит от различных условий, как, например, события, происходящие в окружающей среде.

События вызывают выполнение функций, которые, в свою очередь, изменяют условия и формируют новые события, пока процесс не будет завершен. Таким образом, фиксация последовательности событий есть также один из способов описания выполнения процесса.

Структурный системный анализ (SSA) [20] есть метод моделирования систем, который начинается с наиболее общего описания с последующей детализацией отдельных аспектов свойств и поведения системы.

Ограничения SSA становятся видимыми, когда необходимо детализировать представление модели системы, например, кроме статических отношений показать поведение или же функционирование отдельных узлов системы. Для этих целей, в пределах SSA используются диаграммы потоков данных DFD.

Для порождения структурной методологии сначала представим в форме графов наиболее общие и абстрактные функции модели системы. Эти онтологии должны иметь ограниченное число узлов на каждом уровне иерархии, отражающие только наиболее существенные элементы системы.

Специфической особенностью порождения структурного подхода является декомпозиция системы в *функциональные* подсистемы. Эта декомпозиция итеративно применяется к подсистемам, пока они не становятся достаточно простыми, чтобы быть смоделированными. Такие подсистемы есть вершины графов предложенной онтологической модели.

В этом случае модель сохраняет целостность, в которой все подсистемы (вершины) связаны ребрами, отражающими отношения ПрО. Заметим, что при разработке системы снизу вверх, то есть от отдельных элементов к целой системе, ее целостность может быть потеряна.

Вместе с декомпозицией системы в вершины (подсистемы) и ребра (функциональные зависимости) используется метод иерархического упорядочивания. Это означает упорядочивание элементов системы в древовидные структуры с последовательной детализацией на каждом уровне иерархии.

Вообще говоря, система декомпозируется в множество подсистем, представленных в форме "черных ящиков" с множеством входов и выходов. Такая декомпозиция со следующей организацией этих подсистем в иерархические древовидные структуры есть основной метод методологии структурного моделирования.

Кроме того, моделирование SSA требует разработки следующих диаграмм:

- *объектной структуры*, отражающей архитектуру системы;
- *функциональной структуры*, отражающей действия и взаимодействия объектов;
- *управляющей структуры*, отражающей поведение системы.

Обратим также внимание на основное различие между структурной и объектной методологией, которое состоит в способе объединения функций и данных. В ООМ данные и методы представляют единство (т.н. принцип *инкапсуляции*). Однако, структурная и объектная методология не являются

семантически противоположными и могут быть объединены в единую методологию при помощи DSMd. Эту задачу мы оставляем для наших будущих исследований.

Выводы. В статье рассмотрены принципы разработки и применения предметно-ориентированных методологий (DSMd). Целесообразность DSMd подхода состоит в теоретической и практической возможности разработки методологий, наиболее полно соответствующих запросам ПрО (предприятия, проекта, технологии и др.).

DSMd подход основан на методологии предметно-ориентированного моделирования (DSM). Отличие состоит в определении специального механизма (*метамодели*), который позволяет пользователю создавать не только *модели* ПрО (как в DSM), но также и предметно-ориентированные методологии.

Метамодель методологии – формализм, являющийся частью ядра математической теории, используемой в качестве метамодели для построения онтологической модели ПрО. Рассмотрена возможность применения теории графов в качестве метамодели для порождения методологий ПрО.

Наши будущие исследования будут посвящены дальнейшей разработке и формализации метамоделей методологий ПрО. Это позволит расширить классы задач, решаемых в пределах DSMd. Отдельно, предметом наших исследований будет разработка методологии стандартизации систем.

Литература

1. Ajantha Dahanayake. Computer-Aided Method Engineering: Designing CASE Repositories for the 21st Century. – IGI Global. – 2001. – 252 p.
2. Ali Niknafs and Raman Ramsin. Computer-Aided Method Engineering: An Analysis of Existing Environments // LNCS. – Springer. – Volume 5074. – 2008. – 525-540 pp.
3. Jolita Ralyte and Sjaak Brinkkemper. Situational Method Engineering: Fundamentals and Experiences: Proceedings of the IFIP WG 8.1 Working Conference, 12-14 September 2007, Geneva, Switzerland. – Springer US. – 380 p.
4. Steven Kelly and Juha-Pekka Tolvanen. Domain-Specific Modeling: Enabling Full Code Generation. Wiley-IEEE Computer Society Pr. – 2008. – 427 p.
5. Richard C. Gronback. Eclipse Modeling Project: A Domain-Specific Language (DSL) Toolkit. Addison-Wesley Professional. – 2009. – 736 p.
6. <http://en.wikipedia.org/wiki/Ontology>
7. Gruber T.R. A translation approach to portable ontologies. Knowledge Acquisition, 5 (2). 1993. – pp. 199-220.
8. <http://owl.man.ac.uk/factplusplus/>
9. Grady Booch, Robert A. Maksimchuk, Michael W. Engel, and Bobbi J. Young. Object-Oriented Analysis and Design with Applications (3rd Edition). – Addison-Wesley Professional. – 2007. – 720 p.
10. Kari Smolander Kalle Lyytinen Veli-Pekka Tahvanainen Pentti Marttiin MetaEdit: a flexible graphical environment for methodology modelling // Proceedings of the third international conference on Advanced information systems engineering. Trondheim, Norway. – 1991. – Pages: 168 – 193.
11. <http://plone.org/>
12. Межуев В. И. Предметно-ориентированное моделирование распределенных параллельных приложений реального времени В. И. Межуев // Системи обробки інформації. – 2010. – Вип. 5 (86). – С. 98 – 103.
13. Sikha Bagui and Richard Earp. Database Design Using Entity-Relationship Diagrams (Foundations of Database Design). Auerbach Publications. – 2003. – 264 p.
14. Thalheim B. Entity-Relationship Modeling: Foundations of Database Technology. – Springer Berlin Heidelberg. – 2010. – 640 p.
15. David A. Marca and Clement L. McGowan. IDEF0 and SADT: A Modeler's Guide. – OpenProcess, Inc. – 2005. – 392 p.
16. DiCerto J. J. Planning and preparing data-flow diagrams. Hayden Book Co. – 1964. – 90 p.
17. Russ Miles and Kim Hamilton. Learning UML 2.0. – O'Reilly Media. – 2006. – 288 p.
18. <http://www.idef.com/>
19. <http://www.icam.com>
20. Introduction to Methodologies and SSADM. <http://www.comp.glam.ac.uk/pages/staff/tdhutchings/chapter4.html>
21. Vitaliy Mezhujev, Eric Verhulst, and Bernhard H.C. Spath. Interacting Entities Modelling Methodology for Robust Systems Design // Papers of the Second International Conference on Advances in System Testing and Validation Lifecycle. – CPS publishing. – 2010.

Надійшла 16.11.2010 р.

ТЕОРИЯ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ: НОВЫЙ МЕТОД ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ НАРАБОТКИ НА МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ ОТКАЗ СООБЩЕНИЕ 2

У повідомленні 2 описано метод прогнозування і визначення часу наробітку засобу вимірювань на метрологічну відмову, який названий нами T-методом динамічної нелінійної регресії. Розглянуті питання та особливості прогнозування і визначення часу наробітку на метрологічну відмову за результатами проведення третьої та наступних повірок.

Представляет интерес для ученых-метрологов, аспирантов и фахівців.

In the message 2 the method of forecasting and definition of time of an operating time of a measuring apparatus on the metrological refusal named the T-method of dynamic nonlinear regress is described. Questions and features of forecasting and definition of time of an operating time on metrological refusal by results of carrying out of the third and the subsequent checkings are considered.

Is of interest for scientists-metrologists, post-graduate students and experts.

Ключевые слова: прогнозирование, надежность.

Введение

В сообщении 1 [1] рассмотрены вопросы прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ (МО) по результатам проведения первых двух поверок. Приведены соответствующие уравнения измерений, условия учета и изменения знака переменной составляющей функции распределения (ФР) Кондратова – Вуйбулла. Отмечается необходимость определения ширины полосы неопределенности, прогнозного значения времени наработки на МО и другие аспекты. Ниже рассматривается процесс динамического прогнозирования и определения времени наработки на МО по результатам последующих поверок.

Объект исследований – процесс динамического прогнозирования и определения времени наработки средства измерений (СИ) на МО.

Предмет исследований – метод динамической нелинейной регрессии.

Целью работы является ознакомление ученых и специалистов с основными понятиями и определениями и сущностью нового метода прогнозирования и определения времени наработки СИ на МО [2], названного нами T-методом динамической нелинейной регрессии.

Результаты исследований

Проведение третьей поверки

Согласно плана последующая, третья, поверка СИ осуществляется в момент времени t_{x3} , равном 12 час. 00 мин. 07.11.2017 года, – см. рисунок). Практически значение момента времени t_{x3} определяется по уравнению числовых значений

$$\{t_{x3}\} = \{t_{xi}\} |_{\text{при } i=3} = (\{t_{x(i-1)}\} - \{t_{pi}\}) |_{\text{при } i=3} = \{t_{x2}\} + \{\Delta t_{п3}\}, \quad (1)$$

где $\{\Delta t_{п3}\}$ – значение интервала времени между второй и третьей поверками.

Результат (1) вычислений запоминается. Значения ширины полосы неопределенности интервала времени поверки с учетом погрешностей $+\Delta t_{п3в}$ и $-\Delta t_{п3н}$ равны:

$$\{\Delta t_{п3в}\} = \{\Delta t_{п3}\} + \{\Delta t_{п3в}\} \quad (2)$$

и

$$\{\Delta t_{п3н}\} = \{\Delta t_{п3}\} - \{\Delta t_{п3н}\}. \quad (3)$$

В общем случае

$$\{\Delta t_{п3}\} \neq \{\Delta t_{п2}\} \quad (4)$$

и

$$| \{+\Delta t_{п3в}\} | \neq | \{-\Delta t_{п3н}\} |. \quad (5)$$

Определение значений параметров прогнозной ФР проводится аналогично описанным в [1] образом в моменты времени поверки СИ t_{x3} , t_{x4} и т.д. Если при k -й поверке получено значение $T_{\text{ноп}} = (0,8 - 0,9)T_{\text{но}}$, то решается вопрос о дроблении оставшегося интервала времени на более мелкие, например, соответствующие $\Delta t'_{п} = 1$ год.

Опишем одну из особенностей предложенного метода определения времени наработки на МО,

связанного с понятием „условного промаха”, на примере третьей поверки СИ. Под «условным промахом» будем понимать реальный результат поверки СИ, который «проверяется» только при последующей поверке.

При проведении третьей поверки в установленный момент календарного времени t_{x3} образцовая ФВ x_0 вновь многократно измеряется поверяемым СИ, а полученные результаты статистически обрабатываются. В результате получают:

- среднее значение (и соответствующий знак) погрешности

$$\xi_{x3} = \overline{\xi_{x3}(t_{x3})} = \overline{\Delta_{03}} / x_0, \quad (6)$$

где $\overline{\Delta_{03}}$ – средняя по значению абсолютная погрешность измерения;

верхнюю ($\Delta\xi_{3в}$) и нижнюю ($\Delta\xi_{3н}$) полосы неопределенности относительной погрешности ξ_{x3} на момент времени t_{x3} , т.е.

$$\Delta\xi_{3в} = k_{33} \sigma_{в3}[\Delta_{03}] / x_0 = k_{33} \xi_{\sigma_{в3}} \quad (7)$$

и

$$\Delta\xi_{3н} = k_{33} \sigma_{н3}[\Delta_{03}] / x_0 = k_{33} \xi_{\sigma_{н3}}, \quad (8)$$

где k_{33} – коэффициент запаса ($1 \leq k_{33} \leq 1,42$);

$$\sigma_{в3}[\Delta_{03}] = + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left((x_{oi} - \overline{x_{03}})_{>0} \right)^2}{n(n-n^0)}} \quad (9)$$

- среднеквадратическое отклонение результатов измерений при положительном знаке отклонений $x_{oi} - \overline{x_{03}}$;

$$\sigma_{н3}[\Delta_{03}] = + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \left((x_{oi} - \overline{x_{03}})_{<0} \right)^2}{n(n-n^0)}}; \quad (10)$$

- среднеквадратическое отклонение результатов измерений при отрицательном знаке отклонений $x_{oi} - \overline{x_{03}}$; $\overline{x_{03}}$ – среднее значение результата измерения образцовой ФВ x_0 ; $\sigma_{в3}$ и $\sigma_{н3}$ – верхнее и нижнее среднеквадратические отклонения результатов измерений на момент времени t_{x3} .

Погрешность ξ_{x3} (6) измерения образцовой ФВ x_0 в момент времени t_{x3} проведения третьей поверки может принимать разные случайные значения и знаки. Предположим, что $\xi_{x3} = 0,01 \pm 0,15$ (см. рисунок, точка D на кривой 4).

Далее в t_{x3} -й момент времени (после проведения первых двух поверок) определяется и запоминается знак и значение приращения

$$\Delta\xi_{x32} = \overline{\xi_{x3}(t_{x3})} - \overline{\xi_{x2}(t_{x2})}. \quad (11)$$

Затем анализируются и учитываются значения и знаки приращений [1], полученные в моменты времени t_{x0} и t_{x2} (при предыдущих поверках):

$$\Delta\xi_{x20} = \overline{\xi_{x2}(t_{x2})} - \overline{\xi_{x0}(t_{x0})} \quad (12)$$

и

$$\Delta\xi_{x30} = \overline{\xi_{x3}(t_{x3})} - \overline{\xi_{x0}(t_{x0})}, \quad (13)$$

а также знак текущего приращения $\Delta\xi_{x32}$ (11), полученного при третьей поверке.

Данные значения и знаки сравниваются между собою и решается вопрос об изменении знака (и направления) переменной составляющей ФР Кондратова – Вейбулла.

Допустим, что все знаки полученных приращений (11), (12) и (13) являются положительными и имеет место условие $\Delta\xi_{x30} \geq \Delta\xi_{x20}$. В этом случае положительный знак переменной составляющей ФР также не изменяется.

После этого определяется возможное (теоретическое или прогнозное) значение погрешности согласно уравнению измерений

$$\xi_{T3} = S_{\xi} \cdot \left(\frac{t_{x3}}{T_{HO2}} \right)^{k_{\phi 2} - k_{\phi 2}^0} \exp \left[- \left(\frac{t_{x3}}{T_{HO2}} \right)^{k_{\phi 2} - k_{\phi 2}^0} \right] + \xi_{x0}, \quad (14)$$

которое имело бы место в момент времени t_{x3} при прогнозных значениях времени наработки на МО T_{HO2} (в годах) и значении параметра формы $k_{\phi 2}$, полученных при проведении предыдущей (второй) поверки.

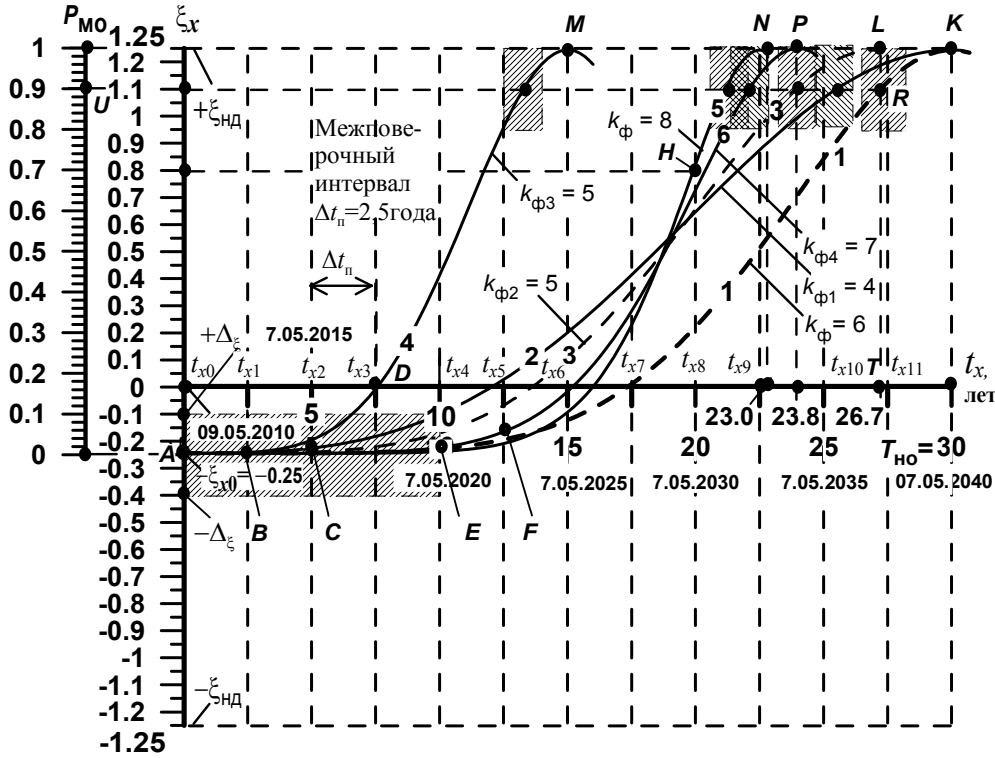


Рис. 1. Графический портрет ВФ-модели МО СИ, поясняющий суть метода определения времени наработки на МО (по результатам шести поверок)

Полученное значение теоретической погрешности ξ_{T3} (12) запоминается и сравнивается с практически полученным в момент времени t_{x3} средним значением относительной погрешности $\overline{\xi_{x3}}$ (6). Для этого определяются знак и абсолютное значение разности погрешностей измерения, т.е.

$$\Delta \xi_{xT3} = \overline{\xi_{x3}}(t_{x3}) - \xi_{T3}(t_{x3}) = \overline{\xi_{x3}} - \xi_{T3}. \quad (15)$$

С учетом знаков разностей

$$\Delta \xi_{xT2} = \overline{\xi_{x2}}(t_{x2}) - \xi_{T2}(t_{x2}) = \overline{\xi_{x2}} - \xi_{T2} \quad (16)$$

и

$$\Delta \xi_{xT3} \cong 0 \pm \Delta \xi_{xT2} \quad (17),$$

значение параметра формы $k_{\phi 2}$ и времени наработки на МО T_{HO2} поочередно изменяются до получения наиболее вероятных (с некоторой погрешностью) числовых значений $\{k_{\phi 3}\}$ и $\{T'_{HO3}\}$. Критерием достоверности полученных результатов, как и при проведении предыдущих поверок, является $\Delta \xi$ -критерий согласия проф. Кондратова, согласно которому необходимо обеспечить равенство нулю значений разностей (16) и (15).

При указанных параметрах прогнозной ФР значения разностей $\Delta \xi_{xT2}$ (16) и $\Delta \xi_{xT3}$ (15), станут равными нулю (т.е. $\{\Delta \xi_{xT2}\} \cong 0 \pm \{\Delta \xi_{xT2}\}$ и $\{\Delta \xi_{xT3}\} \cong 0 \pm \{\Delta \xi_{xT3}\}$) в пределах заданных значений погрешностей $\pm \Delta \xi_{xT2}$ и $\pm \Delta \xi_{xT3}$, т.е. в случае, когда верхняя и нижняя полосы неопределенности значений разностей $\Delta \xi_{xT2}$ и $\Delta \xi_{xT3}$ равны между собою: $\{\Delta \xi_{xT2B}\} = \{|\Delta \xi_{xT2H}|\} = \{\Delta \xi_{xT2}\}$ и $\{\Delta \xi_{xT3B}\} = \{|\Delta \xi_{xT3H}|\} = \{\Delta \xi_{xT3}\}$.

При достижении равенства нулю третьей разности $\Delta \xi_{xT3}$ ($\{\Delta \xi_{xT3}\} = 0$ (17)), – за счет изменения времени наработки на МО, проверяется выполнение условия равенства нулю второй разности $\Delta \xi_{xT2}$ (16)

(т.е. $\{\Delta\xi_{xT2}\} = 0$?). При ее невыполнении, т.е. при $\{\Delta\xi_{xT2}\} \neq 0$ и при полученном значении времени наработки на МО, изменяется значение параметра формы $k'_{\phi3}$ до наиболее вероятного (действительного) значения, например, $k_{\phi3} = 5$, при котором значение второй разницы (16) станет равным нулю ($\{\Delta\xi_{xT2}\} = 0$). Необходимо заметить, что значение параметра формы $k_{\phi3}$ устанавливается с погрешностью $+\Delta k_{\phi3в}$ или $-\Delta k_{\phi3н}$.

При выполнении указанных условий подтверждается гипотеза о согласии (равенстве) значений погрешностей, при которых прохождение прогнозной кривой ФР с новыми значениями параметров k_{ϕ} и $T_{но}$ осуществляется через три точки, соответствующие погрешностям измерений в моменты времени t_{x0} , t_{x2} и t_{x3} .

Наиболее вероятное (действительное) значение времени $T_{но3}$ ($\{T_{но3}\} = \{T_{но3}(t_{x3})\} = \{T_{но2}\} \pm \{\Delta T_{но3}\}$) наработки на МО (на момент времени t_{x3} ($\{t_{x3}\} = \{t_{x2}\} + \{\Delta t_{x3}\}$)) определяется по полученному в неявном виде уравнению измерений

$$\begin{aligned} & \left(\frac{t_{x2} + \Delta t_{x3}}{T_{но2} \pm \Delta T_{но3}} \right)^{k_{\phi2} - k_{\phi2}^0 \pm \Delta k_{\phi3}} - (k_{\phi2} - k_{\phi2}^0 \pm \Delta k_{\phi3}) \cdot \ln \left(\frac{t_{x2} + \Delta t_{x3}}{T_{но2} \pm \Delta T_{но3}} \right) = \\ & = \left(\frac{t_{x2}}{T_{но2}} \right)^{k_{\phi2} - k_{\phi2}^0} - (k_{\phi2} - k_{\phi2}^0) \ln \left(\frac{t_{x2}}{T_{но2}} \right) - \ln \frac{\xi_{x3} - \xi_{x0}}{\xi_{x2} - \xi_{x0}} \end{aligned} \quad (18)$$

или

$$\left(\frac{t_{x3}}{T_{но3}} \right)^{k_{\phi3} - k_{\phi2}^0} - (k_{\phi3} - k_{\phi2}^0) \cdot \ln \left(\frac{t_{x3}}{T_{но3}} \right) = \left(\frac{t_{x2}}{T_{но2}} \right)^{k_{\phi2} - k_{\phi2}^0} - (k_{\phi2} - k_{\phi2}^0) \ln \left(\frac{t_{x2}}{T_{но2}} \right) - \ln \frac{\xi_{x3} - \xi_{x0}}{\xi_{x2} - \xi_{x0}}, \quad (19)$$

где Δt_{x3} – интервал времени до начала третьей поверки; $k_{\phi2}^0 = 1$; $k_{\phi3}^0 = 1$.

Полученное из равенств (18) или (19) значение времени наработки на МО, равное, например, $T_{но3} = 15$ лет, запоминается. Необходимо учитывать, что в общем случае $T_{но3}$ также определяется с учетом погрешностей $\Delta_{t_{п3в}}$ и $\Delta_{t_{п3н}}$ определения момента времени t_{x3} .

После определения значений $k_{\phi3} = 5$ и $T_{но3} = 15$ лет строится кривая ФР на графическом портрете ВФ-модели МО (рисунок, кривая 4), проходящая через рабочую точку А, соответствующую погрешности $\xi_{x0}(t_{x0}) = -0,25 \pm 0,15$, рабочую точку С, соответствующую погрешности $\xi_{x2}(t_{x2}) = -0,23 \pm 0,15$, и рабочую точку D, соответствующую погрешности $\xi_{x3} = 0,01 \pm 0,15$ (рисунок, кривая 4 при $k_{\phi2} = 5$ и $T_{но2} = 15$ лет).

Согласно полученным данным, МО СИ может наступить уже после 13,3 – 15,0 лет его использования (эксплуатации). Эти данные существенно отличаются от полученных при предыдущей поверке. Поскольку до наступления МО имеется в запасе интервал времени соответствующий двум-трем поверкам, то МО не проявится еще в течение 5-6 лет. За это время будет проведена четвертая поверка, которая внесет ясность в результат третьей поверки.

При проведении третьей поверки определяется также значение верхней допустимой границы $T_{нов}(t_{x3})$ полосы неопределенности значений времени наработки на МО. Определение ее значения

$$\{T_{но3в}\} = \{T_{но3}\} + \{\Delta T_{но3в}\} \quad (20)$$

осуществляется с учетом знака полученных значений погрешностей времени $T_{но2}$ наработки на МО, параметра формы, моментов времени проведения второй поверки и верхней границы полосы неопределенности погрешности ξ_{x0} , т.е. $\Delta T_{но3в}$, $\Delta k_{\phi3в}$, $\Delta_{t_{п3в}}$ и разности $\Delta \xi_{дн0}$.

Значение верхней допустимой границы $T_{но3в}$ полосы неопределенности определяется по уравнению измерений

$$\begin{aligned} & \left(\frac{t_{x3} + \Delta t_{п3в}}{T_{но3в}} \right)^{(k_{\phi3} - k_{\phi2}^0 + \Delta k_{\phi3в})} - (k_{\phi3} - k_{\phi2}^0 + \Delta k_{\phi3в}) \cdot \ln \left(\frac{t_{x3} + \Delta t_{п3в}}{T_{но3в}} \right) = \\ & = \left(\frac{t_{x2}}{T_{но2}} \right)^{k_{\phi2} - k_{\phi2}^0} - (k_{\phi2} - k_{\phi2}^0) \ln \left(\frac{t_{x2}}{T_{но2}} \right) - \ln \frac{\xi_{x3}(t'_{x3}) - (\xi_{x0}(t_{x0}) + \Delta \xi_{дв0})}{\xi_{x2}(t_{x2}) - \xi_{x0}(t_{x0})}, \end{aligned} \quad (21)$$

где $T_{\text{нозв}} = T_{\text{ноз}} + \Delta T_{\text{нозв}}$ – верхняя допустимая граница полосы неопределенности; $\overline{\xi_{x3}(t'_{x3})}$ – погрешность результата многократных измерений образцовой ФВ x_0 в момент времени t'_{x3} ($\{t'_{x3}\} = \{t_{x3}\} + \{\Delta t_{\text{пзв}}\}$).

Далее, как и при второй поверке, определяется и запоминается значение нижней допустимой границы $T_{\text{нозн}}(t_{x3})$ полосы неопределенности значений времени наработки на МО, т.е.

$$\{T_{\text{нозн}}\} = \{T_{\text{ноз}}\} - \{\Delta T_{\text{нозн}}\}. \quad (22)$$

Это значение определяется с учетом знака и значений абсолютных погрешностей $\Delta T_{\text{нозн}}$, $\Delta k_{\text{фзн}}$, $\Delta t_{\text{пзн}}$ и разности $\Delta \xi_{\text{дн0}}$ по уравнению измерений

$$\begin{aligned} & \left(\frac{t_{x3} - \Delta t_{\text{пзн}}}{T_{\text{нозн}}} \right)^{k_{\text{фз}} - k_{\text{ф2}}^0 - \Delta k_{\text{фзн}}} - (k_{\text{фз}} - k_{\text{ф2}}^0 - \Delta k_{\text{фзн}}) \cdot \ln \left(\frac{t_{x3} - \Delta t_{\text{пзн}}}{T_{\text{ноз}}} \right) = \\ & = \left(\frac{t_{x2}}{T_{\text{но2}}} \right)^{k_{\text{ф2}} - k_{\text{ф2}}^0} - (k_{\text{ф2}} - k_{\text{ф2}}^0) \ln \left(\frac{t_{x2}}{T_{\text{но2}}} \right) - \ln \frac{\overline{\xi_{x3}(t''_{x3})} - (\overline{\xi_{x0}(t_{x0})} - \Delta \xi_{\text{дн0}})}{\overline{\xi_{x2}(t_{x2})} - \overline{\xi_{x0}(t_{x0})}}. \end{aligned} \quad (23)$$

где $T_{\text{нозн}} = T_{\text{ноз}} - \Delta T_{\text{нозн}}$ – нижняя допустимая граница полосы неопределенности; $\overline{\xi_{x3}(t_{x3} - \Delta t_{\text{пзн}})}$ – погрешность результатов многократных измерений нормированной по значению ФВ x_0 в момент времени t''_{x3} ($\{t''_{x3}\} = \{t_{x3}\} - \{\Delta t_{\text{пзн}}\}$).

О значении ширины полосы неопределенности времени $T_{\text{ноз}}$ наработки на МО судят согласно уравнения числовых значений

$$\Delta T_{\text{ноз}} = T_{\text{нозв}}(t''_{x3}) - T_{\text{нозн}}(t'_{x3}). \quad (24)$$

Затем определяется значение приращения времени наработки на МО до верхней и нижней допустимых границ полосы неопределенности, соответственно:

$$\{\Delta T_{\text{нозв}}\} = \{T_{\text{нозв}}\} - \{T_{\text{ноз}}\} \quad (25)$$

и

$$\{\Delta T_{\text{нозн}}\} = \{T_{\text{ноз}}\} - \{T_{\text{нозн}}\}. \quad (26)$$

Полученные значения, $\{T_{\text{ноз}}\}$, $\{T_{\text{нозв}}\}$, $\{T_{\text{нозн}}\}$, $\{\Delta T_{\text{нозв}}\}$ и $\{\Delta T_{\text{нозн}}\}$ запоминаются.

Достаточно малое значение времени наработки на МО $T_{\text{ноз}} = 15$ лет (см. рисунок, кривая 4), полученное при проведении третьей поверки, обусловлено тем, что приращения погрешности $\Delta \xi_{x32} = \xi_{x3} - \xi_{x2}$ существенно изменилось. Однако, при проведении четвертой поверки оказалось, что значение погрешности $\xi_{x3} = 0,01 \pm 0,15$ является «условным промахом», поскольку на момент времени t_{x4} проведения четвертой поверки получено значение погрешности $\xi_{x4} = -0,24 \pm 0,15$ соизмеримое с погрешностью $\xi_{x2} = -0,22 \pm 0,15$ (рисунок, точка *E* на кривой 5). На момент времени t_{x4} значения параметров ФР составили: $k_{\text{ф4}} = 8$ и $T_{\text{но4}} = 23$ года.

После определения значений параметров $k_{\text{ф4}}$ и $T_{\text{но4}}$ строится прогнозная кривая ФР на графическом портрете ВФ-модели МО, проходящая через три точки: рабочую точку *A*, соответствующую погрешности $\xi_{x0}(t_{x0}) = -0,25 \pm 0,15$, рабочую точку *C*, соответствующую погрешности $\xi_{x2}(t_{x2}) = -0,23 \pm 0,15$, и точку *E*, соответствующую погрешности $\xi_{x4} = -0,24 \pm 0,15$ (см. рисунок, кривая 5 при $k_{\text{ф4}} = 8$ и $T_{\text{но4}} = 23$ года). Результат определения погрешности в момент времени t_{x3} проведения поверки принимается за условный промах.

Предположим, что при проведении 5-й поверки в момент времени t_{x5} получают, например, $\xi_{x5} = -0,17 \pm 0,15$ (см. точку *F* на рисунке, кривая 6). В соответствии с описанными операциями, определяются параметры ФР и через три точки (*A*, *E* и *F*) проводят кривую прогнозной ФР, вершина которой будет касаться прямой, соответствующей верхнему граничному значению погрешности $\xi_{\text{нд}}$ в точке *P*, соответствующей $T_{\text{но5}} = 23,8$ года (см. рисунок, кривая 6). Согласно предложенного метода точки *B* и *C* не учитываются.

Графический портрет ВФ-модели МО СИ для всех пяти моментов времени поверок прилагается к

документам на СИ. Он отражает реальную динамику значений параметров прогнозной ФР от поверки к поверке, в том числе и времени наработки на МО, и может быть использован для дальнейших исследований СИ на метрологическую надежность.

Процесс поверок аналогичным образом повторяется до момента времени, при котором $P_{\text{но}} = 0,9 \pm 0,1$, $\xi_{\text{хк}}(t_{\text{хк}}) = 0,9\xi_{\text{нд}}$ или $T_{\text{нок}} = 0,9T_{\text{но}}$.

Дальнейший процесс определения действительного значения $T_{\text{но}}$ требует пересмотра продолжительности интервалов времени между поверками.

После проведения всех поверок, полученные текущие значения погрешностей, времени наработки на МО, значения ширины полосы неопределенности и значения приращений времени наработки на МО до верхней и нижней границ документируются и запоминаются в базе знаний поверочной лаборатории.

Выводы

Впервые в мире описан запатентованный в Украине метод прогнозирования и определения времени наработки средства измерений на метрологический отказ, в основу которого положена синтезированная вероятностно-физическая модель метрологических отказов средств измерений, описываемая гибкой многопараметровой функцией распределения Кондратова – Вейбулла.

Показана возможность появления «условных промахов» при определении погрешности и времени наработки на метрологический отказ при проведении той или иной поверки. Их условность устанавливается только после проведения последующей поверки, анализа полученных данных и проведения кривой прогнозной функции распределения с новыми значениями параметров.

T-метод динамической нелинейной регрессии является эффективным и универсальным методом благодаря обеспечению высокой точности прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ. Он может быть реализован также при ВФ-моделях МО на основе функций распределения Кондратова – Коши, Кондратова – Лапласа и т.д.

Литература

1. Кондратов В.Т. Теория метрологической надежности: новый метод прогнозирования и определения времени наработки на метрологический отказ. Сообщение 1 / Кондратов В.Т. // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки, 2010. – № 4 – С. 138-148.

2. Пат. України на винахід № 90122 С2. Спосіб визначення часу наробітку на метрологічну відмову засобу вимірювання / Кондратов В.Т. / Бюл. №7, 2010.

Надійшла 20.11.2010 р.

УДК 004.42: 504 (477)

О.О. ЄФРЕМОВА, В.М. ДЖУЛІЙ, Л.Л. ГРАБОВСЬКА
Хмельницький національний університет

РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОЇ ПРОГРАМИ ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ БІОТЕСТУВАННЯ

Розроблена комп'ютерна програма обробки результатів біотестування, отриманих при використанні методів біотестування, що базуються на кількісній оцінці тест-відгуку. Дана програма дозволяє отримати не лише точні результати, а й діаграми тест-індексів, за якими можна дати оцінку впливу середовища, що досліджується на тест-організм.

The program of processing of results of biotesting is developed. Results of biotesting should be based on a quantitative estimation of the test response. The program allows to receive exact results, diagrams of test indexes on which it is possible to estimate influence of the investigated environment on a test-organism.

Ключові слова: біотестування, індекс токсичності, обробка результатів біотестування.

Вступ

Останнім часом все більшого поширення та застосування набуває біотестування, яке дає змогу отримати достовірну інформацію про стан досліджуваного середовища. При проведенні біотестування одним з головних аспектів отримання достовірної інформації є обробка результатів. Ця частина дослідження є найбільш трудомісткою та вимагає значної уваги та точності при проведенні. Саме для вирішення проблеми швидкості і точності обробки результатів біотестування і необхідна комп'ютерна програма.

Постановка задачі

Для отримання порівнюваних результатів за підсумками тестування розраховують індекс токсичності [1] для кожної тест-функції за формулою:

$$IT\Phi = (T\Phi_0 / T\Phi_k), \quad (1)$$

де $T\Phi_0$ – значення, що реєструється тест-відгуку в досліді;

$T\Phi_k$ – значення, що реєструється тест-відгуку у контролі.

Величина ІТФ змінюється від 0 до М, де М – будь-яка позитивна величина.

Середнє значення індексу токсичності для кожної проби розраховують за формулою:

$$IT = (IT\Phi_1 + IT\Phi_2 + \dots + IT\Phi_n) / n, \quad (2)$$

де $IT\Phi_1, IT\Phi_2, IT\Phi_n$ – індекси токсичності, розраховані для кожної тест-функції;
 n – кількість тест-відгуків, задіяних в експерименті для конкретної проби [2].

Проба вважається токсичною для даного тест-об'єкту, якщо величина тест-відгуку в досліді вірогідно нижче такої у контролі. Проби, що тестуються мають стимулюючі властивості, наприклад, прискорення розвитку, якщо величина тест-функції в досліді вірогідно вище такої у контролі.

Метою нашої роботи стало створення комп'ютерної програми для обробки результатів біотестування за вищевказаними формулами.

Результати та їх обговорення

Для прискорення обробки результатів, отриманих при біотестуванні, ми створили комп'ютерну програму – «Визначення індексу токсичності за результатами біотестування» [3]. Програма дає можливість швидко і зручно:

- розрахувати індекс токсичності будь-якого досліджуваного середовища,
- побудувати діаграми за значеннями індексу токсичності по пробах,
- побудувати діаграми динаміки індексів токсичності,
- побудувати діаграми за значеннями індексів токсичності за всіма тест-функціями,
- побудувати діаграми динаміки індексів токсичності за всіма тест-функціями.

Програма створена за допомогою мови програмування Delphi.

Програма здатна «вести діалог» з користувачем, що полегшує роботу з нею. Події в програмі ініціюються:

- діями користувача,
- повідомленнями, які надходять від системних або інших додатків,
- додатком, що використовується.

Головний інтерфейс програми «Визначення індексу токсичності за результатами біотестування» (перше діалогове вікно) зображено на рис. 1.

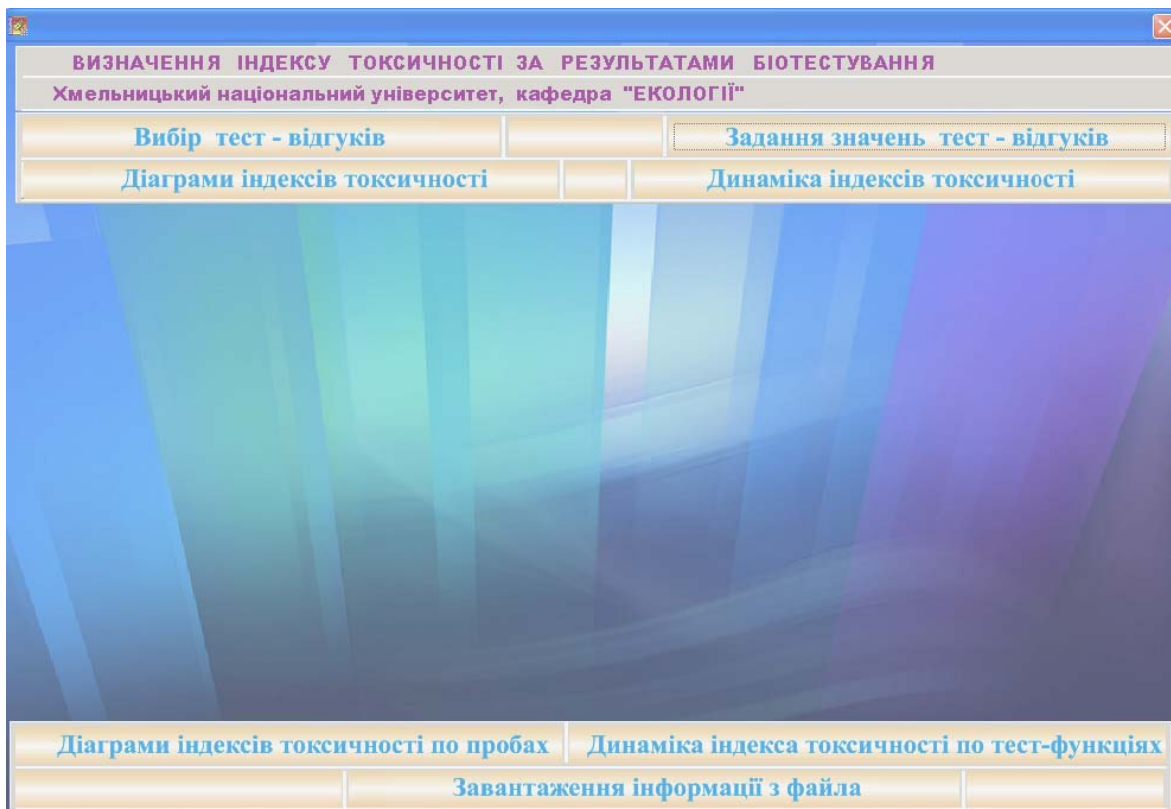


Рис. 1. Головний інтерфейс програми «Визначення індексу токсичності за результатами біотестування»

У верхній частині діалогового вікна розміщуються назва програми та установи, в якій створено програму. Також тут розміщені кнопки:

- «Вибір тест-відгуків», що призначена для відкриття діалогового вікна, в якому проводиться вибір тест-відгуків, що враховуються у відповідній методиці біотестування;
- «Задання значень тест-відгуків», за допомогою цієї кнопки відкривається діалогове вікно призначене для введення значень тест-відгуків;
- «Діаграми індексів токсичності», призначена для відкриття вікна, в якому за результатами

розрахунків будуються діаграми індексів токсичності за серією проб кожного досліджу;

- «Динаміка індексів токсичності», призначена для відкриття вікна, в якому за результатами розрахунків будуються діаграми динаміки індексів токсичності за відповідною пробою серії дослідів.

У нижній частині діалогового вікна розміщені кнопки:

- «Діаграми індексів токсичності по пробах», призначена для відкриття вікна, в якому автоматично будуються діаграми за значеннями індексів токсичності всіх врахованих тест-відгуків за кожною пробою ряду дослідів;

- «Динаміка індексу токсичності по тест-функціях», яка призначена для відкриття діалогового вікна, де автоматично будуються діаграми за кожним тест-відгуком відповідних проб ряду дослідів;

- «Завантаження інформації з файлу», призначена для відкриття діалогового вікна, в якому обирається файл із збереженими даними попередніх розрахунків. Така функція необхідна при перегляді проведених розрахунків, а також при їх корегуванні.

На початку роботи з програмою у діалогове вікно «Блокнот» (рис. 2) вводяться тест-відгуки, які автоматично заносяться у діалогове вікно «Вибір тест-відгуків». Такий підхід є зручним при обробці даних отриманих при біотестуванні за різними методиками, оскільки при розрахунках можливо обрати певний перелік тест-відгуків (властивий для певного тест-об'єкту та методики біотестування), або окремих тест-відгуків (рис. – 2).

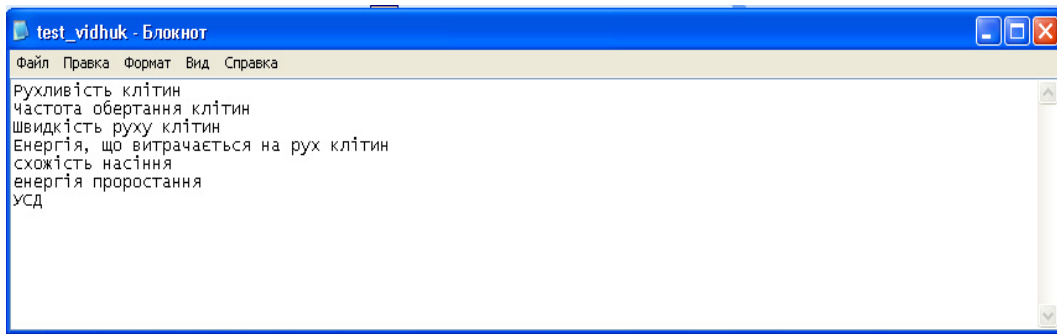


Рис. 2. Діалогове вікно «Блокнот»

Діалогове вікно «Вибір тест-відгуків» (рис. 3) дає можливість обрати тест-відгуки. Його дизайн зроблений у формі, знайомій користувачам по роботі з МО Accessse та LinuxBase. У вікні розміщено два поля: в лівому – тест-відгуки, які були записані у блокноті, в правому – тест-відгуки, що обрані для розрахунків. Для вибору тест-відгуку необхідно лівою клавішею миші клацнути на необхідну назву тест-відгуку, далі – на кнопку **>>**. Після чого обраний тест-відгук з'являється в правому полі. Кнопка **<<** призначена для повернення (наприклад, при невірному переміщенні у праве поле) обраного тест-відгуку у ліве поле («Тест-відгуки»). Після закінчення процедури вибору тест-відгуків необхідно лівою клавішею миші клацнути на кнопку **Ok**.

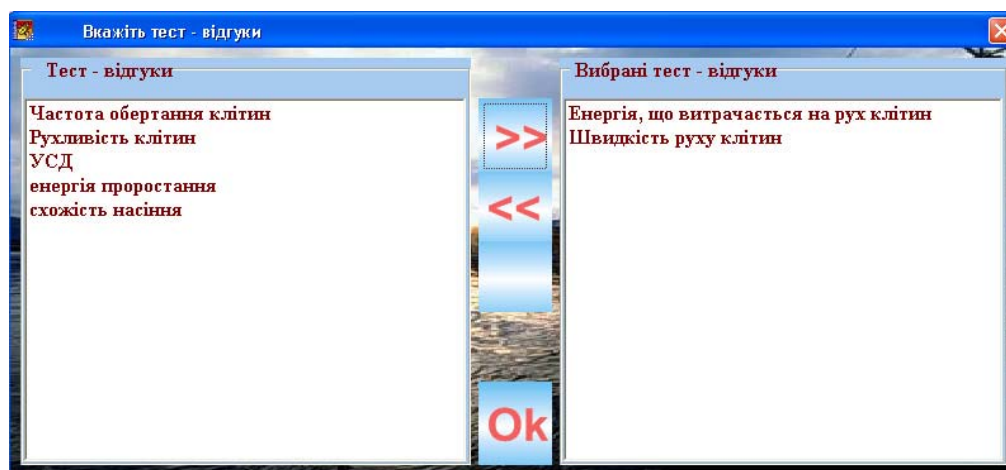



Рис. 3. Діалогове вікно «Вибір тест-відгуків»




Наступним кроком є занесення значень тест-відгуків, які були отримані при біотестуванні, у вікно «Задання значень тест-відгуків». При цьому спершу з'являється діалогове вікно «Вхідні дані» (рис. 4), в якому необхідно вказати кількість дослідів та кількість проб у кожному досліді. Після введення кількості необхідно лівою клавішею миші клацнути на кнопку  і одразу з'явиться наступне діалогове вікно

«Задання значень тест-відгуків».



Рис. 4. Діалогове вікно «Вхідні дані»

Далі заносяться дані результатів по кожному тест-відгуку у досліді (по кожній пробі) та у контролі. В лівому полі вікна знаходяться назви тест-відгуків, в правому заносяться значення тест-відгуків, які отримані в досліді та в контролі. Значення контролю автоматично зберігаються для наступних проб по кожному досліді (заносяться лише один раз, на початку введення даних досліді). В нижній частині діалогового вікна розташовані поля «ДОСЛІД» та «ПРОБА», в жовтих ячейках яких вводяться назви досліді та проб. Назва досліді автоматично зберігається до моменту введення всіх значень та назв проб даного досліді (саме для цього і були задані кількість дослідів та проб в досліді). Після введення останньої проби першого досліді, ячейка досліді з'являється пустою для введення назви наступного досліді і т.д. Значення тест-відгуків вводяться з точністю до двох або трьох знаків після коми. Програма автоматично переводить введені значення до 13 знаків після коми, що робить результати розрахунків максимально точними.

Кнопка  призначена для переходу до наступної проби (наступного досліді), кнопка  для повернення при необхідності до попереднього. Після введення всіх значень лівою клавішею миші необхідно клацнути на кнопку , після чого програма автоматично переходить до головного інтерфейсу для подальшої роботи. Значення, введені в цьому блоці автоматично зберігаються до кінця роботи з програмою.

Діалогове вікно «Задання значень тест-відгуків» показано на рис. 5.

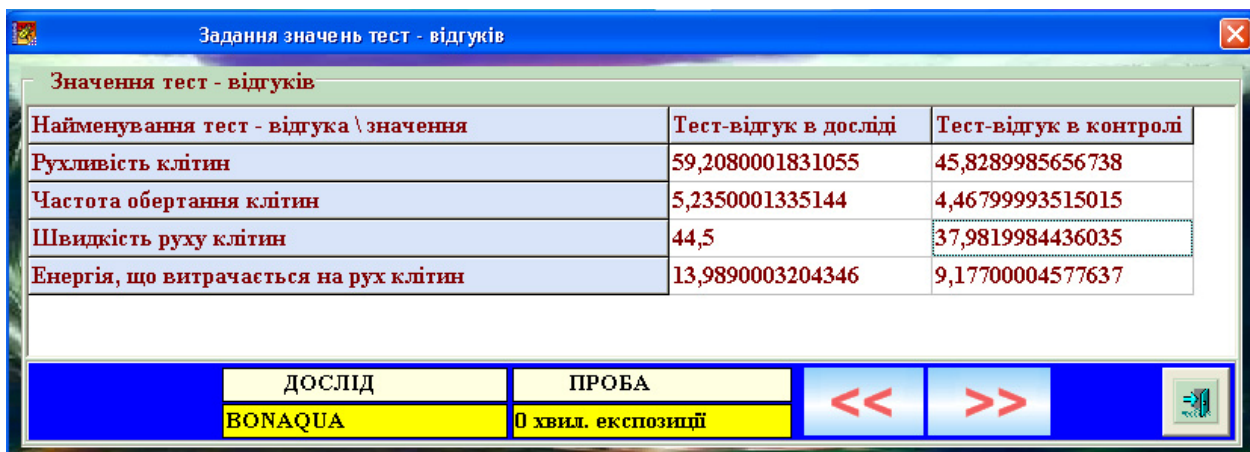






Рис. 5. Діалогове вікно «Задання значень тест-відгуків»

Після внесення вихідних даних програма проводить обрахунок індексу токсичності і виводить дані у вигляді діаграм (рис. 8). В нижньому полі вікон з діаграмами у вигляді таблиці представлені розраховані програмою значення індексів токсичності та назви відповідних проб. Значення індексу токсичності в контролі завжди дорівнює одиниці, тому на діаграмах значення індексу токсичності в контролі позначено червоною лінією, що полегшує аналіз отриманих результатів.

У верхньому полі вікна кнопки  та  призначені для перегляду діаграм індексів токсичності відповідно наступного або попереднього досліді (проби, тест-відгуку).

По закінченні роботи з вікнами діаграм потрібно клацнути мишею на кнопку , і тоді вікно закриється і програма вийде у головний інтерфейс, або кнопку , тоді програма запитає про збереження інформації (рис. 6)

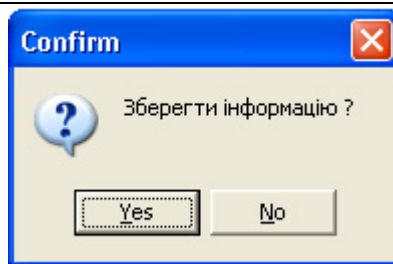
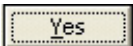


Рис. 6. Вікно збереження інформації

При клацанні лівою клавішею миші на кнопку , висвітлюється вікно для збереження діаграм (рис. 7).

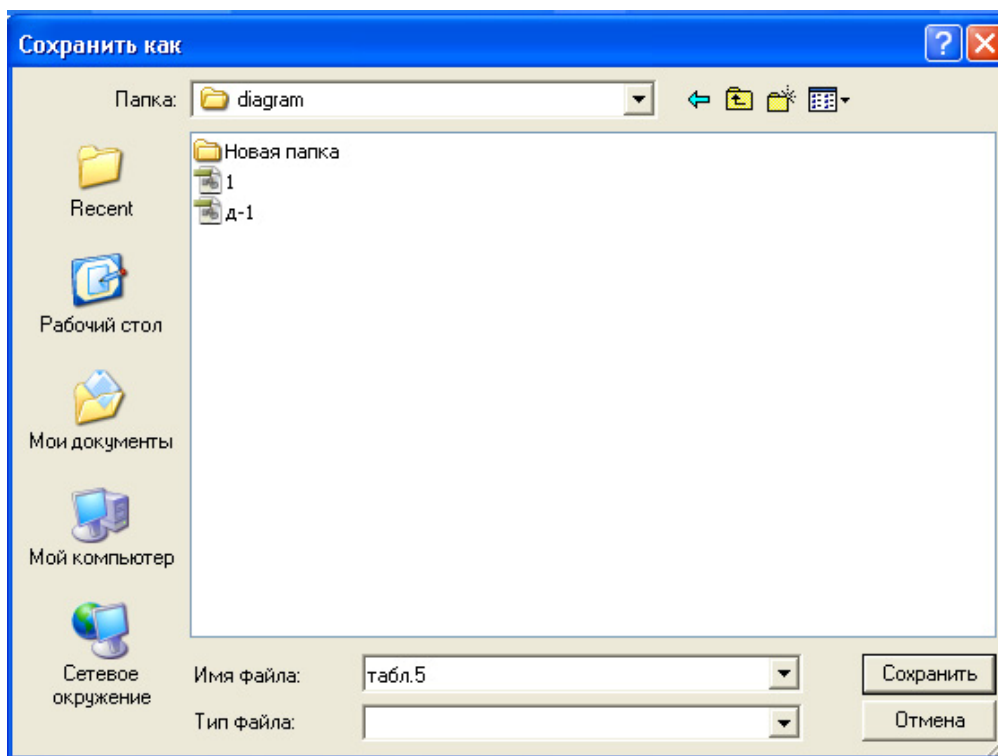


Рис. 7. Вікно збереження діаграм

У вікні «Діаграми індексів токсичності» ми отримуємо діаграми по серії проб кожного досліді, що представлено на рис. 8. Такі відомості дають можливість визначення впливу досліджуваної води залежно від проби (в даному прикладі – часу експозиції).

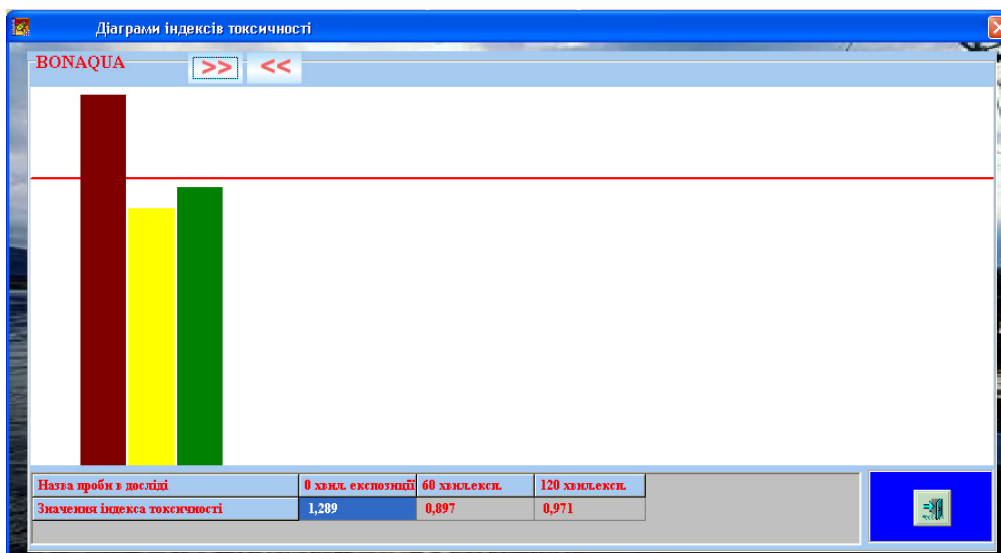


Рис. 8. Вікно «Діаграми індексів токсичності»

У вікні «Динаміка індексів токсичності» автоматично будується діаграма за відповідною пробєю серії дослідів. Наприклад, на рис. 9 показано зміну індексу токсичності залежно від типу води (Вонаква, 925 – Срібна, водопровідна) за умови однакового часу експозиції (0 хвилин – біотестування проводилось одразу після приготування проби).

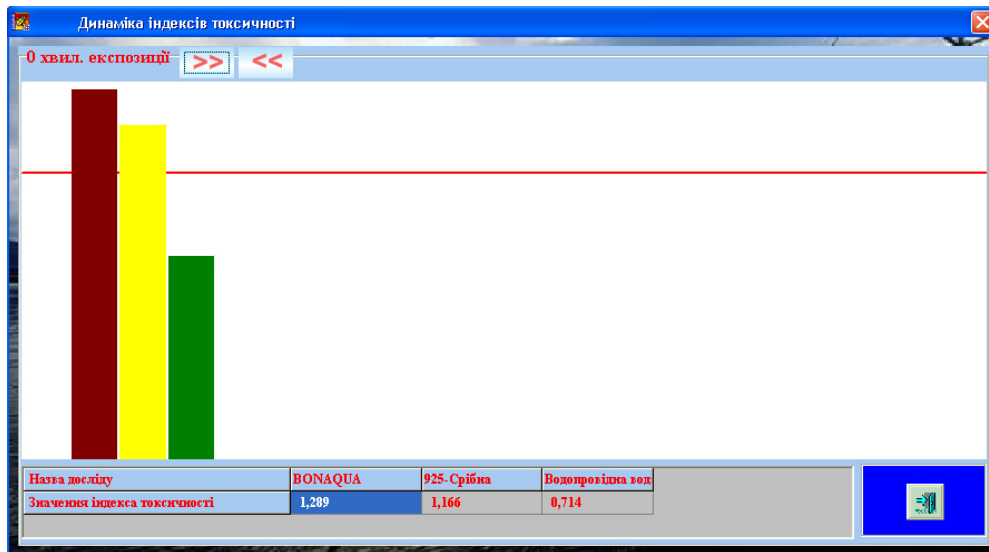


Рис. 9. Вікно «Динаміка індексів токсичності»

У вікні «Діаграми індексів токсичності по пробах» автоматично будується діаграма по кожній пробі ряду дослідів. Цей блок програми відображає значення індексів токсичності по всіх тест-відгуках по кожній пробі кожного дослідів. Такий аналіз є необхідним при визначенні найбільш чутливого тест-відгуку (на який тест-відгук чинить найбільший вплив досліджувана вода). Наприклад, на рис. 10 показано діаграму індексу токсичності по всіх тест-відгуках, що враховуються при біотестуванні, по кожній пробі (Вонаква, 0 хвилин) ряду дослідів.

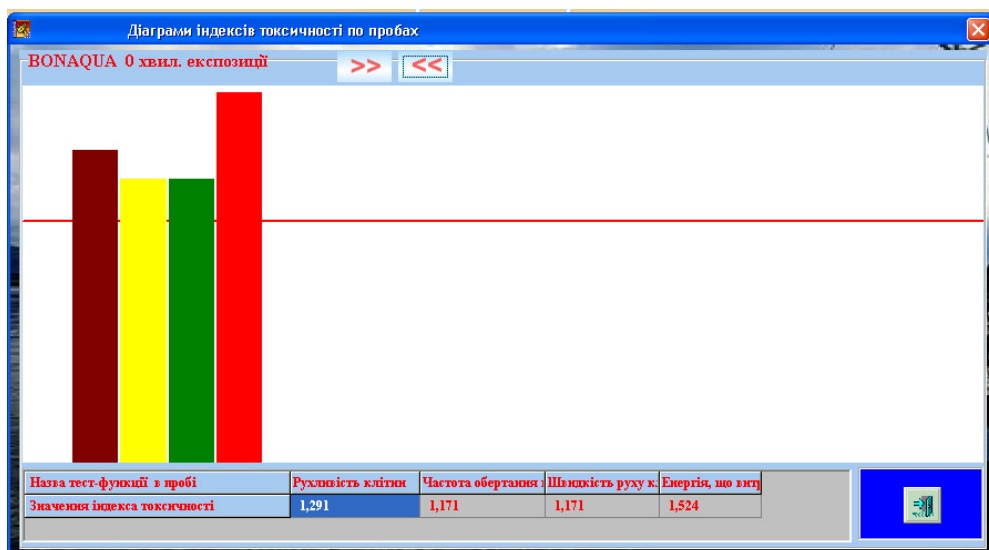



Рис. 10. Вікно «Діаграми індексів токсичності по пробах»
(відображає значення індексів токсичності за кожним тест-відгуком у кожному досліді і пробі)

У вікні «Динаміка індексу токсичності по тест-функціях» автоматично будується діаграма по кожному тест-відгуку відповідних проб ряду дослідів. Цей блок програми відображає динаміку індексу токсичності по кожному тест-відгуку по кожній пробі ряду дослідів. За допомогою цього блоку програми можливо проаналізувати зміни кожного тест-відгуку залежно від досліджуваної води та часу експозиції. Такий аналіз є необхідним при визначенні найбільш токсичної води, що досліджується, (за однакових умов) по кожному тест-відгуку. Наприклад, на рис. 11 показано динаміку індексу токсичності за рухливістю клітин для досліджуваних вод (Вонаква, 925 – Срібна, водопровідна) за умови однакового часу експозиції (0 хвилин – біотестування проводилось одразу після приготування проби).

Після закінчення роботи з програмою необхідно клацнути лівою клавшею миші на кнопку , після чого з'являться спочатку вікно зображене на рис. 6, потім вікно «Збереження інформації».

представлене на рис. 12. Після заповнення поля «Имяфайла» та його збереження, програма закривається автоматично.

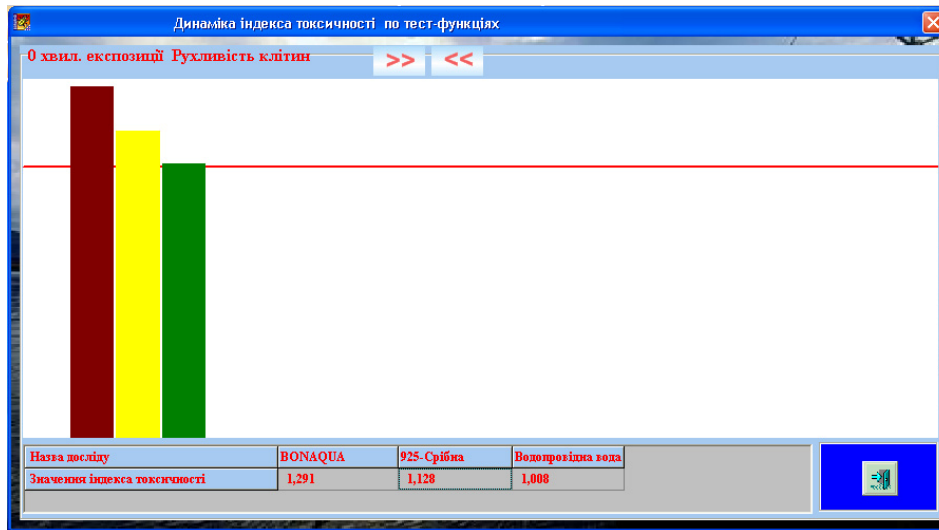


Рис. 11. Вікно «Динамика індексу токсичності по тест-функціях»

Всі вихідні та отримані дані зберігаються у спеціальних файлах («inf», «diagram» і т. ін.), що дає можливість повернутись до певного досліджу та проглянути результати (через вікно «Завантаження інформації з файлу», рис. 1).

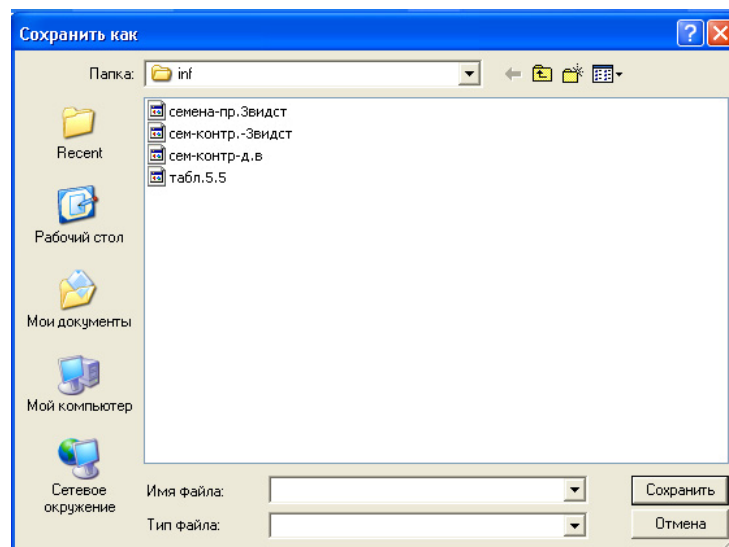


Рис. 12. Вікно «Збереження інформації»

Висновки

Розроблено комп'ютерну програму обробки результатів біотестування. Така програма забезпечує зручну та швидку обробку дослідних даних і дає змогу отримати кількісні показники токсичності (індекс токсичності). Вказана програма може бути використана для будь-яких методів біотестування, результати яких передбачають кількісну оцінку тест-відгуку.

Література

1. Багдасарян А. С. Биотестирование почв техногенных зон городских территорий с использованием растительных организмов: дис. ... кандидата биологических наук: 03.00.16 / Александр Сергеевич Багдасарян. – С., 2005. – 160 с.
2. Кабиров Р. Р. Разработка и использование многокомпонентной тест – системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории / Р. Р. Кабиров, А. Р. Сагитова, Н. В. Суханова // Экология. – 1997. – № 6. – С. 408 – 411.
3. Єфремова О. О. Біотестування питної води у моніторингу стану екологічної безпеки: дис. ... кандидата технічних наук: 21.06.01 / Ольга Олексіївна Єфремова – К., 2009. – 187 с.

Надійшла 14.11.2010 р.

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЕРЕДАВАННЯ ІНФОРМАЦІЇ В РОЗПОДІЛЕНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМАХ

Під час передавання інформації в розподілених комп'ютерних системах при складних умовах зв'язку виникає задача вибору корегувальної здатності коду і швидкості передавання. Отримані результати дозволяють визначити оптимальне співвідношення між цими параметрами.

By transfer of the information in the allocated computer systems under difficult conditions of connection there is a task of a choice of adjusting ability of a code and speed of transfer. The received results enable to determine an optimum ratio between these parameters.

Ключові слова: передавання інформації, швидкість передавання, кодування.

Вступ. Під час підготовки до передавання інформації виникає проблема вибору параметрів, які забезпечували б оптимальність процесу передавання інформації. В першу чергу, це стосується швидкості передавання та корегувальної здатності коду. Відомі методики [1] характеризуються тим, що вони призначені для вибору типу коду і не дозволяють чітко визначити його параметри. В іншому випадку передбачається вибір коду лише для одного конкретного виду модуляції [2]. Крім цього, вони не враховують динаміку змін параметрів самого каналу зв'язку, які вважаються квазістатичними. Це може бути справедливим лише для обмеженого проміжку часу (одного сеансу передавання), але для кожного з них параметри необхідно корегувати.

Постановка задачі. Метою статті є отримання співвідношень, які пов'язували б параметри передавання з параметрами каналу зв'язку і таким чином дозволяли б адаптивно вибирати параметри обміну даними з урахуванням реальних умов.

Результати дослідження. Сучасні системи передавання інформації передбачають її подання в комп'ютерному форматі, а найбільш поширеним типом каналу є симетричний двійковий канал без пам'яті. Обмін інформацією може здійснюватися байтами або блоками по $k_{\text{бл}}$ інформаційних байтів в кожному. Кожна кодова комбінація містить k інформаційних та m контрольних символів ($n = k + m$). Наявність зворотного зв'язку між приймачем та передавачем передбачає передавання спеціальних сигналів після надходження кожного блока щодо правильності або неправильності його приймання. Імовірність правильного приймання однієї кодової комбінації становить $p_{\text{пр}}$. Властивості симетричного каналу без пам'яті передбачають, що помилки будуть незалежними, а імовірності $p_{\text{пр},i}$ для кожного i -го блока не будуть залежати від попередніх передач. Таким чином, безпомилкове приймання одного блока визначається:

$$p_{\text{пр},i}(j_{\text{бл},i}) = (1 - p_{\text{пр}})^{j_{\text{бл},i}-1} \cdot p_{\text{пр}}, \quad (1)$$

де $j_{\text{бл},i}$ – кількість повторів до правильного приймання i -го блока.

Тривалість передавання блока можна визначити як:

$$t_{\text{сер.бл}} = \frac{j_{\text{сер}} \cdot n}{v}, \quad (2)$$

де v – фізична швидкість передавання.

Середній час, витрачений на весь сеанс передавання, дорівнює:

$$t_{\text{сер}} = t_{\text{сер.бл}} \cdot n_{\text{бл}} = \frac{j_{\text{сер}} \cdot n}{v} \cdot n_{\text{бл}}, \quad (3)$$

Ефективна швидкість передавання може бути визначена як:

$$r = \frac{L/T_{\text{пер}}}{v} = \frac{v \cdot L}{v \cdot j_{\text{сер}} \cdot n \cdot n_{\text{бл}}} = \frac{v \cdot p_{\text{бл}} \cdot L}{v \cdot n \cdot L/k} = p_{\text{пр.бл}} \cdot \frac{k}{n}, \quad (4)$$

з урахуванням того, що $p_{\text{пр.бл}} = 1/j_{\text{сер}}$.

Імовірність того, що кодова комбінація з n символів буде прийнята без помилок (їх кількість не перевищить потенційної здатності коду s_n), підпорядковується біноміальному закону розподілу і може бути визначена через бета-функції [3]:

$$p_{\text{пр.бл}} = \sum_{j=0}^{s_n} C_n^j \cdot p \cdot (1-p)^{n-j}, \quad (5)$$

де p – імовірність помилки на один символ.

$$p_{\text{пр.бл}} = \frac{B_q(n - s_n, s_n + 1)}{B(n - s_n, s_n + 1)}, \quad (6)$$

$$\text{де } B_q(x, y) = \int_0^q z^{x-1} (1-z)^{y-1} dz;$$

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

Для кожного p та $q = 1 - p$ ефективна швидкість передавання може бути визначена з урахуванням (6). Разом з тим, для отримання ефективної швидкості передавання для всіх можливих значень p , необхідно здійснити інтегрування функції $r(k, n, p)$ по зоні визначення p з вагою $\varphi(p)$:

$$r(k, n, p) = \frac{k}{n} \int_p \varphi(p) \cdot p_{np} \cdot \delta_l dp, \quad (7)$$

$$r(k, n, p) = \frac{k}{n} \cdot \int_p \varphi(p) \frac{\int_0^q z^{n-s_n-1} (1-z)^{s_n} dz}{\int_0^1 z^{n-s_n-1} (1-z)^{s_n} dz} dp, \quad (8)$$

$$r(k, n, p) = \frac{r_1}{r_2}, \quad (9)$$

$$\text{де } r_1 = \frac{k}{n} \int_0^1 \varphi(p) \int_0^q z^{n-s_n-1} (1-z)^{s_n} dz dp;$$

$$r_2 = B(n - s_n, s_n + 1).$$

Для пошуку оптимальних значень k та n , які визначають оптимальне значення $r(k, n, p)$ залежно від p , необхідно визначити окремі похідні $\frac{\partial r(k, n, p)}{\partial n}$ та $\frac{\partial r(k, n, p)}{\partial k}$ і прирівняти їх до нуля. З урахуванням (9) можна записати:

$$\frac{\partial r(k, n, p)}{\partial n} = \frac{r_2 \cdot \frac{\partial r_1}{\partial n} - r_1 \cdot \frac{\partial r_2}{\partial n}}{r_2^2};$$

$$\frac{\partial r(k, n, p)}{\partial k} = \frac{r_2 \cdot \frac{\partial r_1}{\partial k} - r_1 \cdot \frac{\partial r_2}{\partial k}}{r_2^2}.$$

Для визначення окремих похідних $\frac{\partial r_1}{\partial n}$, $\frac{\partial r_2}{\partial n}$, $\frac{\partial r_1}{\partial k}$ та $\frac{\partial r_2}{\partial k}$ доцільно спочатку визначити окремі похідні від повної та неповної бета-функцій.

Кінцева система рівнянь може бути записана у вигляді:

$$\begin{cases} B(1) \int_0^1 \varphi(p) \left(\frac{\partial s_n}{\partial n} \zeta_1(q) + \left(1 - \frac{\partial s_n}{\partial n} \right) \zeta_2(q) + \frac{1}{n} B(q) \right) = \\ = \left(\frac{\partial s_n}{\partial n} \zeta_1(1) + \left(1 - \frac{\partial s_n}{\partial n} \right) \zeta_2(1) \right) \int_0^1 \varphi(p) B(q) dp \\ B(1) \frac{k}{n} \int_0^1 \varphi(p) \left(\frac{ds_n}{\partial k} \zeta_1(q) - \frac{ds_n}{\partial k} \zeta_2(q) + \frac{1}{k} B(q) \right) dp = \\ = \frac{ds_n}{\partial k} (\zeta_1(1) - \zeta_2(1)) \int_0^1 \varphi(p) B(q) dp \end{cases}, \quad (10)$$

$$\text{де } \zeta_1(q) = \int_0^q \ln(1-z) \cdot z^{n-s_n-1} \cdot (1-z)^{s_n} dz, \quad (11)$$

$$\zeta_2(q) = \int_0^q \ln z \cdot z^{n-s_n-1} \cdot (1-z)^{s_n} dz, \tag{12}$$

$$B(q) = \int_0^q z^{n-s_n-1} \cdot (1-z)^{s_n} dz. \tag{13}$$

Результати розрахунків за системою (10) суттєво залежать від вагової функції $\varphi(p)$. З урахуванням поставленої задачі доцільно перейти від імовірності помилки на один символ p до співвідношення сигнал/шум h , з урахуванням того, що вони пов'язані між собою співвідношенням $p = f(h)$. Тоді останні співвідношення можна подати у вигляді:

$$\zeta_1(q) = \int_0^{f^{-1}(q)} \ln(1-z) \cdot z^{n-s_n-1} \cdot (1-z)^{s_n} dz, \tag{14}$$

$$\zeta_2(q) = \int_0^{f^{-1}(q)} \ln z \cdot z^{n-s_n-1} \cdot (1-z)^{s_n} dz, \tag{15}$$

$$B(q) = \int_0^{f^{-1}(q)} z^{n-s_n-1} \cdot (1-z)^{s_n} dz. \tag{16}$$

$$\left\{ \begin{aligned} & B(1) \int_0^\infty \varphi_1(h) \left(\frac{\partial s_n}{\partial n} \zeta_1(1-f(h)) + \left(1 - \frac{\partial s_n}{\partial n} \right) \zeta_2(1-f(h)) + \frac{1}{n} B(1-f(h)) \right) dh = \\ & = \left(\frac{\partial s_n}{\partial n} \zeta_1(1) + \left(1 - \frac{\partial s_n}{\partial n} \right) \zeta_2(1) \right) \int_0^\infty \varphi_1(h) B(1-f(h)) dh \\ & B(1) \frac{k}{n} \int_0^\infty \varphi_1(1-f(h)) \left(\frac{ds_n}{\partial k} \zeta_1(1-f(h)) - \frac{ds_n}{\partial k} \zeta_2(1-f(h)) + \frac{1}{k} B(1-f(h)) \right) dh = \\ & = \frac{ds_n}{\partial k} (\zeta_1(1) - \zeta_2(1)) \int_0^\infty \varphi_1(h) B(1-f(h)) dh \end{aligned} \right. , \tag{17}$$

У статті [4] показано, що до вагової функції $\varphi_1(h)$, яка будується за допомогою апроксимації результатів статистичних випробувань каналу зв'язку, для реальних умов обмежень не робиться. Її поведінка на множині значень може бути довільною і вибирається з евристичних міркувань. Таким чином, велику роль відіграє вибір алгоритму такої апроксимації.

Імовірності помилок в каналі зв'язку розраховується за формулами Котельникова і для симетричного каналу складають:

$$p = V\left(\frac{h}{2}\right), \tag{18}$$

де $V(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^\infty e^{-\frac{z^2}{2}} dz$ – інтеграл імовірності.

Це пов'язано з тим, що миттєве значення напруги флуктуаційної завади є неперервною випадковою величиною, густина імовірності якої підпорядковується закону нормального розподілення Гауса.

З урахуванням використання для апроксимації вейвлет-функцій, для формування вагової функції $\varphi_1(h)$ доцільно використати сімейство гаусівських вейвлетів, функції якого є похідними гаусівської експоненти.

$$g_n(x) = (-1)^{n+1} \frac{d^n}{dx^n} e^{-\frac{x^2}{2}}. \tag{19}$$

Нормувальний коефіцієнт сімейства має значення $C_{g_n} = 2\pi(n-1)!$, $0 < n < \infty$. Це сімейство називають ще вейвлетами з нульовими моментами тому, що перші $n-1$ моментів функцій $g_n(x)$ дорівнюють нулю:

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^m g_n(x) dx = 0 \quad \forall m, 0 \leq m < n, n \in N. \quad (20)$$

Докладно властивості гаусівських вейвлет-функцій розглянуті в літературі [5].

Висновки. Таким чином, отримані системи рівнянь пов'язують параметри передавання з параметрами каналу зв'язку, що дозволяє адаптивно вибирати параметри обміну даними з урахуванням реальних умов. В свою чергу, це створює можливості для побудови адаптивних алгоритмів обміну даними.

Література

1. Грицьк В. В. Оценка качества передачи информации / В. В. Грицьк, В. Н. Михайловський. – К.: Наукова думка, 1973. – 180 с.
2. Назаров Л. Е. Алгоритмы итеративного приёма сигнально-кодовых конструкций типа “турбокоды” с частотной эффективностью большей 2 бит/сек/Гц [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.autex.spb.ru>
3. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники / Левин Б. Р. – М.: Советское радио, 1974. – 552 с.
4. Чикин А. В. Способ нахождения оптимальных по критерию “эффективная скорость передачи информации” параметров блочного кода в двоично-симметричном канале без памяти / А. В. Чикин // Труды МАИ: электронный журнал [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://www.mai.ru/projects/mai_works/articles/num9/article7
5. Переберин А.В. О систематизации вейвлет-преобразований // Вычислительные методы и программирование. – 2001. – Т. 2. – С. 15 – 40.

Надійшла 4.11.2010 р.

УДК 681.3

В.Ю. ТІТОВА

Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАДІЙНОСТІ АПАРАТНИХ РЕАЛІЗАЦІЙ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

У статті розглянуто переваги та недоліки використання різної елементної бази для апаратної реалізації штучних нейронних мереж з точки зору їх впливу на підвищення відмовостійкості та надійності нейрокомп'ютерів.

The article reviews the advantages and disadvantages of using different element base for hardware implementation of artificial neural networks in terms of their influence to increase reliability and safety neurocomputers.

Ключові слова: нейрокомп'ютери, аналогові НВІС, гібридні НВІС, систолічні процесори, сигнальні процесори, нейросигнальні процесори, ПЛІС, відмовостійкість, надійність.

Вступ

На сьогоднішній день більшість способів практичної реалізації штучних нейронних мереж (ШНМ) обмежуються лише програмним моделюванням у середовищах таких програмних засобів, як Matlab, NeuroPro та інші. Однак, все актуальнішими стають саме апаратні реалізації нейромереж, які впроваджуються у побутову техніку, комп'ютерні системи діагностування, контролю, керування і т.і.

Статтю присвячено дослідженню характеристик надійності існуючої елементної бази для апаратної реалізації ШНМ.

Постановка задачі

Аналіз основних тенденцій та перспективних напрямів побудови нейрокомп'ютерів показує, що різні апаратні реалізації мають різні характеристики, що впливають на надійність. Підвищення відмовостійкості та надійності нейрокомп'ютерів може бути досягнуто шляхом:

- зменшення розмірів елементної бази та, як наслідок, енергоспоживання апаратних засобів;
- поєднання апаратних засобів з відповідним програмним забезпеченням [1].

Аналіз апаратних реалізацій ШНМ

Нейромережні апаратні рішення впроваджують у свої продукти такі відомі фірми, як Siemens, Intel, Phillips Research, 3M Laboratories і багато інших [2]. Існує багато різноманітних апаратних реалізацій нейромережних архітектур [3]. На сьогоднішній день їх можна класифікувати наступним чином (рис. 1).

Аналогова архітектура. Нейрони в аналогових надвеликих інтегральних схемах (НВІС) являють собою пороги підсилювачі з сигмовидною передавальною функцією. Посилення передавальної функції визначає чутливість нейрона і в граничному випадку переводить нейрон з аналогового стану в стан,

аналогічний цифровому вентилю. Так, в аналоговій НВІС ETANN 80170NX фірми INTEL міститься 64 нейрони з 64 входами відповідно і 16 нейронних шарів.

Швидкість проходження сигналу залежить від частотних характеристик підсилювачів і в даній мікросхемі становить близько 1,5 мкс. Навчання проводиться в два етапи. Первинний підбір вагових коефіцієнтів виконується в емулюючому середовищі (наприклад, Intel Neural Network Training System), точна настройка ваг здійснюється з використанням працюючої НВІС апаратним способом (так званий chip-in-loop training).

Основні переваги аналогових НВІС полягають у високій швидкодії, яка обмежується лише частотними характеристиками підсилювачів, а недоліки – в необхідності забезпечувати НВІС постійний температурний режим (перепади температури менше 1°C на кожні 18°C), а також використовувати стабілізовані джерела живлення, оскільки НВІС чутлива до зовнішніх умов. Зазначені недоліки значно обмежують використання аналогових НВІС для моделювання нейронних мереж.

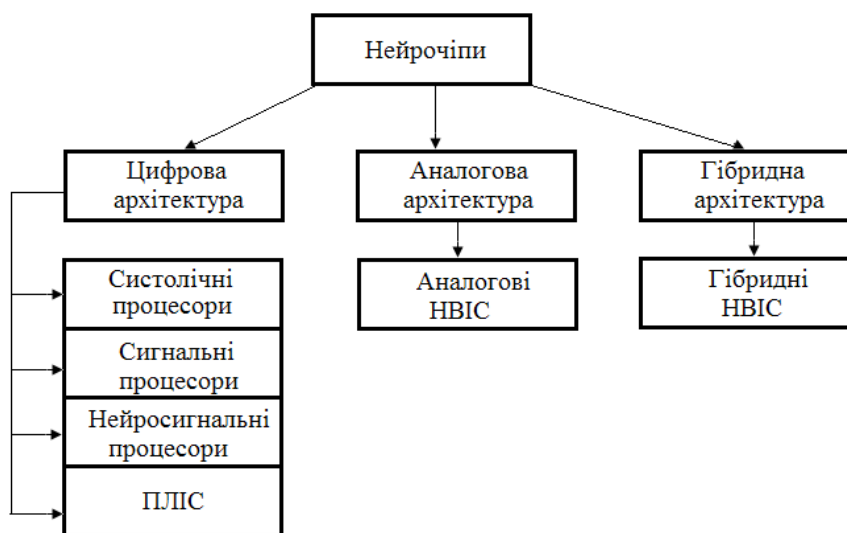


Рис. 1. Класифікація елементної бази для апаратної реалізації ШНМ

Гібридна архітектура. Зазначена архітектура поєднує в собі цифровий та аналоговий підходи до апаратного моделювання нейронних мереж. Наприклад, чіп ANNA (AT&T) має цифрову внутрішню архітектуру і аналоговий спосіб зберігання вагових коефіцієнтів з використанням елементів динамічної конденсаторної пам'яті. Чіп містить до 256 нейронів і 4096 вагових коефіцієнтів [4].

Недоліки подібних архітектур пов'язані зі складністю внесення будь-яких змін у вже створену архітектуру та жорсткою прив'язкою реалізації до апаратних складових, а саме при перенесенні реалізації на іншу елементну базу може призвести до несумісності роботи, збоїв у роботі мережі або повної її відмови.

Систолічні процесори. Принцип дії систолічних процесорів полягає у використанні процесорної матриці з набору простих за структурою оброблюючих елементів, через яку йде безперервний потік даних, змінюваних кожним елементом. Мережа працює циклічно і в кожному наступному циклі кожен оброблюючий елемент зчитує і обробляє нову порцію даних, незалежно від роботи інших оброблюючих елементів. За рахунок цього досягається висока ступінь розпаралелювання процесів обробки інформації і висока швидкість роботи мережі в цілому.

Внаслідок значного спрощення внутрішньої структури обробних елементів, систолічна матриця повинна бути оточена великою кількістю елементів, що реалізують додаткову функціональність. Наприклад, функція активації повинна бути реалізована у вигляді окремого зовнішнього блоку.

На рис. 2 показана структурна схема систолічного процесора SAND (Simple Applicable Neural Device). Чіп розроблений Дослідницьким центром у Карлсруе та Інститутом мікроелектроніки Штутгарта [5].

До складу процесорів входить також модуль пост-обробки і модуль пам'яті ваг. Оброблюючі елементи виконують операції перемноження вхідних сигналів і їх додавання. Всі інші операції реалізуються зовнішніми логічними блоками. У деяких випадках в якості зовнішнього блоку може використовуватися блок обчислення мінімуму або максимуму вихідного значення.

Перевагами використання систолічних процесорів є те, що вони добре масштабуються, що дозволяє створювати великі багатопроцесорні комплекси. Однак для них потрібно досить багато периферійних

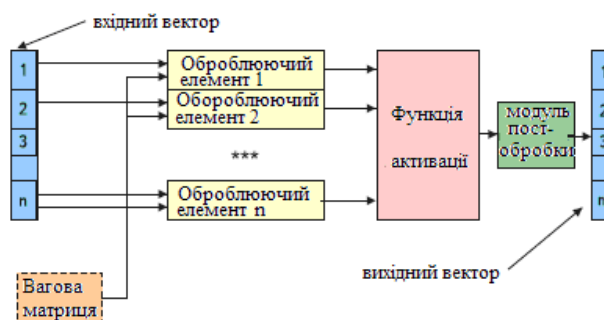


Рис. 2. Структура систолічного процесора SAND

модулів. Зі збільшенням кількості систолічних процесорів зростають затримки в ланцюгах проходження сигналу.

Сигнальні процесори (Digital signal processor – DSP). Порівняно низька вартість розробки, велика елементна база з великою кількістю налагоджувальних засобів та допоміжного програмного забезпечення, економічне енергоспоживання і невелике тепловиділення, а також висока продуктивність зробили сигнальні процесори фірм Texas Instruments і Analog Devices популярними об'єктами для побудови апаратних реалізацій нейронних мереж.

Однак, прив'язка до апаратної частини не дозволяє з легкістю переносити нейронну мережу з однієї елементної бази на іншу, через можливість виникнення збоїв у роботі внаслідок несумісності елементів. Крім того, сигнальні процесори погано масштабуються, що ускладнює побудову великих багатопроцесорних систем.

Нейросигнальні процесори. В основі нейросигнальних процесорів лежить те ж саме ядро, що і у інших процесорів DSP. Відмінність полягає у додаткових архітектурних рішеннях, що оптимізують DSP для розробок ШНМ.

Нейросигнальні процесори в цілому мають ті ж самі характеристики, що і сигнальні процесори. Відмінності полягають у більш високій продуктивності за рахунок наявності вбудованого векторного співпроцесора і більш вузькій спеціалізації, у більшості випадків орієнтованій на конкретний вид нейронної мережі. До недоліків можна віднести відносно високу вартість систем, розроблених на зазначеній елементній базі та складність програмування.

Програмовані логічні інтегральні схеми (ПЛІС). Технологічні особливості ПЛІС роблять їх зручним об'єктом для використання в якості елементної бази апаратної реалізації нейронних мереж.

При розробці проектів на ПЛІС використовується принцип одноктактової синхронізації, для реалізації якого в ПЛІС синхросигнали поширюються по швидкодіючій деревоподібній мережі, що забезпечує майже одночасний прихід фронту синхроімпульса на синхровхід всіх внутрішніх тригерів. Синхросигнал може вироблятися і всередині самої ПЛІС. Дана властивість дозволяє полегшити завдання побудови багатопаралельних конфігурацій нейронних мереж. Сучасні ПЛІС практично неможливо програмувати "вручну". Для розробки проектів використовуються спеціальні інтегровані середовища програмування та мови паралельного програмування (VHDL) [6]. Це дозволяє зняти залежність розробок нейронних мереж на ПЛІС від конструктивних особливостей конкретної ПЛІС, поліпшити можливість перенесення, а також створювати бібліотеки стандартних нейромережних модулів, що вигідно відрізняє нейромережні проекти на ПЛІС від аналогічних розробок на DSP.

Ще однією важливою особливістю ПЛІС є те, що вони складаються з множини однотипних елементів, що підвищує надійність роботи мікросхеми та спрощує проектування нейронної мережі.

Також перевагами даної елементної бази є невелике енергоспоживання, низька вартість, гарна масштабованість, що дозволяє створювати багатопроцесорні комплекси. До недоліків можна віднести відносно високі апаратні затрати, які виникають при реалізації нейромереж великих розмірностей.

Оцінки ризиків надійності апаратних реалізацій ШНМ

У процесі розробки комп'ютерних систем на основі нейрокомп'ютерів значна увага приділяється аналізу ризиків, які можуть призвести до відмови або збоїв у роботі системи.

Серед усіх множині ризиків виділяють наступні, які безпосередньо пов'язані з елементною базою [7]:

- ризики, пов'язані з властивостями елементів;
- ризики, пов'язані зі схемотехнічними рішеннями;
- ризики, пов'язані з процесом життєвого циклу елементів;
- ризики, пов'язані з порушеннями в процесі виробництва.

До першої групи, зокрема, належать ризики пов'язані з електромагнітними, температурними впливами та збоями у електроживленні. До другої групи належать ризики, пов'язані з порушеннями під час розробки систем. До третьої – ризики, пов'язані з експлуатацією.

В табл. 1 наведені результати порівняльного аналізу імовірності відмови системи залежно від групи ризиків, пов'язаних з використанням різної елементної бази.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз імовірності відмови системи залежно від групи ризиків, пов'язаних з використанням різної елементної бази

Елементна база	Ризики, пов'язані з властивостями елементів	Ризики, пов'язані зі схемо-технічними рішеннями	Ризики, пов'язані з процесом життєвого циклу елементів	Ризики, пов'язані з порушеннями в процесі виробництва
1	2	3	4	5
Аналогові НВІС	Більше 50 %	Менше 10 %	Менше 10 %	менше 1 %
Гібридні НВІС	25-30 %	25-30 %	10-15 %	менше 1 %

1	2	3	4	5
Систолічні процесори	25-30 %	До 50 %	25-30 %	до 1 %
Сигнальні процесори	25-30 %	25-30 %	25-30 %	до 1 %
Нейрон-сигнальні процесори	25-30 %	10-15 %	25-30 %	до 1 %
ПЛІС	25-30 %	10-15 %	10-15 %	менше 1 %

Висновки

Отже, одним із шляхів підвищення надійності апаратних реалізацій штучних нейронних мереж є використання ПЛІС-технологій. Використання зазначеної елементної бази дозволяє знизити ризик відмови системи через апаратні складові.

Сучасній ПЛІС-технології притаманні низька вартість, висока гнучкість та відмовостійкість, а тому вона є одним з ефективних засобів реалізації нейрокомп'ютерів.

Література

1. Сравнительный анализ применения ПЛИС и микропроцессоров при разработке информационно-управляющих систем, важных для безопасности АЭС // Научно-технический отчет. НАУ им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», НТСКБ «Полисвет», ИПМЭ им. Г.Е. Пухова НАН Украины, ИПММС НАН Украины. – 2005. – С. 47.
2. Гриняев С. Нейронные процессоры // Компьютерра. – 2001. – № 38. – http://pgpu.penza.com.ru/_sites/intel/MATVEYEV_DM/materials/article_neuroprointel.html
3. Аляутдинов М.А. Нейрокомпьютеры. От программной к аппаратной реализации / Аляутдинов М. А., Галушки А. И., Казанцев П. А., Остапенко Г. П.. – СПб: «Горячая линия – Телеком», 2008 г. – 393 с.
4. Круг П.Г. Нейронные сети и нейрокомпьютеры / Круг П.Г.. – Москва: МЭИ, 2002 – 177 с.
5. Шахнов В. Нейрокомпьютеры – архитектура и реализация / Шахнов В., Власов А. Кузнецов А // http://chipnews.gaw.ru/html.cgi/archiv/00_07/stat_36.htm
6. Сергиенко А.М. VHDL для проектирования вычислительных устройств / Сергиенко А.М. – К.: ЧП «Корнейчук», ООО «ТИД ДС», 2003 г. – 187 с.
7. Федухин А.В. ПЛИС-системы как средство повышения отказоустойчивости / Федухин А.В., Муха А.А., Муха А.А // Математичні машини і системи. – 2010. – № 1. – С. 198-204.

Надійшла 5.11.2010 р.

УДК 681.5

В.С. ХАРЧЕНКО, О.Н. ОДАРУЩЕНКО, О.В. ИВАНЧЕНКО

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»
Полтавский национальный технический университет им. Юрия Кондратюка
Севастопольский национальный технический университет

ПРИНЦИПЫ АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ КРИТИЧЕСКИХ ИНФРАСТРУКТУР

Рассмотрены принципы анализа и обеспечения безопасности критических инфраструктур. Обоснована целесообразность управления критическими инфраструктурами по мегасостоянию. В качестве методологической основы предложено использовать метод FMECA-анализа.

The principles of analysis and safety of system of systems were considered. The practicability of controlling the critical infrastructures by the megastate were proved. The method of FMECA – analysis was submitted as a methodological base.

Ключевые слова: безопасность, критическая инфраструктура, FMECA-анализ, эшелонирование защит, мегасостояние.

Введение. На сегодняшний день проблема безопасности критических инфраструктур (КИ) приобрела интернациональный характер. О степени критичности различных инфраструктурных образований свидетельствуют:

- последствия деятельности вулкана в Исландии, парализовавшего практически всю авиационную инфраструктуру Европы (2010 г.);
- авария на Саяно-Шушенской ГЭС (Россия, 2009 г.), вызвавшая техногенную катастрофу;
- аварии энергетических систем США и Канады (2003 г.) и т.д.

Проблема обеспечения безопасного функционального применения различных инфраструктур, а

также осознание того факта, что отказ элементов КИ может привести к человеческим жертвам, серьезным экологическим последствиям или финансовым потерям обусловили актуальность применения формальных методов оценки, основанных на выявлении потенциальных опасностей и оценки рисков их возникновения [1–3].

В настоящее время все чаще анализ опасностей и рисков представляют не только в количественной форме, как последовательность расчетных значений соответствующих показателей, но и в форме качественного или комбинированного качественно-количественного анализа. При этом сами результаты качественного анализа представляются в виде текстового описания, таблиц, диаграмм, экспертных оценок и т.д. Однако и этот подход не всегда дает положительный результат.

На наш взгляд, одной из важнейших причин этого является отсутствие обоснованной теории анализа безопасности КИ; недостаточное понимание самих принципов анализа и обеспечения безопасной эксплуатации различных инфраструктур.

Постановка задачи. Целью работы является формирование основных принципов анализа безопасности критических инфраструктур на основе детализации множества видов, последствий отказов или иных событий, влияющих на безопасность, элементов (систем) инфраструктуры с учетом возможностей управления их состоянием на соответствующем уровне иерархии.

Результаты исследования. Принципы анализа безопасности критических инфраструктур заключаются в следующем:

1. Инфраструктура представляет собой множество взаимодействующих сложных систем S_i , $i = 1, \dots, n$. Каждая из систем может быть описана таблицей (или иерархией таблиц) FMЕСА, TF_i , или ее обобщением ЕМЕСА, TE_i . Степень детализации множества видов и последствий отказов (событий) каждой из систем определяется уровнем управления ее состояниями. Каждой строке таблицы TF_i (TE_i) ставится в соответствие состояние F_{ij} , $j = 1, \dots, m_j$.

Следовательно, множество состояний системы S_i включает работоспособное состояние (состояния) F_{io} , состояния с единичными отказами (событиями) F_{ij} и, при необходимости, состояния с кратными отказами (событиями) $F_{ij}^{(h)}$ (в общем случае $h = 2, \dots, m_j$):

$$MF_i = \{F_{io}, F_{ij}, F_{ij}^{(h)}\}.$$

2. Каждому состоянию F_{ij} (также как и $F_{ij}^{(h)}$) по правилам техники FMЕСА (ЕМЕСА) ставится в соответствие вероятность P_{ij} и тяжесть W_{ij} данного отказа (события). Их произведение определяет степень его критичности

$$R_{ij} = P_{ij} \cdot W_{ij}.$$

Результаты FMЕСА (ЕМЕСА)-анализа (соответствующие таблицы) свертываются в двумерные (или трехмерные при учете времени восстановления) матрицы критичности размерностью $a \times b$, где a и b – количество строк и столбцов, определяемых шкалами задания значений вероятности P_{ij} (p) и тяжести W_{ij} (w):

$$MR_i = \left\| R_{ij}(p, w) \right\|.$$

В матрице MR_i задается диагональ критичности. Если существуют элементы, находящиеся над диагональю (неприемлемые риски, $R_{ij} > R_{i_{непр}}$), то необходимы корректирующие действия C_{ij} , обеспечивающие снижение рисков до приемлемого уровня.

На уровне системы S_i может быть поставлена и решена задача локальной оптимизации состава и объема корректирующих действий C_{ij} (методы и средства снижения рисков) по критерию «приемлемые риски-минимум затрат».

3. Для каждой строки FMЕСА_i (ЕМЕСА_i)-таблицы системы S_i определяется степень (вероятность) влияния соответствующего отказа (события) и перехода в состояние F_{ij} на состояния F_{kg} других систем инфраструктуры S_k ($k = 1, \dots, n, k \neq i, g = 1, \dots, m_g$).

Это влияние на состояние F_{kg} может быть следующим:

- 1) отказ (событие) F_{ij} приводит к изменению (увеличению или уменьшению) вероятности P_{kg} ;
- 2) отказ (событие) F_{ij} приводит к изменению (увеличению или уменьшению) тяжести W_{kg} ;
- 3) отказ (событие) F_{ij} вызывает появление нового (неспецифицированного ранее) отказа (события)

F_{kmg+1} ;

4) отказ (событие) F_{ij} приводит к комбинации событий 1–3;

5) отказ (событие) F_{ij} не влияет на состояние F_{kg} .

Исходя из изложенного, влияние системы S_i на систему S_k можно описать с помощью матрицы

$$MD_{ik} = \left\| d_{jg}^{ik} \right\|,$$

где d_{jg}^{ik} – вектор, учитывающий влияние F_{ij} на F_{kg} ; этот вектор может быть представлен следующим образом:

$$d_{jg}^{ik} = \left\langle \left(x_{jg1}^{ik}, L_{jg1}^{ik} \right), \left(x_{jg2}^{ik}, L_{jg2}^{ik} \right), \left(x_{jg3}^{ik}, L_{jg3}^{ik} \right), \left(x_{jg4}^{ik}, L_{jg4}^{ik} \right), \dots \right\rangle,$$

причем, $x_{jgz}^{ik} = 1(0)$, если реализуется (не реализуется) соответствующий вариант z влияния F_{ij} на F_{kg} , $z = 1, \dots, 5$ (единице может быть равна только одна переменная x_{jgz}^{ik}); L_{jgz}^{ik} – оператор, характеризующий вероятность и степень влияния (если $x_{jgz}^{ik} = 0$, то $L_{jgz}^{ik} = \emptyset$).

4. Описание поведения и взаимного влияния систем может быть привязано ко времени. Во времени могут изменяться параметры и значения функции риска R_{ij} и элементы вектора матрицы влияния D_{ik} . На основе матриц рисков для систем MR_i может быть построена итоговая матрица MR рисков для инфраструктуры, элементы которой также изменяются во времени.

Принципы обеспечения безопасности можно сформулировать следующим образом:

1. Для устойчивого и безопасного функционирования инфраструктуры необходимо, чтобы:

а) либо каждая из систем выполняла функцию «фильтрации» рисков, связанных с отказами (событиями) других систем; в этом случае реализуется принцип естественного эшелонирования защиты;

б) либо обеспечивалось снижение рисков по каждому из отказов (событий) до приемлемого уровня на всем множестве систем; при этом может быть поставлена и решена задача покрытия по всем траекториям (цепочкам) влияния;

в) либо существовала специальная система инфраструктурной безопасности SS , контролирующая уровень рисков и обеспечивающая его снижение до приемлемого уровня. Эта система должна состоять из подсистем безопасности каждой из систем SS_i или их групп, которые контролируют уровни рисков соответствующих систем и либо снижают их до приемлемого значения, либо информируют систему безопасности верхнего уровня.

Возможны варианты построения распределенных адаптивных систем безопасности, построенных по принципу эшелонирования защиты, защиты «в глубину».

2. Обязательным принципом, который должен реализовываться при создании и модернизации критических инфраструктур, является принцип диверсности. Он реализуется в системах S_i (локальная диверсность) и на инфраструктурном уровне (глобальная диверсность).

При этом следует рационально распределять и сочетать виды, методы и средства реализации процессно-продуктивной диверсности на разных уровнях инфраструктуры, оптимизируя применяемые многоверсионные технологии для разработки информационно-управляющих систем по критерию «надежность-безопасность-стоимость» [4].

3. Задача обеспечения безопасности КИ решается в комплексе с задачами по обеспечению требуемого (максимального) уровня показателей по другим свойствам (безотказности, готовности, живучести). Учитывая, что критические инфраструктуры являются обслуживаемыми и, как правило, относятся к объектам высокой готовности [5] (или к таковым относятся отдельные системы КИ), целесообразно в качестве общего критерия оптимизации использовать критерий "требуемая безопасность (приемлемый риск) – максимальная готовность".

4. Для инфраструктур, допускающих деградацию, возможно применение принципа технического каннибализма, предполагающего использование ресурсов отказавших систем КИ в интересах других систем для минимизации общего уровня снижения функциональности или безопасности. Этот принцип может быть применен в контексте трансформации критических инфраструктур [6].

Принципы управления безопасностью критических инфраструктур можно изложить следующим образом:

1. На основании рассмотренных принципов анализа предлагается организовать управление КИ на всех возможных уровнях иерархии с учетом влияния множества факторов, включая функциональную и информационную составляющую обеспечения безопасности. Такой подход, на наш взгляд, можно реализовать путем перехода к управлению КИ по мегасостоянию.

Под мегасостоянием (МГС) Φ критической инфраструктуры будем подразумевать вектор-функцию состояний систем инфраструктуры, определяемую с учетом условий, способов обеспечения эффективного и

безопасного использования по назначению инфраструктуры в целом. Задача управления формулируется с учетом представления инфраструктуры в следующем виде:

$$\Phi = \{L, F, E, U, S, SS, I\},$$

где L – множество задач, решаемых КИ;
 F – множество технических состояний, в которых может находиться КИ;
 E – множество режимов эксплуатации КИ;
 U – множество стратегий управления по МГС;
 S – множество систем КИ;
 SS – система безопасности;
 I – множество видов информационных воздействий на системы КИ.

2. Управление безопасностью критической инфраструктурой по мегасостоянию базируется на известных принципах и стратегиях гибкого управления готовностью по техническому состоянию [7] или управления гарантированностью информационно-управляющих систем по информационно-техническому состоянию [8].

3. Управление безопасностью и другими свойствами критической инфраструктуры должно осуществляться в контексте ее эволюции, обусловленной изменением требований к системам, характеристик внешней среды и др.

Заключение. В данной работе представлены ряд принципов анализа, управления безопасностью и готовностью критических инфраструктур. Результаты комбинированного (количественного и качественного) анализа видов, последствий отказов или других событий, влияющих на безопасность, могут быть представлены в таблично-матричной форме, удобной для последующей обработки.

С учетом полученных матриц формулируется задача глобальной оптимизации корректирующих действий, которая может представлять собой суперпозицию задач локальной оптимизации по обеспечению безопасности критических инфраструктур и управления безопасностью по фактическому МГС.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на:

- разработку детальных моделей технического (информационно-технического) состояния инфраструктур;
- постановку, решение задач управления безопасностью и готовностью КИ по мегасостоянию;
- архитектурированию систем безопасности КИ и др.

Литература

1. Тарасюк О. М. Формальные методы разработки критического программного обеспечения. Лекционный материал / О. М. Тарасюк, А. В. Горбенко; [под ред. Харченко В. С.]. – Министерство образования и науки Украины, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2009. – 214 с.
2. IEC 812. Analysis Techniques for System Reliability – Procedure for Failure Modes and Effects Analysis (FMEA). – Geneva: International Electrotechnical Commission, 1985. – 41 p.
3. H. Sozer, B. Tekinerdogan, M. Aksit. Reliability Analysis at the Software Architecture Design Level using Enhanced Failure Modes and Effects Analysis Approach. LNCS 4174, Architecting Dependable Systems IV / R. de Lemos et al. (eds.). – Springer, 2007. – P. 132– 157.
4. Kharchenko V.S., Sklyar V.V. (edits). FPGA-based NPP Instrumentation and Control Systems: Development and Safety Assessment. – RPC “Radiy”, National Aerospace University “KhAI”, State Centre on Nuclear and Radiation Safety, 2008. – 188 p.
5. Технологии высокой готовности для программно-технических комплексов космических систем / [под ред. Харченко В. С., Конорева Б. М.]. – Харьков: Государственный центр регулирования качества поставок и услуг, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», 2010. – 369с.
6. Kharchenko V., Sklyar V., Odaruschenko O., Dependable Computing Systems for Supporting Transformation of the Force Information Infrastructure // Information & Security, 2007, vol. 22. – P.75– 91.
7. Волков Л. И. Управление эксплуатацией летательных комплексов / Л. И. Волков. – М.: Машиностроение, 1981. – 289 с.
8. Харченко В. С. Гарантоздатні системи та багатOVERсійні обчислення в контексті еволюції / В. С. Харченко // Радіоелектронні та комп'ютерні системи. – 2009. – № 7. – С. 12– 27.

Надійшла 14.11.2010 р.

ОСОБЛИВОСТІ ВІДМОВОСТІЙКИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ З ПРОГРАМОВАНОЮ ЛОГІКОЮ ЯК ОБ'ЄКТІВ ДІАГНОСТУВАННЯ

В статті розглянуто особливості відмовостійких комп'ютерних систем з програмованою логікою як об'єктів діагностування. Розглянуто напрямки побудови відмовостійких систем, а також наведена класифікація ПЛІС. Досліджено особливості процесу діагностування відмовостійких комп'ютерних систем на етапі експлуатації.

The article discusses the features of fault-tolerant computer systems with programmable logic as an object of diagnosis. Directions of fault tolerant systems building are considered, and PLD classification is given. Features of fault-tolerant computer systems diagnostic at the guide stage is investigated.

Ключові слова: надійність, безвідмовність, відмовостійкі комп'ютерні системи, ПЛІС, діагностування.

Вступ

Однією з основних проблем побудови обчислювальних систем лишається задача забезпечення їх тривалого функціонування. Ця задача має три складові: надійність, готовність та зручність обслуговування. Всі ці три складові передбачають, в першу чергу, діагностування несправностей системи, які виникають внаслідок відмов та збоїв в її роботі. Підвищення надійності основане на принципі попередження виникнення несправностей шляхом зниження відмов та збоїв за рахунок застосування електричних схем і компонентів з надвисоким ступенем інтеграції, зокрема мікросхем з програмованою логікою. Особливо це актуально для галузей, де помилка в роботі системи або тимчасовий її простій (навіть тривалістю в кілька секунд) призводять до людських жертв та екологічних катаклізмів (ядерна енергетика, військова та авіаційна промисловість, транспортна галузь), або, щонайменше, до значних економічних (фінансова індустрія) втрат.

Відмовостійкі комп'ютерні системи

Особливостями відмовостійких комп'ютерних систем (КС) є: їх висока безвідмовність, безперебійність роботи системи при наявності відмов та більш тривалий життєвий цикл експлуатації. Відмовостійкі системи мають і ряд специфічних характеристик: складність дизайну, висока вартість розгортки, підвищення енергоспоживання, ускладнення системи.

Типи систем за рівнем надійності [1] представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Типи відмовостійких систем за рівнем надійності

Рівень надійності, %	Максимальний час простою, на рік	Тип системи
99	3,5 доби	Звичайна (Conventional)
99,9	8,5 годин	Високої надійності (High availability)
99,99	1 година	Відмовостійка (Fault resilient)
99,999	5 хвилин на рік	Безвідмовна (Fault tolerant)

При виборі та експлуатації відмовостійких систем визначальний вплив мають наступні характеристики:

- 1) доступність – ймовірність того, що система у певний момент часу буде знаходитись в роботоздатному стані;
- 2) безвідмовність – властивість системи протягом певного проміжку часу працювати без відмов;
- 3) висока ремонтоздатність – готовність до роботи після виникнення несправності, яка визначає ступінь складності виправлення дефекту/несправності/помилки у системі.

Розробка відмовостійкої системи, а також її відмовостійка експлуатація, повинні базуватись на розумінні природи таких типів відмов, ймовірність виникнення яких є максимальною за даних умов експлуатації системи.

За часом впливу на об'єкт *відмови* поділяються на [2]: постійні (permanent fault) – одноразовий вплив без можливості наступного використання системи; переривчасті (intermittent fault) – багаторазове повторення ситуації без можливості визначення її закономірності; перехідні (transient fault) – одноразова тимчасова відмова без можливості її повторення при рестарті системи. Відмови можуть виникати раптово (без попереднього погіршення вихідних характеристик) або наперед прогнозуватись за постійними змінами вихідних характеристик [2].

Ціна відмови комп'ютерної системи складається з декількох компонентів [1]: втрати прибутку; непродуктивної роботи персоналу; зростаючої недовіри клієнтів; втрачених ділових можливостей. За оцінками різних дослідників, простій комп'ютерних систем обходиться американському бізнесу в мільярди доларів [1] – порядку сотні тисяч доларів за годину простою. На сьогодні не існує системи, яка гарантує

100 %-ву відмовостійкість [2], тобто 100 %-ву ймовірність безвідмовної роботи протягом заданого проміжку часу.

Існує два основних напрямки побудови відмовостійких систем [2]: 1) використання лише відмовостійких компонентів – при такій реалізації кожен компонент системи може продовжувати своє функціонування, навіть якщо один/декілька підкомпонентів системи виходять з ладу; 2) розроблення методів, які гарантують побудову відмовостійкої системи з невідмовостійких компонентів – відмовостійкість в таких системах реалізується за рахунок введення надлишковості та розроблення спеціального програмного забезпечення, елементних взаємозв'язків та алгоритмів функціонування.

Отже, основною задачею при розробці та експлуатації відмовостійких КС є забезпечення їх надійності.

Технічне діагностування КС передбачає такі основні функції, як контроль їх технічного стану, пошук місця і визначення причин несправності та прогнозування технічного стану [].

Процес діагностування відмовостійких КС на етапі експлуатації має ряд особливостей:

1) можливість виникнення відмови довільних елементів, кількість яких перевищує максимально допустиме число для характерних несправностей;

2) наявність проміжних відмов, які призводять до різних несправностей;

3) вплив невиявлених відмов на результати діагностування;

4) взаємний вплив прихованих несправностей;

5) виникнення додаткових проблем забезпечення надійності при використанні зовнішніх засобів діагностування;

6) вплив типу архітектури таких систем, особливостей зв'язків між елементами (наявність несиметричної нерегулярної структури зв'язків) та кількості цих зв'язків на результат діагностування.

Крім особливостей процесу діагностування КС на етапі експлуатації, самі відмовостійкі комп'ютерні системи, як об'єкти діагностування, мають такі особливості:

1) неможливість або обмеженість доступу до окремих вузлів в реальному часі на етапі експлуатації, особливо в таких галузях, як авіаційна, космічна, атомна енергетика та транспорт;

2) відсутність або висока вартість спеціалізованих апаратних та програмних засобів діагностування КС;

3) наявність надлишковості апаратури для всіх функційних блоків, включаючи процесори, джерела живлення, підсистеми введення/виведення та підсистеми дискової пам'яті, що, в свою чергу, зумовлює особливості цих складових як об'єктів діагностування;

4) ускладнення складових елементної бази апаратних компонентів, що мають високий ступінь інтеграції з різними фізичними та обчислювальними характеристиками.

Слід враховувати також, що на даний час суттєво скорочуються строки проектування та виробництва КС, внаслідок чого етап експлуатації відмовостійких КС недостатньо забезпечений документацією.

Головними характеристиками відмовостійких КС, у порівнянні із стандартними системами, є мінімальна частота відмов та збоїв і швидкий перехід до нормального режиму функціонування після виникнення несправності шляхом швидкого відновлення додатків та мережевих сесій до того стану, в якому вони знаходились у момент відмови системи.

У процесі розробки відмовостійких КС ключовим моментом є вибір оптимальної елементної бази, що має задовольняти певним вимогам. На сьогоднішній день, у зв'язку із значними змінами в технології розробки мікросхем, розробники надають перевагу таким технологіям, які дають змогу збільшити кількість логічних елементів на кристалі, при цьому мати можливість не тільки задавати певну конфігурацію мікросхеми, а й, при потребі, виконувати її конфігурацію; досягти зниження вартості; споживаної потужності і складності систем. Всім цим характеристикам відповідають програмовані логічні інтегральні мікросхеми (ПЛІС). ПЛІС отримали застосування в системах керування військовою технікою, наприклад АРАСНЕ, СОМАНСНЕ, В-52, в системах керування запуском та наведенням ракет, системах керування радаром і т.і [4].

Класифікація ПЛІС

Очевидно, що, на сьогодні, ПЛІС є найбільш перспективною елементною базою для побудови цифрової апаратури різноманітного призначення. Перспективність ПЛІС базується на перевагах, показаних на рис. 1.

ПЛІС класифікують за наступними ознаками [6]:

1) архітектурою;

2) рівнем інтеграції та однорідності/гібридності;

3) кількістю припустимих циклів програмування та пов'язаному з цим типом пам'яті конфігурації.

Наприклад, в одноразово програмованих ПЛІС використовуються елементи з незворотними змінами станів – спеціальні перемички (плавкі – в простих ПЛІС перших поколінь, пробивані – в одноразово програмованих FPGA) або ЛІЗМОП-транзистори. Для одноразово програмованих ПЛІС можливості ЛІЗМОП-транзисторів використовуються лише частково: для них застосовуються такі конструкції, в яких відсутні можливості стирання записаної інформації. В простих ПЛІС перших поколінь застосовувались плавкі перемички типу fuse. У початковому стані такі ПЛІС мали всі можливі з'єднання, а для одержання потрібної конфігурації схеми частина перемичок руйнувалась (перепалювалась). При програмуванні

плавких перемичок виникає певний процент браку. Протягом багатьох років проводилась робота по підбору матеріалів перемичок та вдосконаленню технологічних процесів програмування, тим не менш для ПЛІС високого рівня інтеграції схеми з плавкими перемичками не підійшли. В одноразово програмованих FPGA знайшли застосування пробивані перемички типу antifuse. У початковому стані опори перемичок надзвичайно великі, а в пробитому – достатньо малі. Перемички дуже компактні – їх площа близька до площі перетину двох доріжок між'єднань. Паразитні ємності також дуже малі. У варіанті з плаваючими затворами роль програмованих елементів відіграють однозатворні ЛІЗМОП-транзистори, а кристали мікросхем розташовуються в дешевих корпусах, які не мають спеціальних віконцець для стирання інформації (зарядів в плаваючих затворах). Пам'ять конфігурації з елементами описаного типу називають EPROM-OTP (Electrically Programmable Read-Only Memory – One Time Programmable). Однозатворні ЛІЗМОП-транзистори компактні та дешеві. Одноразово програмовані послідовні ПЛІС випускає фірма Xilinx – серія XC1700 (5- и 3,3-В версії). Фірма Actel випускає наступні одноразово програмовані сімейства ПЛІС (Antifuse): eX – дуже маленькі ПЛІС; MX – невеликі ПЛІС, здатні працювати від одного джерела живлення 5 В; SX – ПЛІС середнього обсягу; Axcelerator – швидкі ПЛІС великого обсягу. Нові сімейства одноразово програмованих ПЛІС з технологією Antifuse фірми Actel характеризуються рекордною надійністю – число відмов/збоїв на 109 год напрацювання (FIT) не більше 10. Компанія QuickLogic, повністю орієнтована на ринок портативних пристроїв, до 2007 року основним своїм продуктом вважала серію недорогих одноразово програмованих ПЛІС PolarPro з низьким енергоспоживанням.

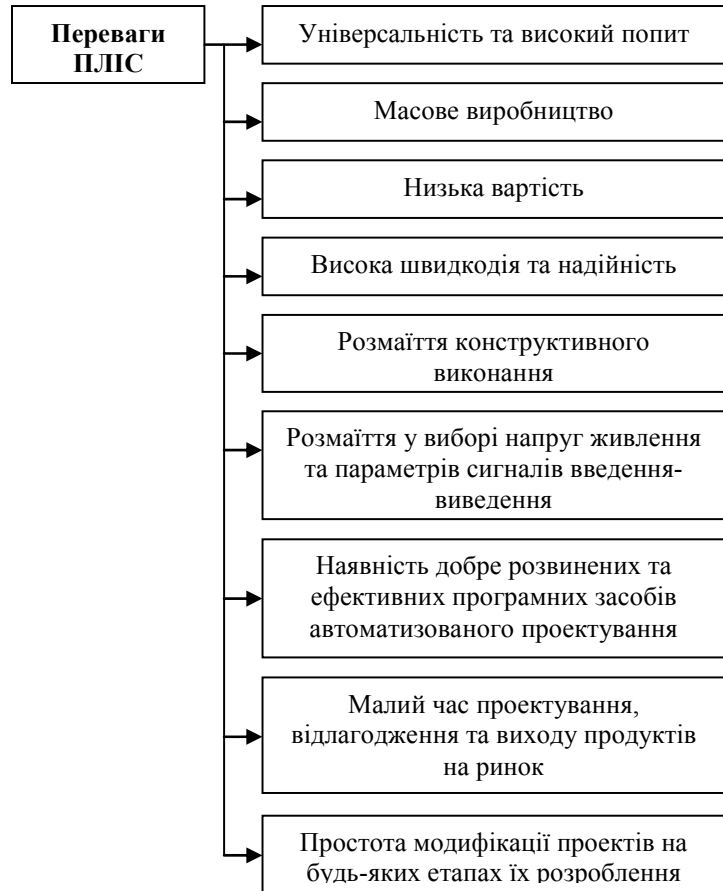


Рис. 1 Переваги ПЛІС

В ПЛІС з динамічним репрограмуванням конфігурація може бути змінена надзвичайно швидко. Перехід від однієї конфігурації до іншої не потребує введення ззовні нового файлу конфігурації. Декілька варіантів налагоджень (файлів конфігурації) вже наперед підготовлені та введені в тінюву пам'ять і постійно зберігаються в ній. Перехід з однієї конфігурації на іншу робиться за один такт по команді керуючого сигналу. ПЛІС типу SRAM на сьогодні випускають: Aeroflex Circuit Technology, Alliance Semiconductor Corporation, AMIC Technology, Elpida Memory, Etron Technology, Fujitsu Media Devices Limited, GSI Technology, Honeywell Solid State Electronics Center, Integrated Circuit Solution, Integrated Device Technology, Intersil Corporation, Integrated Silicon Solution, IXYS Corporation, Maxwell Technologies, Mosel Vitelic, NEC, Sanyo Semicon Device, Sharp Electronic Components, STMicroelectronics, White Electronic Designs Corporation, Winbond, G-Link Technology Corp., MoSys. ПЛІС з динамічним репрограмуванням виготовляють: Xilinx, Altera, Actel, Lattice. Фірмою Xilinx випускаються наступні серії ПЛІС FPGA по SRAM КМОП технології: серія Virtex, серія Spartan, серія XC4000, серія XC5200, серія XC3000 [7-10].

Отже, ПЛІС мають переваги в гнучкості розробки системи на кристалі та наявності внутрішньої пам'яті, які можуть використовуватись для: розширення структури забезпечення відмовостійкості та забезпечення широкого обсягу помилок обчислювального процесу на базі кристалу; забезпечення послідовності відновлення типу "зупинка-фіксація-перезапуск"; відключення не всього обчислювача, а його частин, які є причиною виникнення помилок.

Враховуючи гнучкість проектування з використанням ПЛІС-технології, стає можливою побудова модуля виявлення несправностей та керування перемиканням на базі одного кристалу, що дозволяє реалізовувати апаратно-кероване відновлення, яке не виходить за межі кристалу.

В зв'язку із значними змінами в технології розробки мікросхем з приходом ПЛІС, проводились численні дослідження одного з підходів до реалізації відмовостійких систем – ПЛІС, які дозволяють не лише реалізовувати складні проекти на одному кристалі і проводити багаторівневу верифікацію на всіх етапах розробки, але й здійснювати оперативну реконфігурацію внутрішньої архітектури в процесі їх функціонування. Саме тому використання ПЛІС-систем дає можливість здійснити перехід на нову фазу розвитку. Отже, технічне діагностування відмовостійких КС з програмованою логікою не може

здійснюватись однорідними засобами діагностування. Особливості відмовостійких комп'ютерних систем з програмованою логікою як об'єктів діагностування зумовлюють необхідність застосування комплексних підходів до діагностування таких систем. багатoversійних систем та технологій, які забезпечують відмовостійкість інформаційно-керуючих систем [4].

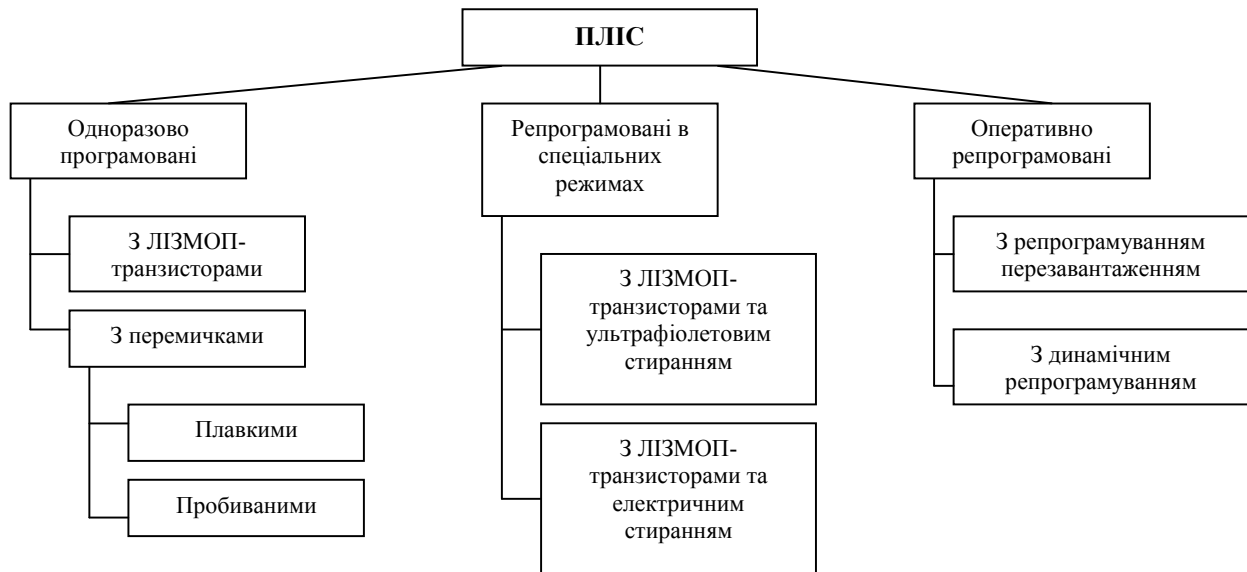


Рис. 2. Класифікація ПЛІС за типом тійової пам'яті

Отже, технічне діагностування відмовостійких КС з програмованою логікою не може здійснюватись однорідними засобами діагностування. Особливості відмовостійких комп'ютерних систем з програмованою логікою як об'єктів діагностування зумовлюють необхідність застосування комплексних підходів до діагностування таких систем. ПЛІС-систем без вилучення ПЛІС зі складу схеми дозволяє частково вирішити проблему забезпечення відмовостійкості бортових комплексів та космічних апаратів, де розробники не мають можливості виправити помилки проектування і не можуть боротись із старінням таких систем, термін служби яких складає 20-40 років [4].

Незважаючи на всі наявні переваги використання ПЛІС в складі відмовостійких КС існує ряд причин, що ускладнюють процес діагностування і таким чином визначають особливості ПЛІС, як об'єкта діагностування:

- 1) ПЛІС як об'єкт діагностування не дають можливості достатньо повного формального представлення логічними рівняннями, графами тощо;
- 2) потреба діагностування ПЛІС може виникнути на будь-якому інтервалі часу віддаленому від початку функціонування КС;
- 3) більшість ПЛІС відомих виробників мають у своєму складі вбудовані засоби діагностування, що не завжди можуть суміщатись з іншими апаратно-програмними засобами діагностування.

Висновок

Отже, технічне діагностування відмовостійких КС з програмованою логікою не може здійснюватись окремими засобами діагностування. Особливості відмовостійких комп'ютерних систем з програмованою логікою як об'єктів діагностування зумовлюють необхідність застосування комплексних підходів до діагностування таких систем.

Література

1. Медея Цнобиладзе. Отказоустойчивые компьютерные системы: путь к максимальной эффективности / Медея Цнобиладзе // <http://www.pcweek.ru/themes/detail.php?ID=45692>
2. Отказоустойчивые системы: зачем нужны и как построить // http://www.cnews.ru/reviews/index.shtml?2006/05/26/202334_1
3. G. Candea. Principles of Dependable Computer Systems. Lectures in Stanford University, 2003, 2006, 2007
4. Федухин А.В. ПЛІС-системы как средство повышения отказоустойчивости / Федухин А.В., МухаА.А., МухаА.А // Математичні машини і системи. – Київ: Інститут проблем математичних машин і систем, 2010. – № 1, с.198-204
5. Локазюк В.Н. Отказоустойчивые встроенные системы на программируемой логике. Лекционный материал / Локазюк В.Н., Остроумов С.Б., Поморова О.В., Прохорова Ю.Н., Ушаков А.А., Харченко В.С. / Под ред. Харченко В.С. – Министерство образования и науки Украины, Национальный аэрокосмический

університет "ХАІ", 2008. – 264 с.

6. Грушвицкий Р.И. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики / Грушвицкий Р.И., Мурсаев А.Х., Угрюмов Е.П.. – СПб.: БХВ -Петербург, 2002. – 608 с.

7. Бахмач Е.С. Отказобезопасные информационно-управляющие системы на программируемой логике / Бахмач Е.С., Герасименко А.Д., Головир В.А., Сиора А.А., Скляр В.В., Токарев В.И., Харченко В.С. / Под ред. Харченко В.С., Скляра В.В. – Национальный аэрокосмический университет "ХАИ", Научно-производственное предприятие "Радий", 2008. – 380 с.

8. Стешенко В.Б. ПЛИС фирмы Altera: элементная база, система проектирования и языки описания аппаратуры / Стешенко В.Б. – М.: Додэка-XXI, 2002. – 576 с.

9. Ушаков А.А. Проектирование цифровых устройств на ПЛИС в САПР Quartus II / Ушаков А.А., Нечаусов С.Н., Волковая А.А. – Харьков: Национальный аэрокосмический университет "ХАИ", 2006. – 50 с.

Надійшла 14.11.2010 р.

УДК 681.325: 519.713

В.М. ЛОКАЗІЮК, Д.М. МЕДЗАТИЙ

Хмельницький національний університет

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ПРИСТРОЇВ З ПРОГРАМОВАНОЮ ЛОГІКОЮ

В роботі розглянуто та проведено класифікацію інтегральних схем з програмованою логікою. Проведено аналіз надійності інтегральних схем з програмованою логікою за трьома напрямками: надійність самих інтегральних схем, придатність до діагностування та ефективність засобів контролю. Надано оцінку методики проведення прискорених випробувань інтегральних схем. Обґрунтовано ефективність та доцільність використання інтегральних схем з програмованою логікою у спеціалізованих та критичних системах.

In this paper classification of Application Specific Standard Products was conducted in order to study efficiency of use in specific and critical systems. The assessment of FPGA reliability was made by subdivided into three ways: the reliability of integrated electronics, efficiency of diagnosis and control methods. The efficiency and reasonability of FPGA use in the critical systems were established.

Ключові слова: діагностування, пристрої з програмованою логікою, інтегральні схеми з програмованою структурою.

Вступ

На сьогодні, інтегральні схеми з програмованою структурою (ASSP Application Specific Standard Products) є достатньо конкурентоздатною технологією для розроблення цифрових пристроїв довільної складності. В порівнянні із інтегральними схемами, які мають жорстку структуру інтегральні схеми з програмованою структурою (ІСПС) мають ряд переваг, що роблять їх використання привабливим як для розробників, так і для виробників інтегральних схем. Серед таких переваг можна виділити низьку вартість (найпростіші моделі – до 2 у.о.), високу швидкодію (час проходження сигналу від 1 н.с., частота до 500 МГц), можливість багаторазового перепрограмування, значні функційні можливості, низька споживана потужність, високий ступінь інтеграції (регулярність структури дозволяє застосовувати 0,15-0,13 мікронну технологію), великий відсоток виходу придатних інтегральних схем та інші [1, 2]. Крім великого відсотку виходу придатних мікросхем, слід відзначити і доволі високий рівень їх надійності [3].

Однак, використання пристроїв з програмованою структурою не завжди є доцільним. Наприклад, немає сенсу використовувати схеми з програмованою структурою, якщо планується масове виробництво пристрою, який проектується. При масовому виробництві, витрати на проектування інтегральної схеми, що замовляється, будуть розкладені на всі екземпляри. Чим більший тираж таких інтегральних схем (ІС), тим менша частка витрат на проектування закладена у вартість конкретної ІС. В цьому разі, більш доцільним є використання спеціалізованих інтегральних схем (ASIC – Application Specific Integrated Circuit) [1, 4]. В порівнянні з ІСПС вони мають ряд принципових переваг. Однак їх використання є виправданим для великих партій пристроїв. У випадку виготовлення невеликої партії спеціалізованих пристроїв, а це, як правило, периферійні модулі комп'ютерних систем (пристрої спряження, інтерфейсні засоби, засоби захисту інформації, апаратура підтримки телекомунікацій, апаратних прискорювачів) або високопродуктивна апаратура спеціалізованих систем (обробка сигналів реального часу, автономні інтелектуальні давачі, засоби кодування та декодування інформації), використання замовних ІС є недоцільним, оскільки їх вартість буде надвелика, в наслідок витрат на проектування [1,2]. В цьому випадку варто скористатись інтегральними схемами з програмованою структурою. При такому підході, на сьогодні, проектувальник має доволі широкі можливості щодо вибору конкретної технології. Неможливо однозначно зробити висновок яка з технологій, або які з програмованих схем кращі. Вибір доводиться робити зважаючи на умови конкретного проекту. Найвагомішими факторами є кількість необхідних для виготовлення екземплярів, можливості виробничих потужностей, вимоги до надійності та продуктивності, складність реалізації проекту з використанням тієї чи іншої технології, а також фінансові аспекти проекту [1, 4].

Разом з тим, не зважаючи на суттєві переваги, пристрої, що мають у складі ІСПС, мають і ряд особливостей, які впливають як на їх надійність так і експлуатаційні характеристики. Зокрема, наявність у

структурі пристрою елементів з програмованою структурою, ускладнюють процес їх діагностування. Відомі методи та підходи до діагностування таких пристроїв, як правило, обмежуються конкретними інтегральними схемами з програмованою логікою, а іноді і окремими блоками ІС, і не дають уявлення про вплив надійнісних та діагностичних особливостей останніх на пристрій в цілому [5-8].

Таке положення вимагає проведення аналізу відомих класів пристроїв з програмованою логікою щодо їх надійнісних характеристик, пристосованості та доцільності використання при проектуванні спеціалізованих пристроїв, а також особливостей, які вносять ІСПС у процес діагностування комп'ютерних пристроїв та систем.

Класифікація пристроїв з програмованою логікою

Для проведення аналізу та визначення особливостей впливу елементів з програмованою логікою на надійність та процес діагностування, слід провести їх класифікацію та обмежити клас об'єктів дослідження. Класифікацію цифрових інтегральних схем може проводитись за багатьма ознаками. Однією з найбільш «глобальних» є ознака того, наскільки масовим та спеціалізованим є замовлення. Згідно цієї ознаки всі цифрові схеми поділяються на *стандартні* та *спеціалізовані*. Стандартні ІС користувач отримує як готовий пристрій (off-the-shelf), вони виробляються масовими партіями, що дозволяє знизити їх собівартість. Стандартні ІС, як правило, мають жорстку внутрішню структуру, яка не дозволяє користувачу впливати на характер їх функціонування [1].

На відміну від стандартних, спеціалізовані ІС, які мають індивідуальні функційні особливості доводиться проектувати за конкретним замовленням. Проектування спеціалізованих ІС – складний процес, що потребує додаткових капіталовкладень, тому природним є намагання розробників цифрових пристроїв використовувати стандартні ІС. Однак, це може призводити до ускладнення процесу проектування, тому такий підхід не завжди є доцільним. Спеціалізовані ІС (ASIC) поділяються на замовні (Fully Custom IC) та на частково замовні (Standard Cell Logic). Клас замовних ІС складають схеми які від початку і до виходу готового примірника розробляються індивідуально, проходячи усі стандартні етапи процесу проектування ІС. Частково замовні ІС будуються на базі готових кристалів, логіка функціонування для яких жорстко задається однократним програмуванням при виробництві. Такий підхід значно дешевший замовних ІС, однак ефективність та функційні можливості обмежуються базовим кристалом.

До стандартних ІС відносять схеми малого та середнього ступеня інтеграції (SSI – Small Scale Integration, MSI – Medium Scale Integration), великі та надвеликі інтегральні схеми мікропроцесорів та мікропроцесорних пристроїв (MP – Microprocessor, MC – Microcontroller), великі та надвеликі інтегральні схеми запам'ятовуючих пристроїв (Memory IC), а також інтегральні схеми з програмованою структурою [1]. ІСПС можуть розглядатися користувачем як спеціалізовані, оскільки, залежно від програми, одна і та ж ІС здатна виконувати різні функції. Водночас, з точки зору виробника, ІСПС є стандартними, незалежно від того які саме функції буде виконувати конкретна ІСПС у кінцевому пристрої. Саме ця унікальна особливість дозволяє користувачу проектувати пристрої з використанням, фактично, спеціалізованих ІС за вартістю стандартних. На думку авторів, враховуючи останні тенденції щодо виробництва та використання ІСПС, доцільно обмежитись розглядом програмованих логічних пристроїв (PLD – Programmable Logic Device) або програмованих логічних інтегральних схем (ПЛІС). У відповідності до архітектурних особливостей PLD поділяють на наступні три класи [9]: прості PLD (SPLD – Simple PLD), складні (Complex PLD) та вентильні матриці, що програмуються користувачем (FPGA – Field Programmable Gate Arrays) (рис. 1). У певних джерелах [1] додатково виділяють FPGA з комбінованою архітектурою. Такі інтегральні схеми не мають чітко окреслених архітектурних особливостей за якими їх можна однозначно віднести до CPLD або FPGA. Разом з тим, навіть у межах окремого класу (CPLD або FPGA), кожен виробник вносить певні архітектурні особливості, що робить ІС кожного виробника специфічними, незважаючи на спільні загальні засади.

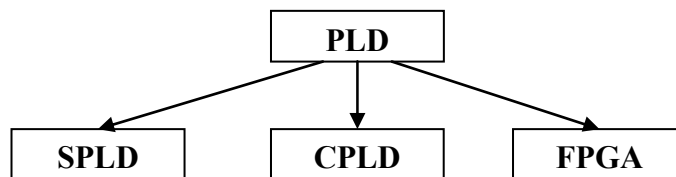


Рис. 1. Класифікація PLD за структурною організацією

За типом налагоджуваного елемента PLD поділяються на такі що програмуються: за допомогою статичного оперативного запам'ятовуючого пристрою (Static RAM); за допомогою електрично перезаписуваного постійного запам'ятовуючого пристрою (EEPROM – Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory), або з ультрафіолетовим перезаписом (EPROM – Erasable Programmable Read-Only Memory); за допомогою використання Antifuse-технології (між комутаційними шарами утворюються канали).

За кількістю можливих циклів перепрограмувань ІСПС можна поділити схеми з одноразовим та багаторазовим перепрограмуванням. Більшість PLD, незалежно від того скільки циклів перепрограмування є допустимим, програмуються користувачем під час експлуатації. Виключення становлять масове виробництво, тоді ІСПС можуть програмуватись виробником з використанням «шаблонів».

Щодо передбачуваності затримки розповсюдження сигналу у ІС, то у SPLD час проходження

сигналу з довільного входу на довільний вихід є сталою величиною. Для CPLD затримка не є сталою, але достатньо просто розраховується. В FPGA затримка повністю залежить від шляху який проходить сигнал з конкретного входу на конкретний вихід та змінюється при зміні трасування зв'язків.

Надійність ІСПС

Одним з найважливіших факторів ризику, пов'язаних із використанням елементів з програмованою логікою при проектуванні і виробництві мікропроцесорних пристроїв є їх надійність. В цьому сенсі, надійність слід розглядати як багатофакторну та багатогранну властивість, яка є дещо ширшою за класичне визначення надійності.

Класичні методи розрахунку надійності [10, 11] цифрових схем не враховують особливості їх організації та експлуатації при використанні елементів з програмованою логікою, особливо, якщо це FPGA. Разом з тим, для програмованих схем, які не використовують зовнішню пам'ять для збереження даних ініціалізації, ці особливості не настільки принципові, і у випадку наближених розрахунків ними можна знехтувати.

Таким чином, проводячи оцінку надійності систем, до складу яких входять елементи з програмованою логікою, слід враховувати наступні фактори:

- 1) надійність самих інтегральних схем з програмованою логікою;
- 2) придатність до діагностування;
- 3) засоби оцінки коректності кінцевого проекту.

Надійність інтегральних схем з програмованою логікою принципово не відрізняється від надійності типових ІС запам'ятовуючих пристроїв із тим самим технологічним процесом. Аналізуючи етапи та способи контролю типового технологічного процесу виготовлення ІС типу EPROM, EEPROM та FLASH (Flash memory) [12] (табл. 1) можна зробити висновок про достатність виробничого контролю. Кожен етап технологічного процесу виготовлення програмованих інтегральних схем забезпечений ефективними засобами та методами контролю, які дозволяють виробнику та користувачу бути впевненими у якості кінцевої продукції. Особливої уваги заслуговує той факт, що на етапі (Data Retention Bake) виконується не звичайний контроль, а проводяться повнофункційні прискоренні випробування з метою виявлення дефектів напівпровідникових пластин, що можуть проявлятися при підвищеній температурі. У табл. 1 наведені параметри випробувань (245°C, 48 годин), що використані фірмою "Altera". У більшості ж випадків використовуються дещо інші параметри (96 годин при 150°C або 48 годин при 180°C).

Таблиця 1

№	Назва етапу	Методи та засоби контролю
1.	Виготовлення напівпровідникових пластин (Wafer Fabrication)	До всіх критичних кроків процесу виготовлення напівпровідникових пластин застосовується статистичний контроль (SPC Control)
2.	Контроль напівпровідникових пластин (Wafer Inspection)	Виконується візуальний контроль та електронне тестування (E-test) 100 % вироблених пластин.
3.	Відбір напівпровідникових пластин (Wafer Sort 1)	Проводиться тестування та контроль параметрів живлення (DC Parametric), оцінюються функційні можливості, програмованість (Programmability) та збереженість інформації (Non-Volatile Margin)
4.	Контроль збереження даних (Data Retention Bake)	Проведення випробувань з метою перевірки збереженості записаної інформації. Випробування протягом 48 годин при температурі 245°C (для всіх типів ІС: EPROM, EEPROM, FLASH)
5.	Другий етап відбору напівпровідникових пластин (Wafer Sort 2)	Параметричний контроль (Margin Test) EPROM, EEPROM та FLASH
6.	Збирання (Assembly)	Вибірковий візуальний контроль, маркування (inline mark)
7.	Прикінцеве тестування (Final Test)	Параметрика рівня напруг (AC and DC Parametrics), контроль функційності та програмованості, конфігурування статичних запам'ятовуючих пристроїв.
8.	Контроль електричних параметрів (QA Electrical)	Випробування зі ступеневою зміною напруги (SS=116, C=0)
9.	Маркування (Mark)	Візуальний контроль маркування
10.	Візуальний контроль (Visual Inspection)	Візуальний, в тому числі і механізований контроль ІС з кількістю виводів більше 44
11.	Контроль якості (QA Inspection)	Ступеневий контроль. Документування
12.	Пакування та монтаж (Inner Box and Transfer to Finished Goods)	Контроль програмування, візуальний контроль під час монтажу та пакування
13.	Реалізація	Гарантійне обслуговування

Провідні виробники ІС з програмованою логікою (Altera, Atmel, Xilinx та ін.), крім контролю на

етапах технологічного процесу виготовлення ІС, регулярно проводять та ознайомлюють споживачів з результатами власних досліджень щодо надійності ІС. Це стосується як ІС з програмованою логікою (як правило CPLD та FPGA), так і інших ІС. Звіти з надійності ІС різних фірм виробників [12-14] достатньо схожі та містять результати і аналіз прискорених випробувань нових ІС. В згаданих джерелах також приведено розрахунок інтенсивності відмов різних типів ІС за результатами прискорених випробувань. Серед методів тестування, які використовуються виробниками, доцільно відмітити наступні.

Data Retention Bake – перевірка здатності елементів пам'яті зберігати інформацію за високою температурою та відсутності живлення.

High Temperature Operating Life. Метою тесту є пришвидшення прояву дефектів, що активізуються на підвищеній температурі ($\approx 150^\circ\text{C}$) та напрузі живлення. Отримані результати тесту дають можливість визначити такі показники, як рівень ранніх відмов (EFR – Early Failure Rate) та рівень відмов, які характерні для даного пристрою IFR (Intrinsic Failure Rate). EFR вимірюється у бракованих виробках на мільйон, а IFR – у відмовах за проміжок часу.

Highly Accelerated Stress Test призначений для перевірки стійкості ІС з пластиковим корпусом до жорстких умов зовнішнього середовища. Умови тестування – 130°C та відносна вологість 85 %.

Steam Pressure Pot – тест спрямований на оцінку стійкості пластикових корпусів до жорстких умов експлуатації та підвищеного тиску на корпус. Умови тестування – 121°C , відносна вологість 100 % та тиск $\approx 15\text{кг/см}^2$.

Temperature Cycle – тест призначений для оцінки чутливості ІС до термічних змін, а саме до розширення та стиснення матеріалів при достатньо різкій зміні температури від нижньої до верхньої границі і навпаки.

Перераховані тести відносяться до групи стресових випробувань. За умови проходження тестів всіма 100 % виробів, споживач може бути впевненим у надійності кінцевої ІС.

Інтенсивність відмов розроблених ІС з програмованою логікою розраховують як [12-14]:

$$\lambda = \frac{\chi^2 \cdot 10^9}{2 \cdot AF \cdot DH}, \quad (1)$$

де λ – інтенсивність відмов (FITs – Failure In Time);

χ^2 – оцінка ненадійності (інтервал довіри), оцінюється як $(2n + 2)$, де n – кількість відмов;

AF – фактор акселерації ($TAF \times VAF$), де TAF – Thermal Acceleration Factor (фактор термічної акселерації), VAF – Voltage Acceleration Factor (фактор акселерації за напругою);

DH – кількість приладогодин (кількість приладів \times кількість годин роботи).

Складові фактору акселерації прискорених випробувань розраховуються наступним чином. Фактор термічної акселерації розраховується як:

$$TAF = e^{\frac{E_a}{k} \left[\frac{1}{T_f + (P_f \cdot \theta_{JAf})} - \frac{1}{T_s + (P_s \cdot \theta_{JAs})} \right]}, \quad (2)$$

де E_a – енергія тепло-активації (в більшості випадків використовується значення 0.7 eВ, для визначення інтенсивності відмов EPROM використовується значення 0.58 eВ);

k – константа Больцмана ($8.617 \cdot 10^{-5}$ eВ/°K);

T – температура (°K);

f – умови нормальної експлуатації (Field Conditions);

s – стресові умови (Stress Conditions);

P – споживана (розсіювана) потужність (Вт);

θ_{JA} – коефіцієнт термічного опору (вплив зовнішнього середовища, °C/Вт).

Фактор акселерації за напругою:

$$VAF = e^{Z \cdot [V_s - V_n]}, \quad (3)$$

де V_s – напруга стресових випробувань (В);

V_n – напруга нормальної експлуатації (В);

Z – константа акселерації (як правило, $0.5 < Z < 1.0$).

Отримані результати розрахунку інтенсивності відмов ІС за формулою (1) виробники подають у якості звіту. Звіти формуються з певною періодичністю, наприклад, за квартал. Такі дані дають можливість користувачу завчасно ознайомитись із надійнісними показниками інтегральних схем та прийняти рішення щодо доцільності їх використання у своїх проектах.

У таблиці 2 надана зведена інформація про кількість отриманих відмов при тестуванні ІС за методикою High Temperature Operating Life та Data Retention Bake з класифікацією за типом інтегральних схем.

Наведені результати випробувань свідчать про високу надійність та стійкість до зовнішніх несприятливих факторів сучасних інтегральних мікросхем. Особливої уваги заслуговує той факт, що серед наведених класів пристроїв найвищу надійність при прискорених випробуваннях показали вентильні

програмовані матриці (FPGA).

Таблиця 2

№	Тип інтегральних схем	High Temperature Operating Life		Data Retention Bake	
		Кількість приладогодин	Інтенсивність відмов (FITs)	Кількість приладогодин	Інтенсивність відмов (FITs)
1.	AGP	648 000	40	Тестування не проводиться	
2.	ASIC (спеціалізовані інтегральні схеми)	2 472 240	11	654 500	12
3.	MEMORY (мікросхеми пам'яті)	1 858 860	8	770 000	10
4.	MCU (мікропроцесорні пристрої керування)	1 367 888	40	1 630 500	5
5.	RFA (підсилювачі високих частот)	2 771 000	3	Тестування не проводиться	
6.	FPGA (вентильні матриці програмовані користувачем)	9 117 988	2	3 055 000	3

При аналізі інтенсивності відмов однотипних ІС з програмованою логікою, виготовлених з використанням різного технологічного процесу, виявлено тенденцію до зменшення інтенсивності відмов зі збільшенням щільності розташування компонентів [14]. Основні результати тестування ІС фірми "Xilinx" подано у таблиці 3. Наведені у таблиці результати свідчать не тільки про підвищення надійності із поліпшенням технологічного процесу, але й ще раз доводять надійність FPGA в порівнянні з іншими типами ІС з програмованою логікою.

Таблиця 3

№	Технологічний процес виготовлення ІС (мкм)	Тип програмованої ІС	Кількість приладогодин	Інтенсивність відмов (FIT)
1.	0.09	FPGA	9 718 259	1
2.	0.15	FPGA	3 150 650	8
3.	0.15	EPROM	2 110 352	12
4.	0.35	FPGA	4 456 867	15
5.	0.35	EPROM	1 026 686	24
6.	0.6	EPROM	1 057 908	23

Оцінюючи інтенсивність відмов сучасних ІС з програмованою логікою, слід зазначити, що виробники подають цю інтенсивність у FITs (Failure per Interval of Time), що фактично відповідає одній відмові на 10^9 приладогодин. Наприклад, очікування п'яти відмов при експлуатації одного мільйону ІС протягом тисячі годин відповідає інтенсивності відмов у 5 FITs. Тому наведені у звітах дані слід сприймати з розумінням їх технології розрахунку. Описана методика розрахунку інтенсивності відмов не дає можливості використовувати отримані значення для обчислення інших показників надійності, зокрема середнього часу напрацювання на відмову та інших.

Наступним складовим фактором оцінки надійності систем побудованих на ІС з програмованою логікою є їх придатність до діагностування. Під придатністю до діагностування ІС з програмованою логікою будемо розуміти ефективність засобів та методів визначення працездатності ІС, ефективність та результативність методів пошуку несправностей та можливості щодо усунення виявлених несправностей. Однією з основних проблем при діагностуванні ІС з програмованою логікою є те, що такі ІС слід розглядати як сукупність самої апаратури та програми, яка відповідає за реалізацію функцій покладених на ІС. В цьому сенсі є принципова різниця щодо оцінки працездатності самої ІС як суто апаратної частини та проекту як сукупності апаратної та програмної частин. Оцінку працездатності функційних блоків ІС з програмованою логікою взяли на себе виробники. Абсолютна більшість мікросхем FPGA мають вбудовані засоби самоконтролю. Такий контроль направлений на оцінку працездатності перед початком функціонування. Оскільки вбудовані засоби контролю та діагностування, як правило, більш ефективні ніж решта засобів [10], то така оцінка з точки зору інтеграції FPGA до певної системи є цілком достатньою. У випадку необхідності більш розширеного контролю працездатності апаратної складової, слід обирати ІС, які дозволяють отримати інформацію про результати такого контролю через інтерфейс JTAG. Для організації такого тестування та опрацювання його результатів пристрої на ІС з програмованою логікою повинні бути обладнані додатковими зовнішніми засобами на які і будуть покладені ці функції [15]. Враховуючи те, що оцінюючи надійність систем побудованих на FPGA більш принциповою властивістю є їх відмовостійкість, то використання додаткових засобів для локалізації несправності є невиправданим, оскільки наявність несправності вже призведе до відмови підсистеми в цілому.

Щодо визначення працездатності проекту в цілому, то це достатньо нетривіальна задача, яка не може бути розв'язана виробником самостійно. В цьому напрямі виробник може контролювати та

гарантувати лише надійність виконання функції перенесення програми конфігурації із зовнішньої енергонезалежної пам'яті до FPGA. Решта складових цієї задачі переноситься на користувача. Користувач самостійно, у випадку необхідності, повинен передбачити контроль програмної частини, за рахунок введення певної надлишковості [15]. Таке положення вимагає від розробників додаткових витрат часу на проектування.

Аналіз методів діагностування ІС з програмованою логікою [5, 8, 15, 16], метою яких є виявлення та локалізація несправностей, свідчить про суттєві досягнення у цій галузі. Розроблені та запропоновані методи дозволяють з достатньою ефективністю виявити та локалізувати несправності як фізичні (проблеми кристалу) так і логічні. Однак, ці методи доцільно використовувати у менш критичних системах, при експлуатації яких передбачено певний час для відновлення. В більш критичних системах використання цих методів доцільне лише на етапах проектування.

Останньою складовою оцінки придатності до діагностування є наявність методів та засобів усунення (виправлення) несправностей. Ця проблема може вирішуватись, як виробниками так і самими користувачами при розробленні проектів. Фірмою "Xilinx" запропонований ефективний підхід, який дозволяє при виявленні та фіксації помилки перемкнутись на справний компонент [17, 18]. Основна одиниця при відновленні – рядок або стовпець. На сьогодні, такий підхід застосовується і до ІС з програмованою логікою й інших виробників. Використання генетичних алгоритмів для автономної реконфігурації у випадку виявлення помилки дозволило забезпечити надійність діагностування дефектів на рівні 99 %, і скоротити час відновлення до 36 мс [19]. При цьому виключене використання додаткових зовнішніх засобів. В роботі [20] запропоновано підхід до відновлення роботоздатності кристалу FPGA, який є не критичним до часу і ґрунтується на заміні локальних CLB на додаткові надлишкові CLB. Результати наведених робіт доводять ефективність використання FPGA у відмово стійких системах, оскільки дозволяють реалізувати резервування з можливістю автономного відновлення працездатності безпосередньо на кристалі.

Третьою складовою надійності систем побудованих з використанням ІС з програмованою логікою є наявність засобів оцінки коректності розроблених проектів. Ця задача цілком покладесться на спеціалізоване програмне забезпечення розроблення та моделювання проектів на ІС з програмованою логікою. Провідні фірми виробники ІС приділяють значну увагу розробленню та супроводженню таких програмних комплексів. Вони покликані максимально спростити роботу користувача шляхом автоматизації виконання певних підзадач та підвищити ефективність та надійність проектів шляхом постійного контролю етапів розроблення. Іншим позитивним моментом проектування систем з використанням елементів з програмованою логікою є можливість користувача багаторазово перепрограмувати FPGA та проводити тестування безпосередньо кінцевого продукту, а не лише його моделі.

Висновки

Підбиваючи підсумки оцінки надійності ІС з програмованою логікою як компонентів спеціалізованих та критичних систем відзначимо наступне:

1) для реалізації власних проектів на ІС з програмованою логікою користувач, залежно від специфіки та складності проекту, може обирати ІС з широким спектром функційних, надійнісних та проектних характеристик (SPLD, CPLD, FPGA та ін.);

2) надійність ІС з програмованою логікою відповідає найжорсткішим вимогам, а виробники регулярно ознайомлюють користувачів з результатами прискорених випробувань всіх ІС з програмованою логікою;

3) результати оцінки надійності ІС з програмованою логікою, які надаються виробниками придатні для прийняття рішення щодо вибору тієї чи іншої ІС для використання;

4) відомі методи діагностування FPGA дозволяють з високою достовірністю віднаходити та локалізувати несправності різного характеру;

5) ефективні методи діагностування, наявна структурна надлишковість на кристалі FPGA та можливе введення «логічної» надлишковості надають ефективні засоби оперативного відновлення працездатності FPGA при виявленні несправностей.

Перераховані особливості ІС з програмованою логікою в порівнянні з системами на жорсткій логіці свідчать про доцільність та ефективність використання FPGA у спеціалізованих системах та системах з критичними вимогами щодо надійності.

Література

1. Грушвицкий Р.И. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики / Грушвицкий Р.И., Мурсаев А.Х., Угрюмов Е.П. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608 с.
2. Проектирование встраиваемых микропроцессорных систем на основе ПЛИС фирмы XILINX®. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 520 с., ил.
3. Device Reliability Report. Xilinx Inc. UG116 (v5.9) May 2010. – 106 p.
4. Brovn S., Zvonko Vranesic. Fundamentals of Digital Logic with VHDL Design. The McGraw Hill, – 2000. – 530 p.
5. Abramovici M., Melvin A. Breuer, Arthurd D. Friedman Digital Systems Testing and Testable Design. – IEEE Press., NewYork, – 1999. 652 p.

6. Huang W.K., Meyer F.J., and Lombardi F. An Approach for Detecting Multiple Faulty FPGA Logic Blocks, IEEE Trans. on Computers, Vol. 49, No. 1, 2000. – pp. 48-54.
7. Lakamraju V. and Tessier R. Tolerating Operational Faults in Cluster-based FPGAs. Proc. ACM/SIGDA International Symp. on FPGAs, Febr. 2000. – pp. 187-194.
8. Wang, S. J., et al., Test and diagnosis of faulty logic blocks in FPGAs. Proc. ICCAD, 1997. – pp. 722-727.
9. Соловьев В.В., Програмуемые логические интегральные схемы и их применение / Соловьев В.В., Васильев А.Г. – Мн.: Беларуская навука, 1998. – 266с.
10. Локазюк В.М. Надійність, контроль, діагностика і модернізація ПК: [посібник] / Локазюк В.М., Савченко Ю.Г. – К.: Видавничий центр «Академія», 2004. – 376 с.
11. Надежность технических систем: справочник / [Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др.]; под ред. И.А. Ушаков. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.
12. Altera Corporation. Reliability Report 50. – Q3 2010. – 50 p.
13. Atmel. Reliability Monitor Report. 2010. – 14 p.
14. Xilinx. Device Reliability Report. (ug116). 2010. – 106 p.
15. Erik Chmelar The Test and Diagnosis of FPGAs. A dissertation submitted to the department of electrical engineering and the committee on graduate studies of Stanford university. Stanford University. 2004. – 112 p.
16. Abramovici, M., C. Stroud, “BIST-Based Detection and Diagnosis of Multiple Faults in FPGAs, ” Proc. Int’l Test Conf., 2000. – pp. 119-141.
17. Subhasish M. Reconfigurable architecture for autonomous self-repair / M. Subhasish, W. – J. Huang, N.R. Saxena, E.J. McCluskey // IEEE Design & Test of Computers. – Volume 21, Issue 3. – 2004. – P. 228-240.
18. Хаханов В.И., Сервисное обслуживание современных цифровых систем на кристаллах / Хаханов В.И., Литвинова Е.И., Ngene Christopher Umeran // Радіоелектронні комп’ютерні системи. – 2009. – № 7. – С. 319-323.
19. Ross R. A FPGA Simulation Using Asexual Genetic Algorithms for Integrated Self-Repair / R. Rose, R. Hall // Adaptive Hardware and Systems, 2006. – AHS 2006. – First NASA/ESA Conference on Volume. – Issue 15-18 June 2006. – P. 301-304.
20. Habermann S., Kothe R., Vierhaus H.T. Built-in self repair by reconfiguration of FPGAs // Proceedings of the 12th IEEE International Symposium on On-Line Testing. – 2006. – P. 187-188.

Надійшла 7.11.2010 р.

УДК 519.68

Г.Г. ЦЕГЕЛИК, Р.О. ОБУХІВСЬКИЙ
Львівський національний університет імені Івана Франка

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ОПТИМАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ІНДЕКСО-ПОСЛІДОВНИХ ФАЙЛІВ БАЗ ДАНИХ

Розв’язана задача визначення параметрів (кількості рівнів індекса, розмірів блоків індекса і записів файлу) оптимальної організації індексо-послідовних файлів баз даних для різних законів розподілу ймовірностей звертання до записів. За критерій оптимальності прийнято математичне сподівання загального часу, необхідного для пошуку запису у файлі.

Solved the problem of defining the parameters (number of index levels, size of blocks and index entries of the file) of the optimal index-sequential database files for different probability distribution laws to access records. By optimality criterion adopted general expectation of time needed to find a record in the file.

Ключові слова: рівень індексу, база даних, розподіл ймовірностей.

Найбільш поширеною організацією файлів баз даних є індексо-послідовна організація [1]. При заданій кількості рівнів індекса її ефективність для різних законів розподілу ймовірностей звертання до записів досліджена в [2–6]. В роботі досліджено ефективність індексо-послідовної організації файлів залежно від трьох параметрів: кількості рівнів індекса, розміру блоків індекса і розміру блоків записів файлу. За критерій ефективності візьмемо математичне сподівання загального часу, необхідного для пошуку запису у файлі. Для різних законів розподілу ймовірностей звертання до записів знайдемо явний вираз математичного сподівання і визначимо значення параметрів, які мінімізують його.

Формулювання задачі. Розглянемо r -рівневий ($r \geq 1$) індексо-послідовний файл з однаковим розміром блоків індексу на всіх рівнях. Нехай N – кількість записів файлу; l і m – розмір, відповідно, блоків індекса і блоків записів файлу; $a_0 = b_0 + d_0 m$ і $a_1 = b_1 + d_1 l$ – час доступу, відповідно, до блоку записів файлу і блоку елементів індексу, де b_0, b_1, d_0, d_1 – деякі сталі; t_0 і t_1 – час перегляду, відповідно, запису файлу і елемента індекса; p_i – ймовірність звертання до i -го запису файлу. Тоді при використанні в індексі і файлі методу послідовного перегляду математичне сподівання загального часу пошуку запису виражається наступною формулою:

$$E = \sum_{i_r=1}^l \dots \sum_{i_1=1}^l \sum_{i_0=1}^m t(i_0, i_1, \dots, i_r) \varphi(i_0, i_1, \dots, i_r),$$

де

$$t(i_0, i_1, \dots, i_r) = a_0 + a_1 r + i_0 i_0 + i_1 \sum_{k=1}^r i_k,$$

$$\varphi(i_0, i_1, \dots, i_r) = i_0 + m \sum_{j=1}^r (i_j - 1)^{j-1}.$$

Знайдемо явний вираз для E у випадку різних законів розподілу ймовірностей звертання до записів і визначимо значення параметрів r , m і l , за яких математичне сподівання досягає мінімуму. Математичне сподівання E подамо у вигляді

$$E = a_0 + a_1 r + i_0 E_0 + i_1 \sum_{k=1}^r E_k,$$

де

$$E_k = \sum_{i_r=1}^l \dots \sum_{i_1=1}^l \sum_{i_0=1}^m i_k \varphi(i_0, i_1, \dots, i_r), \quad k = 0, 1, \dots, r.$$

Рівномірний розподіл ймовірностей звертання до записів

Нехай розподіл ймовірностей звертання до записів є рівномірним. Тоді

$$E_0 = \frac{1}{2}(m + 1) \quad E_k = \frac{1}{2}(l + 1) \quad (k = 1, 2, \dots, r)$$

і

$$E = a_0 + a_1 r + \frac{1}{2}((m + 1)i_0 + r(l + 1)i_1)$$

або

$$E = b_0 + \frac{d_0 N}{l^r} + r(b_1 + d_1 l) + \frac{1}{2} \left(\left(\frac{N}{l^r} + 1 \right) i_0 + r(l + 1) i_1 \right).$$

Для визначення значень параметрів l та r , за яких E досягає мінімуму, отримуємо систему рівнянь

$$\begin{cases} (2d_1 + i_1)^{r+1} = N(2d_0 + i_0), \\ (2b_1 + i_1 + (2d_1 + i_1)l)^{r+1} = N(2d_0 + i_0) \ln l \end{cases}$$

або

$$\begin{cases} \ln l = 1 + \frac{1}{l} \frac{2b_1 + i_1}{2d_1 + i_1}, \\ r = \log_l \left(\frac{N(2d_0 + i_0)}{2d_1 + i_1} \right) - 1. \end{cases} \quad (1)$$

Зокрема, якщо $a_0 = const$, $a_1 = const$, то система рівнянь для визначення значень параметрів r і l , за яких E досягає мінімуму, матиме вигляд

$$\begin{cases} \ln l = 1 + \frac{1}{l} \left(1 + \frac{2a_1}{i_1} \right), \\ r = \log_l \left(\frac{N i_0}{i_1} \right) - 1. \end{cases}$$

Таблиця 1

Розв'язки системи (1) залежно від $\frac{b_1}{i_1}$ та $\frac{d_1}{i_1}$ у випадку $t_0 = t_1$, $\frac{d_0}{t_0} = 1000$ і $N = 10^6$

$\frac{b_1}{i_1}$	$\frac{d_1}{i_1}$		
	10	100	1000
10	$l = 3,59; r = 13,37$	$l = 2,82; r = 14,54$	$l = 2,73; r = 12,70$
100	$l = 8,44; r = 7,61$	$l = 3,59; r = 11,60$	$l = 2,82; r = 12,34$
1000	$l = 36,63; r = 4,10$	$l = 8,62; r = 5,48$	$l = 3,59; r = 9,81$

Оптимальні значення $\frac{E}{d_0}$ залежно від $\frac{b_1}{t_1}$ та $\frac{d_1}{t_1}$ у випадку $t_0 = t_1$, $\frac{d_0}{t_0} = 1000$, $\frac{b_0}{d_0} = 1000$ і $N = 10^6$

$\frac{b_1}{t_1}$	$\frac{d_1}{t_1}$		
	10	100	1000
10	1682,76	5558,13	38708,01
100	2528,98	6715,53	39837,22
1000	7067,15	13964,65	49637,98

“Бінарний” розподіл імовірностей звертань до записів

Припустимо, що ймовірності звертань до записів відповідають “бінарному” розподілу [7], тобто:

$$p_i = \frac{1}{2^i} \quad (i = 1, 2, \dots, N-1), \quad p_N = \frac{1}{2^{N-1}}.$$

В цьому випадку

$$P_{\Phi}(t_0, t_1, \dots, t_r) = 2^{-\Phi(t_0, t_1, \dots, t_r)},$$

для $t_0 + t_1 + \dots + t_r \leq m + r$, $1 \leq t_j \leq l$ ($j = 1, 2, \dots, r$), $1 \leq t_0 \leq m$ і $P_{\Phi}(m, l, \dots, l) = p_N = 2^{-N}$.

Тоді, аналогічно як в [5], для

$$E_k = \left(\frac{2^{ml^{k-1}}}{2^{ml^k} - 1} - \frac{l}{2^{ml^k} - 1} \right) (1 - 2^{-N}) + \frac{l}{2^N},$$

для $k = 0$

$$E_0 = \left(2 - \frac{m}{2^m - 1} \right) (1 - 2^{-N}) + \frac{m}{2^N}$$

і для $k = r$

$$E_r = \frac{2^{ml^{r-1}}}{2^{ml^r} - 1} (1 - 2^{-N}).$$

Тому, нехтуючи величиною 2^{-N} , з достатньо високою точністю можемо прийняти:

$$E = a_0 + r a_1 + \left(2 - \frac{m}{2^m - 1} \right) t_0 + \frac{2^{ml^{r-1}}}{2^{ml^r} - 1} t_1 + t_1 \sum_{k=1}^{r-1} \left(\frac{2^{ml^{k-1}}}{2^{ml^k} - 1} - \frac{l}{2^{ml^k} - 1} \right).$$

Після перетворення

$$E = a_0 + r a_1 + 2 t_0 - \frac{m t_0 - t_1}{2^m - 1} + \left(r - (r-1) \sum_{k=1}^{r-1} \frac{1}{2^{ml^k} - 1} \right) t_1.$$

Оскільки для будь-яких $m \geq 2, l \geq 2$

$$0 \leq (r-1) \sum_{k=1}^{r-1} \frac{1}{2^{ml^k} - 1} \leq (r-1) \sum_{k=1}^{r-1} \frac{1}{4^{lk} - 1} <$$

і $r \geq 1$, то $E \approx \bar{E}$, де:

$$\bar{E} = a_0 + r(a_1 + t_1) + 2 t_0 - \frac{m t_0 - t_1}{2^m - 1}$$

або

$$\bar{E} = b_0 + d_0 m + \frac{b_1 + d_1 l + t_1}{\ln l} (\ln N - \ln m) + 2 t_0 - \frac{m t_0 - t_1}{2^m - 1}.$$

Для наближеного визначення значень параметрів m і l , за яких \bar{E} досягає мінімуму, маємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} \ln l = 1 + \frac{1}{l} \frac{b_1 + t_1}{d_1}, \\ \frac{1}{(2^m - 1)^2} \left((2^{m \ln 2} - 1) + 1 \right) \frac{t_0}{d_0} - \frac{t_1}{d_0} 2^m \ln 2 + 1 = \frac{1}{m \ln l} \left(\frac{b_1 + t_1}{d_0} + \frac{d_1}{d_0} l \right). \end{cases} \quad (2)$$

Зокрема, якщо $a_0 = \text{const}, a_1 = \text{const}$, то функція \bar{E} досягає мінімуму, якщо $r = 1$. Це впливає з того, що:

$$f(r, m, l) = r a_1 + \left(r - (r-1) \sum_{k=1}^{r-1} \frac{1}{2^{ml^k} - 1} \right) t_1,$$

для довільних $m \geq 2, l \geq 2$ зростає з ростом кількості рівнів r ($r = 1, 2, \dots$). Якщо $r = 1$, то отримуємо

вираз:

$$E = a_0 + a_1 + 2t_0 + t_1 - \frac{mt_0 - t_1}{2^m - 1}$$

і для визначення значення параметра 2^m , за якого E досягає мінімуму, маємо рівняння:

$$m \ln 2 + 2^{-m} = 1 + \frac{t_1}{t_0} \ln 2.$$

Таблиця 3

Розв'язки системи (2) залежно від $\frac{b_1}{t_1}$ та $\frac{d_1}{t_1}$ у випадку $t_0 = t_1, \frac{d_0}{t_0} = 1000$ і $N = 10^6$

$\frac{b_1}{t_1}$	$\frac{d_1}{t_1}$		
	10	100	1000
10	$i = 3,07; m = 1$	$i = 2,83; m = 1$	$i = 2,73; m = 2,73$
100	$i = 8,69; m = 1$	$i = 3,60; m = 1$	$i = 2,82; m = 2,82$
1000	$i = 37,96; m = 1$	$i = 8,65; m = 1$	$i = 3,59; m = 3,59$

Якщо $\frac{d_1}{t_1} < 1$, то корінь отриманого рівняння є в межах $0 < m < 1$; якщо $\frac{d_1}{t_1} = 1$, то корінь є в межах $2 < m < 2,2$; якщо $\frac{d_1}{t_1} > 1$, то корінь є в межах $0 < m < 1$.

Отже, якщо враховувати, що $m \geq 2$ і m – ціле число, то в разі $a_0 = const$ і $a_1 = const$ математичне сподівання загального часу, необхідного для пошуку запису у файлі, досягає мінімуму у випадку, коли індекс має лише один рівень і файл розбитий по два записи у кожному.

Таблиця 4

Оптимальні значення $\frac{E}{d_0}$ залежно від $\frac{b_1}{t_1}$ та $\frac{d_1}{t_1}$ у випадку $t_0 = t_1, \frac{d_0}{t_0} = 1000, \frac{b_0}{d_0} = 1000$ і $N = 10^6$

$\frac{b_1}{t_1}$	$\frac{d_1}{t_1}$		
	10	100	1000
10	2508,84	5906,50	38696,81
100	3202,61	6974,11	39825,80
1000	7247,02	13950,57	49624,75

Розподіл імовірностей звертань до записів за законом Зіпфа

Нехай ймовірності звертання до записів розподілені за законом Зіпфа [7], тобто:

$$p_i = \frac{1}{iH_N} \quad (i = 1, 2, \dots, N), \quad H_N = \sum_{k=1}^N \frac{1}{k}.$$

Тоді:

$$P_{\varphi}(i_0, i_1, \dots, i_r) = \frac{1}{\varphi(i_0, i_1, \dots, i_r) H_N^r}$$

і, аналогічно як в [5], для $k = 1, 2, \dots, r - 1$

$$E_k = \frac{1}{H_N} (i S_{mi^k}(i^{r-k}) - S_{mi^{k-1}}(i^{r-k+1}) + H_N),$$

для $k = 0$

$$E_0 = \frac{1}{H_N} (m S_m(i^r) - N(H_N - 1))$$

і для $k = r$

$$E_r = \frac{1}{H_N} ((r + 1)H_N - S_{mi^{r-1}}(0)),$$

де

$$S_{mi^t}(i^{r-t}) = \sum_{k=1}^{i^{r-t}} H_{kmi^t}, \quad t = 0, 1, \dots, r - 1.$$

Тому:

$$E = a_0 + r a_1 + \frac{1}{H_N} \left((m S_m(i^r) - N(H_N - 1)) t_0 + \left((r + 1) H_N + (r - 1) \sum_{i=1}^{r-1} S_{mi^i}(i^{r-i}) - S_m(i^r) \right) t_1 \right).$$

Представимо $S_{mi^t}(i^{r-t})$ ($t = 0, 1, \dots, r - 1$) у вигляді функції від i^{r-t} . Для цього використаємо

апроксимацію часткової суми гармонічного ряду натуральним логарифмом. Отримаємо:

$$S_{mit}(l^{r-t}) = \sum_{k=1}^{l^{r-t}} (\ln km^{it} + C + Y_{kmit}) = \ln(l^{r-t})l + l^{r-t} \ln m^{it} + l^{r-t} (C + \bar{Y}_{kmit}),$$

де $C = 0,577 \dots$ – стала Ейлера, Y_{kmit} ($k = 1, 2, \dots, l^{r-t}$) – деякі безмежно малі величини,

$$\bar{Y}_{mit} = \frac{1}{l^{r-t}} \sum_{k=1}^{l^{r-t}} Y_{kmit}.$$

Враховуючи формулу Стірлінга для $(l^{r-t})!$, отримаємо:

$$S_{mit}(l^{r-t}) = \frac{1}{2} \ln l^{r-t} + l^{r-t} (\ln l^{r-t} - 1) + C_1 + \frac{\theta}{12 l^{r-t}} + l^{r-t} \ln m^{it} + l^{r-t} (C + \bar{Y}_{mit}),$$

де $C_1 = 0,5 \ln 2\pi$, $0 < \theta < 1$. Оскільки $ml^r = N$, то:

$$S_{mit}(l^{r-t}) = l^{r-t} (\ln N + C + \bar{Y}_{mit} - 1) + \frac{1}{2} \ln l^{r-t} + C_1 + \frac{\theta}{12 l^{r-t}}.$$

Нехтуючи доданком $\frac{\theta}{12 l^{r-t}}$ і замінюючи $\ln N + C + \bar{Y}_{mit}$ значенням H_N , отримаємо:

$$S_{mit}(l^{r-t}) \approx l^{r-t} (H_N - 1) + 0,5 \ln l^{r-t} + C_1.$$

Підставляючи в формулу для \bar{E} замість функції $S_{mit}(l^{r-t})$ її апроксимацію, дістаємо $\bar{E} \approx \bar{E}$, де

$$\bar{E} = b_0 + \frac{d_0 N}{l^r} + r(b_1 + d_1 l) + \frac{1}{H_N} \left(\frac{N t_0}{2 l^r} \ln 2\pi l^r + (r H_N + l + \frac{1}{4} (r-1)(r-1)) \ln 4\pi^2 l^r - \frac{1}{2} \ln 2\pi l^r \right) t_1.$$

Для наближеного визначення значень параметрів r і l , за яких \bar{E} досягає мінімуму, маємо систему рівнянь:

(3)

Зокрема, якщо $a_0 = const, a_1 = const$, то система рівнянь матиме вигляд:

$$\begin{cases} \frac{l}{r} \left(1 + \frac{1}{4} (r-1) \ln 4\pi^2 l^r \right) + \frac{1}{4} (r-1)(r-1) - 2 = \frac{N t_0}{2 l^r t_1} (\ln 2\pi l^r - 1), \\ \ln l + \frac{1}{4} (r-1) \ln l - r(r-1) \ln 4\pi^2 l^r = r H_N \left(1 + \frac{a_1}{t_1} \right). \end{cases}$$

Таблиця 5

Розв'язки системи (3) залежно від $\frac{b_1}{t_1}$ та $\frac{d_1}{t_1}$ у випадку $t_0 = t_1, \frac{d_0}{t_0} = 1000$ і $N = 10^6$

$\frac{b_1}{t_1}$	$\frac{d_1}{t_1}$		
	10	100	1000
10	$l = 3,62; r = 13,28$	$l = 2,82; r = 14,53$	$l = 2,73; r = 12,76$
100	$l = 8,55; r = 7,57$	$l = 3,59; r = 11,59$	$l = 2,82; r = 12,34$
1000	$l = 37,32; r = 4,08$	$l = 8,04; r = 6,47$	$l = 3,59; r = 9,81$

Таблиця 6

Оптимальні значення $\frac{\bar{E}}{d_0}$ залежно від $\frac{b_1}{t_1}$ та $\frac{d_1}{t_1}$ у випадку $t_0 = t_1, \frac{d_0}{t_0} = 1000, \frac{b_0}{d_0} = 1000$ і $N = 10^6$

$\frac{b_1}{t_1}$	$\frac{d_1}{t_1}$		
	10	100	1000
10	1676,09	5552,06	38702,01
100	2517,09	6708,52	39831,11
1000	7030,71	13952,33	49630,95

$\frac{E}{d_0}$

На рис. 1 показана залежність $\frac{E}{d_0}$ від зміни закону розподілу ймовірностей звертання до записів для

$$\frac{b_1}{t_1} = 100, \frac{d_0}{t_0} = 1000, \frac{b_0}{d_0} = 1000, t_0 = t_1, N = 10^6 \text{ і різних } \frac{d_1}{t_1}.$$

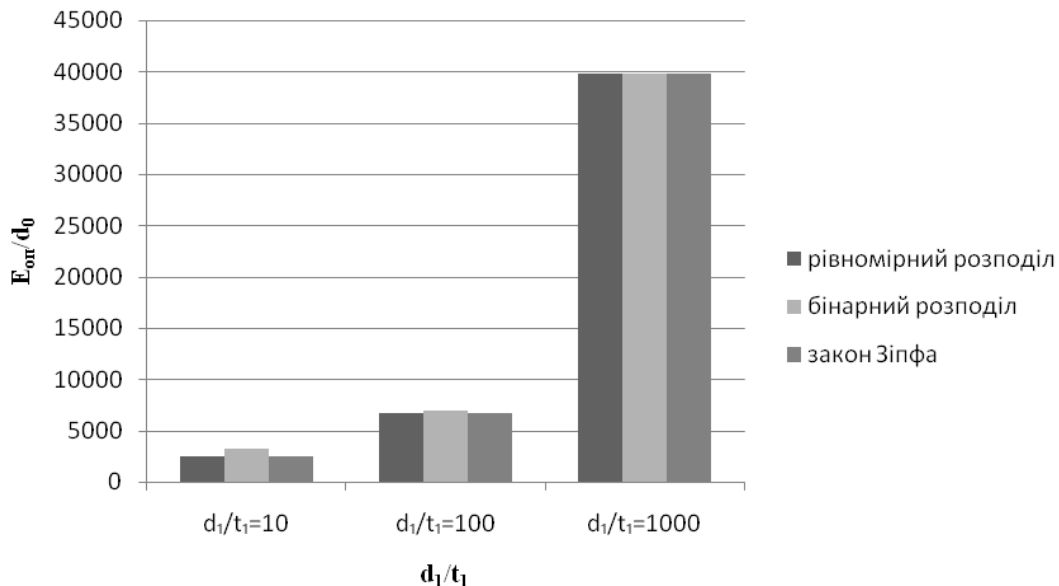


Рис. 1. Залежність $\frac{E}{d_0}$ від зміни закону розподілу ймовірностей звертань до записів

Висновки. Побудовано оптимальні схеми пошуку записів в індексо-послідовних файлах, які зберігаються у зовнішній пам'яті ЕОМ, для таких законів розподілу ймовірностей звертання до записів, як рівномірний, "бінарний", Зіпфа. За критерій оптимальності взято математичне сподівання загального часу, необхідного для пошуку запису у файлі. Проведено порівняння оптимальних схем для розглянутих законів розподілу ймовірностей звертань до записів. Як видно з порівняння, математичне сподівання загального часу, необхідного для пошуку запису в файлі, майже не залежить від розподілу ймовірностей звертань до записів.

Література

1. Мартин Дж. Организация баз данных в вычислительных системах / Мартин Дж. – М. : Мир, 1980. – 664 с.
2. Цегелик Г. Г. Оптимальные по времени поиска модели индексно-последовательных файлов при неравномерном распределении вероятностей обращения к записям / Г. Г. Цегелик // Программирование. – 1986. – № 2. – С. 81–86.
3. Цегелик Г. Г. Определение параметров оптимальной организации многоуровневых индексно-последовательных файлов / Г. Г. Цегелик // Кибернетика. – 1988. – № 2. – С. 74–78.
4. Цегелик Г. Г. Организация и поиск информации в базах данных / Цегелик Г. Г. – Львов : Вища школа, 1987. – 176 с.
5. Цегелик Г. Г. Системы распределенных баз данных / Цегелик Г. Г. – Львов : Свит, 1990. – 168 с.
6. Цегелик Г. Г. Моделювання та оптимізація доступу до інформації файлів баз даних для однопроцесорних і багатопроцесорних систем / Цегелик Г. Г. – Львів : Вид-во ЛНУ імені Івана Франка, 2010. – 192 с.
7. Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ : Т. 3. Сортировка и поиск / Кнут Д. – М. : «Вильямс», 2007. – 824 с.

Надійшла 10.11.2010 р.

ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ РОСТУ ЛОКАЛЬНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

У роботі приведені основні характеристики, на основі яких вивчаються топологія та еволюція в часі мереж, що виникли в результаті життєдіяльності людини. Розглянуто правила генерації та моделі структуризації складних мереж. Досліджено топологію локальної комп'ютерної мережі BW-Star & Fox Net в місті Чернівці. Означені основні фактори впливу на ріст та генерацію вузлів мережі. Здійснено імітаційне моделювання росту локальної комп'ютерної мережі.

In this work given the main characteristics of studying the topology and evolution of networks in time, which are the result of human activity. There were considered rules of generation and models of structuring of complex networks. Investigated the topology of the LAN BW-Star & Fox Net in Chernivtsi. The main factors that influencing growth and generation of nodes were considered. Simulation of growth of the LAN implemented.

Ключові слова: характеристики складних мереж, моделі мереж, правила генерації.

1. Вступ

Предметом огляду та дослідження статті є теорія складних мереж. Форма мережі притаманна багатьом системам, зокрема, – це Інтернет, WWW, нейронні, телекомунікаційні, транспортні, соціальні мережі, мережі цитування тощо.

Складні мережі являються об'єктом як теоретичних, так і емпіричних досліджень [1], в яких топологія розглядуваних мереж відіграє провідну роль. Як природні мережі, так і мережі, що виникають внаслідок людської життєдіяльності, зазвичай не являються статичними, а динамічно розвиваються, тому для розуміння їхньої структури необхідно дослідити принципи їх еволюції.

У роботі розглянуті моделі генерації, сформульовані правила структуризації та фактори впливу на динаміку росту складних мереж. На їх основі запропонована імітаційна теоретико-ймовірнісна модель росту локальних комп'ютерних мереж.

2. Основні характеристики природних та штучних мереж

В роботі авторів [2,3] означені основні характеристики, які використовуються при дослідженні та моделюванні мереж.

«Лінійний розмір» мережі характеризується поняттями середнього $\langle l \rangle$ і максимального l_{\max} найкоротших шляхів. Шляхом між вузлами l_{ij} назвемо найкоротшу відстань між ними.

Для зв'язаної мережі з N вузлів середній найкоротший шлях означається як:

$$\langle l \rangle = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{i>j} l_{ij}, \quad (1)$$

l_{ij} – довжина найкоротшого шляху між вузлами i та j , l_{\max} – найбільше значення з усіх l_{ij} , заданих для цієї мережі.

Глобальною характеристикою мережі є середня довжина найкоротшого шляху, а окремий вузол m характеризує локальна величина – коефіцієнт кластерності C_m [1,4], який відповідає рівню зв'язаності вузла у мережі і характеризує тенденцію до утворення груп взаємозв'язаних вузлів,

$$C_m = \frac{2E_m}{k_m(k_m-1)}. \quad (2)$$

C_m визначається як відношення реальної кількості ребер E_m , які з'єднують найближчих сусідів даного вузла, до максимально можливої (такої, при якій всі найближчі сусіди даного вузла були б з'єднані безпосередньо один з одним).

Головною характеристикою мережі, яка задає розподіл ребер вершини, тобто ступінь вершини, є розподіл ступенів вузлів $P(k)$, що визначає імовірність того, що вузол i має ступінь $k_i=k$, іншими словами, що випадково вибрана вершина буде мати рівно k ребер. Мережі, які характеризуються різними $P(k)$, демонструють дуже різноманітну поведінку. До найчастіше спостережуваних прикладів розподілу ступенів вузлів відносяться:

а) розподіл Пуассона $P(k) = e^{-\langle k \rangle} \frac{\langle k \rangle^k}{k!}, \quad (3)$

б) експоненційний розподіл $P(k) \sim e^{-k/\langle k \rangle}, \quad (4)$

с) степеневий розподіл $P(k) \sim 1/k^\gamma$, $k \neq 0$, $\gamma > 0$. (5)

Залежно від виду розподілу ступенів вершин (3)- (5) мережі поділяються на три різних типи – класичні випадкові графи, які є варіантом моделі Ердоша-Рені, моделі тісного світу [4] та мережі без масштабування, які мають місце для більшості реальних складних мереж.

В роботі [2] нами були проаналізовані характеристики, динамічні та кореляційні властивості основних типів природних та штучних мереж, таких як соціальні, інформаційні та технологічні, та продемонстровано, що вони являються безмасштабними і підпорядковуються одному і тому ж степеневому закону росту. Зокрема, до таких мереж відносяться мережі співавторства у різних галузях науки, електронних повідомлень, WWW, мережі цитування, мережі громадського транспорту, Інтернет та ін.

3. Моделі структуризації та правила генерації складних мереж

Явища, що відбуваються у складних мережах, пояснюються багатьма різними моделями. Основними з них, які в основному спричинили сьогоденне розуміння складних мереж, є класичний випадковий граф Ердоша-Рені, мережа тісного світу Ваттса-Строгаца та безмасштабна мережа Барабаші-Альберта, що є прикладом зростаючої мережі. Моделі, що описують зростаючі мережі, приводять до степеневих розподілів ступенів вузлів $P(k)$.

Граф Ердоша-Рені є рівноважним ансамблем графів зі сталою кількістю вершин N [5]. Розподіл ступенів вузлів k для цього графа визначається формулою Пуассона (3). Побудова графа здійснюється генеруванням, де до N відокремлених вершин послідовно додаються ребра, що з'єднують випадковим чином довільні пари вершин. Початково граф складатиметься із сукупності малих вершин, які в процесі генерування з часом розростаються до гігантського кластера зв'язаних вершин, кількість яких є скінченною частиною загальної кількості N . При генерації постійно зростає ймовірність зв'язування вершин, яка досягає з часом деякого критичного значення. В результаті такого процесу, який має характер фазового переходу, граф спонтанно розростається до гігантського кластера вершин, пов'язаних між собою, що нагадує конденсацію краплі води в перенасиченій парі.

Модель Ваттса-Строгаца [6] є комп'ютерною моделлю тісного світу. Її побудова зводиться до наступного: розглядається одновимірний із N вершин періодичний ланцюг, замкнутий у кільце. Спочатку кожен вузол з'єднується з іншими сусідніми, які знаходяться на відстані не більшій за k , а потім кожне ребро з певною ймовірністю t перез'єднується з довільною вершиною, що приводить до трансформації регулярного ланцюга у граф тісного світу (рис. 1).

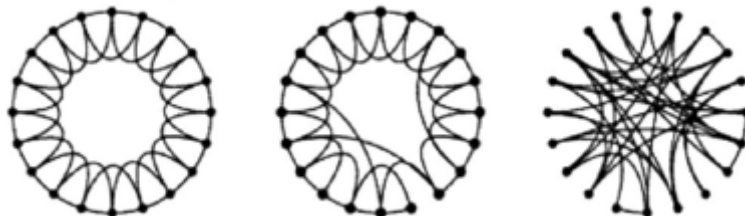


Рис. 1. Трансформація регулярного ланцюга у граф тісного світу та у випадковий граф.

Оскільки в цій моделі кількість ребер є сталою, а ймовірності реалізації графів – різні, то вона зводиться до *канонічного* ансамблю графів і описує реально існуючі мережі, топологія яких не є ані цілком регулярною, ані цілком випадковою.

Більшість реальних графів підпорядковуються степеневому закону розподілу (5). Ці графи описуються *моделлю переважного приєднання побудови мереж Барабаші-Альберта* [7,8] і являються *безмасштабними*, так як, завдяки далекосяжним взаємодіям система не має масштабу зміни характерних величин. Зростання та переважне приєднання є основними механізмами побудови безмасштабних мереж. Ця побудова здійснюється за такими принципами: 1) до невеликої кількості вузлів (n_0) на кожному часовому кроці додається новий вузол з $n \leq n_0$ зв'язками, які з'єднують його з наявними вузлами; 2) суть переважного приєднання в тому, що ймовірність приєднання W нового вузла до вузла i залежить від ступеня k_i вузла i :

$$W(k_i) = \frac{k_i}{\sum_j k_j}. \quad (6)$$

Існують два основних методи побудови графів зі степеневим законом розподілу $P(k)$ – це метод *рандомізації* (розкиду) *ребер* та метод *рандомізації вершин* (рис. 2).

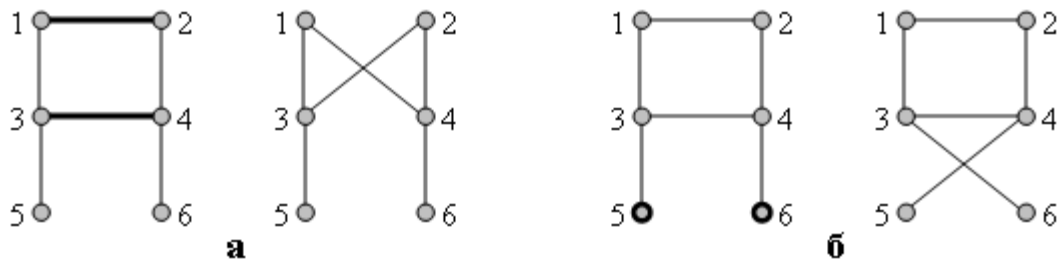


Рис. 2. Схема генерування графів методами рандомізації: а) рандомізація ребер; б) рандомізація вершин.

Довільним чином вибираються два ребра і переставляються кінці кожного з них, при цьому незмінними залишаються ступені всіх вершин. Згенерований у результаті такої процедури канонічний ансамбль матиме однакові ступені вершин та різні питомі ваги $P(k)$ графів.

Безмасштабні графи можуть бути згенеровані в результаті нерівноважних процесів зростання різних ансамблів мереж. При цьому вони виникають як перехідні ансамблі, що представляють мережі, утворені при переході від вихідного до кінцевого набору графів. Так, в ансамблях, енергія яких змінюється за законом $E = -\sum_i k_i \ln(k_i)$, перетворення класичного випадкового графа в повністю зв'язаний кластер відбувається через проміжну безмасштабну зіркоподібну фазу [9].

Нехай початково є ансамбль ребер, що приєднані до вершин із малими ступенями, і невелика кількість вершин, що є центрами конденсації. Зміна енергії, пов'язана з еволюцією ребер у ансамблі, є незначною, тоді як центри конденсації поглинають ребра з великою швидкістю, яка монотонно зростає зі збільшенням ступенів вершин, у яких вони сходяться. Приєднання ребра до вершини приводить до зміни енергії $\Delta E = \partial E / \partial k = -\ln k - 1$, тому швидкість конденсації визначається множителем: $\nu(k) \sim e^{\Delta E/T} \propto k^{1/T}$, де T – дисперсія ансамблю графів, що відіграє роль температури.

Оскільки ймовірність $P(k)$ знайти вершину із заданим ступенем обернено пропорційна до швидкості конденсації, то зі знайденої оцінки відразу впливає степеневий розподіл $P(k) \propto 1/\nu(k) \propto k^{-\gamma}$ з показником $\gamma = 1/T$. Оскільки центри конденсації ребер утворюються при температурах $T < 1$ [8], то знайдений показник обмежений значеннями $\gamma > 1$.

4. Дослідження топології та основних характеристик локальної комп'ютерної мережі BW-Star & Fox Net

Нами досліджена топологія та розраховані типові характеристики комп'ютерної мережі BW-Star & Fox Net, що знаходиться в місті Чернівці (конфігурація мережі зображена на рис. 3).

Із цією метою для кожного типу вершин, якими є сервери, світчі та користувачі (5, 51, та 213 відповідно), підраховуємо їхні кількості та ступені, а потім знаходимо кількості $N(k)$ вершин із заданими ступенями k .

Тоді ймовірність реалізації цього ступеня k визначається діленням $N(k)$ на загальну кількість вершин $N = 269$: $P_0(k) = N(k)/N$. У результаті отримуємо розподіл, який наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристики комп'ютерної мережі BW-Star & Fox Net в м. Чернівцях

k	$N(k)$	$P_0(k)$	$P(k)$	C_k
1	213	0,792	0	0
2	3	0,011	0,053	1
3	5	0,019	0,089	0.333
4	10	0,037	0,178	0.167
5	14	0,052	0,25	0.100
6	3	0,011	0,053	0.067
7	6	0,022	0,107	0.048
8	8	0,029	0,143	0.036
9	2	0,007	0,036	0.028
10	2	0,007	0,036	0.022
11	2	0,007	0,036	0.018
12	0	0	0	0.015
13	0	0	0	0.013
14	1	0,004	0,018	0.011

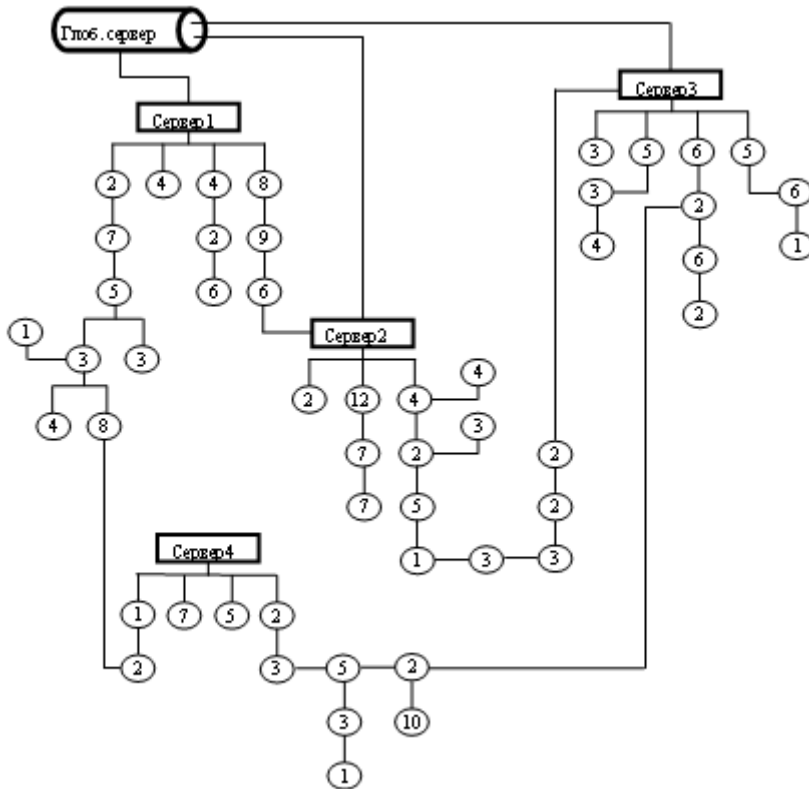


Рис. 3. Схема комп'ютерної мережі BW-Star & Fox Net (цифри в кружечках, які відповідають світчам, показують присланих до них користувачів, які для простоти не зображуються).

Завдяки тому, що основний внесок роблять користувачі, тобто вершини, які мають мінімальний ступінь $k = 1$, середній ступінь мережі

$$\langle k \rangle = \sum_k k \cdot P(k), \tag{7}$$

знайдений таким способом, є порівняно малою величиною $\langle k \rangle_0 = 1.997$.

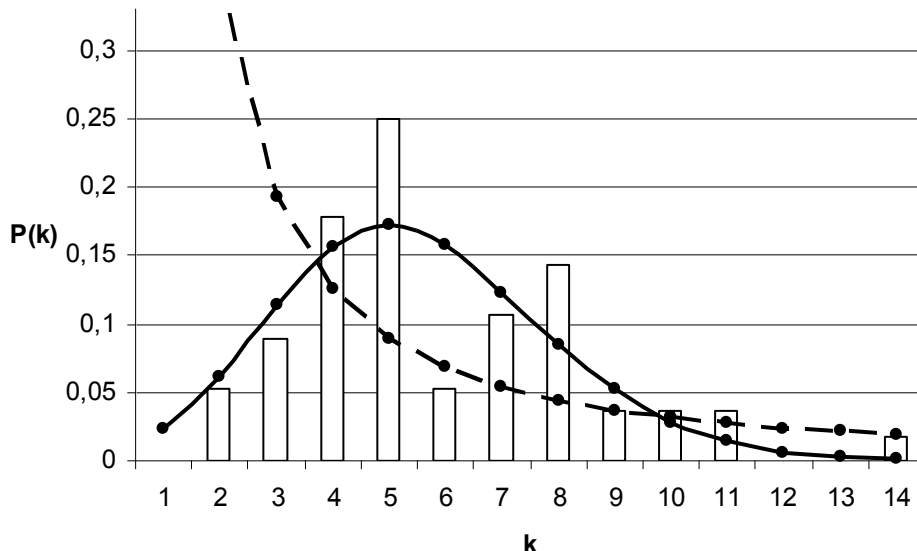


Рис. 4. Розподіл ступенів вершин мережі BW-Star & Fox Net (гістограма) в порівнянні з розподілом Пуассона (4) (суцільна лінія) і степеневим законом $P(k) = k^{-1,5}$ (штрихована лінія).

Якщо знехтувати внеском користувачів, то загальна кількість світчів і серверів становить $N = 56$ і розподіл ймовірностей задається четвертим стовпчиком таблиці 3. Нехтування елементами вершин, які відповідають користувачам, приводить до значно більшого значення $\langle k \rangle = 5.492$.

Із рис. 4 видно, що розподіл ступенів немонотонний і спадає значно повільніше, ніж розподіл

Пуассона (4), проте швидше за степеневий розподіл $P(k) = k^{-1.5}$. Це вказує на те, що досліджувана нами мережа займає проміжне місце між класичним випадковим і безмасштабним графами.

Згідно з означенням (3) для кожного вузла m досліджуваної нами мережі була визначена локальна величина коефіцієнта кластерності C_m , значення якого наведені у п'ятому стовбці таблиці 3. Середнє значення коефіцієнта кластерності було визначено згідно з виразом $\langle C \rangle = C_k \cdot N(k)/N$, числове значення якого складає $\langle C \rangle = 0.032$. Це вказує на імовірність існування зв'язку між двома випадково взятими найближчими сусідами вузла, а також містить інформацію про наявність у мережі циклів. Мале значення коефіцієнта кластерності досліджуваної мережі вказує на низьку кореляцію в ній.

5. Фактори впливу на динаміку росту комп'ютерних мереж

Розуміння структури локальної комп'ютерної мережі впливає з дослідження її еволюції в часі, топології та реального розташування. Локальні мережі створюються для оперування у невеликому географічному просторі. Вони дозволяють множинний доступ до високошвидкісного середовища та керування з допомогою локального адміністрування.

Можна виділити два способи утворення складних мереж:

1. Об'єднання більш дрібних мереж в єдину корпоративну мережу;
2. Початково спроектована та реалізована за проектом мережа.

Частіше стикаємося з першим типом мереж: традиційно мережі утворюються і організовуються розрізнено і спонтанно, а потім їх об'єднують і в результаті здійснюється перехід мережі до другого типу. Змінюється обладнання, топологія, структура окремих ділянок і мережа перетворюється в струнку ієрархічну структуру.

В даний час створені і експлуатуються різні типи локальних мереж з різними розмірами, алгоритмами роботи, архітектурою і структурною організацією. Незалежно від типу мереж, до них виставляються загальні вимоги:

1. Швидкість – найважливіша характеристика локальної мережі;
2. Адаптованість до середовища;

3. Надійність – властивість мережі зберігати повну чи часткову дієздатність незалежно від виходу з ладу деяких вузлів чи кінцевого обладнання.

Комп'ютерні мережі відносяться до мереж, що постійно ростуть і розвиваються. Аналіз розвитку комп'ютерної мережі ґрунтується на встановленні *факторів впливу* на генерацію вузлів та умов утворення і приєднання в мережі нових серверів зі своєю структурою.

Серед факторів впливу на ріст мережі в першу чергу необхідно вирізнити *розмір* або *протяжність* локальної мережі, що визначається відстанню між найбільш віддаленими станціями, при якій за нормальної роботи вузлів чітко розпізнаються колізії, та кількістю об'єднаних в мережу комп'ютерів. Для Інтернет-мережі цей розмір називається діаметром мережі і складає відстань порядку 1 км, що дозволяє отримати високу швидкість зв'язку та максимально можливий рівень сервісу. При цьому кількість вузлів в мережі складає ~ 86 . Кількість під'єднаних до мережі комп'ютерів сильно впливає як на її продуктивність, так і на складність в обслуговуванні і також визначає вартість необхідних програмних засобів.

При розростанні мережі зростає число колізій, і різко падає її корисна пропускна здатність та швидкодія передачі сигналу, тому може знадобитися використання дуже дорогого або рідкісного обладнання. Обмеження мережі за довжиною являється передумовою вибору структури мережі, розбиття її на окремі частини, появи додаткових серверів з новою мережею зв'язків. Міжсерверні з'єднання дозволяють забезпечити підвищену стійкість, меншу затримку, зменшення вартості доступу, а також підвищення якості зв'язку для кінцевих користувачів в цілому.

Спостерігається динаміка мережі, своєрідна *кластеризація*, сервери виступають центрами утворених кластерів, відбувається просторове розміщення компонент мережі в чітку ієрархічну структуру.

Приєднання нових вузлів диктується *економічною вигідністю*, тобто ресурсними затратами, які напряму залежать від географічного розміщення споживачів. Тому при проектуванні мережі не менш важливим фактором впливу на її ріст є врахування ефективності по відношенню ціна/якість.

Таким чином, на утворення нових зв'язків у мережі впливають різні фактори, кожному з яких можна присвоїти свою вагу, а вузлам мережі – певне значення енергії, яка залежить від способу об'єднання вузлів у графі.

6. Імітаційне моделювання росту локальної комп'ютерної мережі

Аналіз топології та росту локальних комп'ютерних мереж, які являються об'єктом наших досліджень, демонструє їх чітку ієрархічну структуру. Центрами росту та кластеризації мережі являються сервери, від яких географічно в різних напрямках розходяться кабелі та підключаються користувачі.

Локальні комп'ютерні мережі є об'єктами графових структур і тому для їх дослідження можуть бути застосовані методи теорії графів. Проте алгоритми і моделі, побудовані на основі цих методів, не дозволяють врахувати динамічну зміну характеристик та випадкових факторів при рості локальних мереж. Тому застосування імітаційного моделювання, розробка спеціалізованих структур та алгоритмів, що

дозволяють найкращим чином вирішувати поставлені завдання, значно полегшать цей процес і забезпечать перехід на новий, якісно вищий рівень проектування та управління мережами.

Згідно з проведеними дослідженнями слід відмітити, що локальні мережі в процесі розвитку та еволюції в часі проходять етапи становлення від класичного випадкового графа до безмасштабних мереж. Тому для імітаційного моделювання вибраний принцип випадкового приєднання вузлів як для класичного випадкового графа.

В нашій роботі здійснюється імітаційне моделювання процесу росту комп'ютерної мережі у вигляді дендритів. Це пов'язано зі схожістю як у структурному рості, так і в математичному ймовірнісному описі [1,3] механізмів еволюції складних мереж та росту дендритних кристалів. Розроблена модель, яка дозволяє отримати зображення локальної мережі для різних початкових умов росту, динамічно візуалізувати процес та відслідковувати його в довільний момент часу.

При моделюванні росту комп'ютерних мереж нами були використані аналогії моделювання росту дендритних дерев нейронів.

Мережа розглядається як упорядкована множина сегментів, кожен з яких закінчується точкою розгалуження чи кінцем мережі. Вона характеризується низкою числових характеристик: довжинами сегментів, кутами між сегментами та різними ступенями приєднання вузлів мережі $P(k)$.

Початковою точкою O мережі вважається сервер, якому приписується z зв'язків, які визначають напрямки $l_0^{(z)}$ зростання мережі. До складу мережі входять два типи часток – світчі, кількість яких дорівнює n , та споживачі. Кожному із n світчів випадковим чином приписується різна кількість k зв'язків, яка визначається кількістю портів світча та змінюється дискретно, набуваючи значень: 5, 8, 16, як найбільш поширених при проектуванні локальних мереж.

У модель закладаються: 1) розподіл величини кута φ між початковим напрямком першого кроку l_0 та напрямком наступного кроку моделювання; 2) імовірність розгалуження світча $P(k)$.

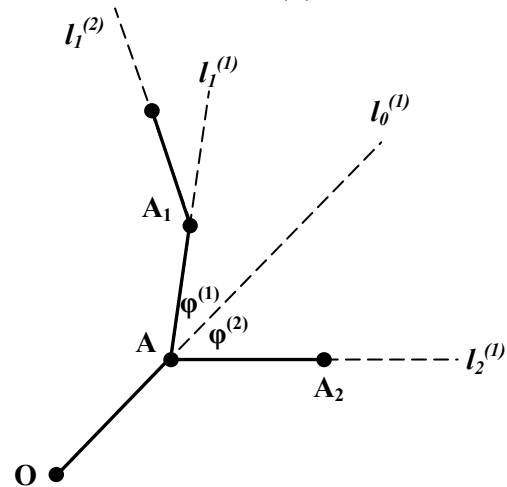


Рис. 5. Побудова моделі сегмента комп'ютерної мережі

Вздовж променя l_0 робиться корок OA певної довжини, точка A з імовірністю $P(k)$ є початком наступного кроку (який відкладається від напрямку попереднього кроку OA під випадковим кутом $\varphi^{(k)}$ відповідно до розподілу кута), і з імовірністю $1 - P(k)$ – не є початком наступного кроку, тобто є кінцем сегмента. Ймовірності приєднання світчів вибиралися у відповідності до таблиці 1, як відповідні значення розподілів ступенів вершин мережі $P(k)$ ($k = 5, P(k) = 0.25$; $k = 8, P(k) = 0.143$; $k = 16, P(k) = 0.014$).

На основі розроблених алгоритмів реалізована програма, результатом роботи якої являється зображення динаміки росту локальної комп'ютерної мережі, виявлені та проаналізовані особливості роботи запропонованого алгоритму.

Програма допускає коректування форми, розміру, орієнтування у просторі мережі, а також кількості споживачів, які утворюють простір моделювання. Користувачу доступні функції запуску процесу моделювання, його зупинки в довільний момент часу. Програма автоматично генерує зображення та поновлює його після кожного кроку моделювання. Розроблений програмний продукт дозволяє спостерігати за процесом росту мережі на різних стадіях, що дає можливість відслідковувати зміни в структурі не тільки в часі, але і в просторі.

З допомогою імітаційного моделювання досліджувався вплив початкових умов – напрямків розгалуження мережі, кількості вузлів-світчів з різними ступенями приєднання споживачів на ріст локальної мережі. Для того, щоб дослідити як впливає деякий параметр на структуру графа, спочатку був змодельований ріст при деякому наборі параметрів. Пізніше параметри з цього набору змінювались окремо. Результати комп'ютерного експерименту подані на рис. 6.

Розроблена нами імітаційна модель дозволяє отримати зображення мережі для різних початкових умов, динамічно візуалізувати процес її структуризації та відслідковувати його в довільний момент часу.

На рис. 6 представлені отримані експериментальним чином (з допомогою комп'ютерної симуляції) імовірнісні моделі локальної комп'ютерної мережі для різних значень її числових характеристик ($a - z = 2, n = 14$; $b - z = 3, n = 20$; $v - z = 7, n = 30$).

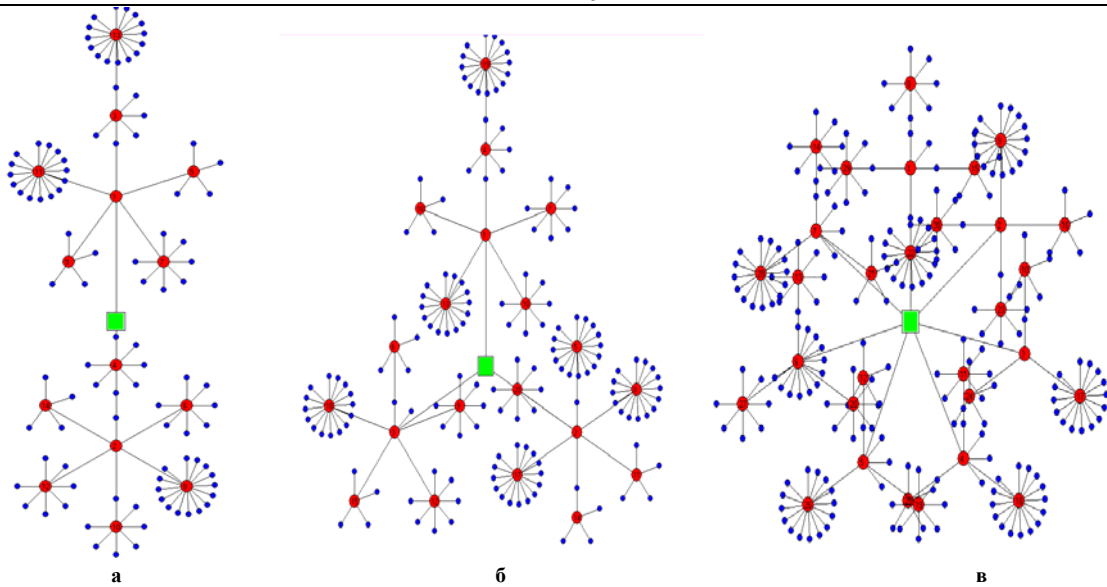


Рис. 6. Приклади імітаційного моделювання мережі
(□ – сервер мережі, червоні кружечки – світчі, сині – споживачі)

Із наведених зображень видно, що при $z = 2$ вітки мережі спрямовуються від сервера у двох протилежних напрямках, при $z = 3$ мережа структуризується у вигляді трикутника, а при $z = 5$ і більше розростається зіркою, до світчів якої ймовірнішим чином приєднується різна кількість користувачів. При достатньо великих значеннях z та поступовому збільшенні кількості світчів n спостерігається розростання мережі у чітку ієрархічну структуру та її кластеризація (рис. 7).

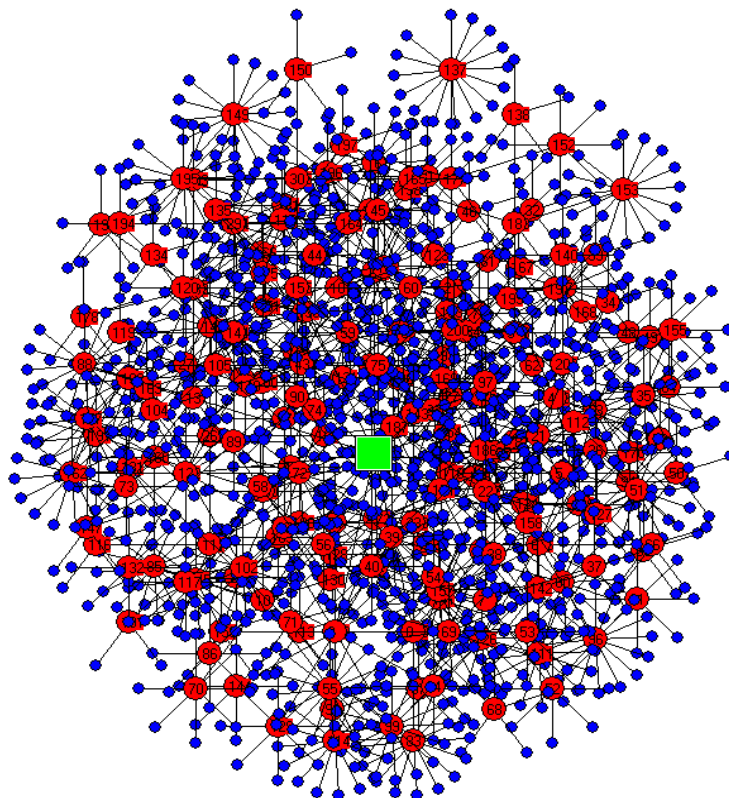


Рис. 7. Генерування кластера мережі

При досягненні граничного значення кількості споживачів, при якому зростає число колізій і падає пропускна здатність мережі, слід здійснити з допомогою чисельного моделювання перехід від моделі «частинка-кластер» до більш складної моделі «кластер-кластер».

Висновки

Розглянуті моделі генерації, сформульовані правила структуризації та фактори впливу на динаміку росту складних мереж.

Досліджено топологію локальної комп'ютерної мережі BW-Star & Fox Net в місті Чернівці. Значення характеристик даної мережі дало можливість зробити висновок, що мережа займає проміжне місце між класичним випадковим і безмасштабним графами.

В рамках проведеної роботи виділені основні фактори, які впливають на процес росту локальної комп'ютерної мережі, сформульована послідовність дій, необхідних для побудови моделі системи.

З допомогою імітаційного моделювання досліджено вплив початкових умов – напрямків розгалуження мережі, кількості вузлів з різними ступенями приєднання споживачів на ріст локальної мережі.

Література

1. Головач Ю. Складні мережі / Головач Ю., Олемской О., К. фон Фербер, Головач Т., Мриглод О., Олемской І., Пальчиков В // Журнал фізичних досліджень. – 2006. – т.10, № 4, с. 247-289.
2. Пасічник В.В. Дослідження та моделювання складних мереж / Пасічник В.В., Іванушак Н.М // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – 2/3 (44), с. 43-48.
3. Пасічник В.В. Структуризація та динамічні властивості складних комп'ютерних мереж / Пасічник В.В., Іванушак Н.М // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – 4/9 (46), с. 16-21.
4. Watts D.J., Strogatz S.H. Collective dynamics of “small-world” networks // Nature. – 1998. – Vol. 393. pp. 440-442.
5. Erdős P., Renyi A. Publ. Math. Inst. Hung. Acad. Sci. 5, 17 (1960).
6. Watts D.J., Strogatz S.H. Nature (London) 393, 440 (1998).
7. Barabasi A. – L., Albert R. Science 286,509 (1999).
8. Barabasi A. – L., Albert R., Jeong H. Physica A 281, 69 (2000).
9. Palla G., Derenyi I., Farkas I., Vicsek T. Phys. Rev. E, 69, 046117 (2004).

Надійшла 13.11.2010 р.

УДК 621.375.024

В.І. ВОДОТОВКА

КНУТД, м. Київ

Ф.М. РЕПА

Національний технічний університет України “КПІ”, м. Київ

РЕАЛІЗАЦІЯ МЕТОДУ ПІДВИЩЕННЯ ВИМІРЮВАЛЬНОГО ПІДСИЛЕННЯ ЗА ФУНКЦІЯМИ ВІДНОСНОЇ ЧУТЛИВОСТІ

Розглянуті схемотехнічні та апаратні засоби корекції похибок вимірювального підсилення слабких сигналів постійного струму за функціями відносної чутливості для створення системних прецизійних перетворювачів сигналів у складі комп'ютеризованих систем.

Skhemotekhnichni is considered and vehicle facilities of correction of errors of the measuring strengthening of weak signals of direct-current after the functions of relative sensitiveness for creation of system precizyynikh transformers of signals in composition the computer-assisted systems.

Ключові слова: вимірювальне підсилення, функція відносної чутливості, інформаційно-вимірювальна система.

Вступ. Вимірювальні підсилювачі постійного струму складають окрему групу серійних стаціонарних радіовимірювальних приладів (шифр У7) [1]. Вони широко використовуються у наукових дослідженнях та промисловості, як автономно, а також як типовий функціональний блок нескладних систем з управлінням оператором. Найбільша відповідальність за точність покладається на них у інформаційно-вимірювальних та комунікаційних системах [2]. Саме тут до вимірювальних підсилювачів ставляться вимоги високої стабільності заданого значення коефіцієнта підсилення у всьому динамічному діапазоні вимірювання. Особливо актуальні ці вимоги в жорстких умовах експлуатації, коли діють значні дестабілізуючі фактори та електромагнітні завади.

Аналіз існуючих розробок. Найбільш досконалі вимірювальні підсилювачі слабких сигналів постійного струму побудовані за відомою схемою М– ДМ (модуляція– демодуляція). Підсилення на постійному струмі замінено підсиленням на змінному струмі фіксованої частоти з подальшим фазочутливим випрямленням та фільтрацією. У М– ДМ підсилювачі значно зменшено активну складову похибки вимірювального підсилення (до дрейфу нульового рівня вихідної напруги модулятора). Але метод М– ДМ не вирішує проблему корекції мультиплікативної похибки та похибки нелінійності, навіть застосовуючи за рахунок зменшення чутливості негативні зворотні зв'язки (НЗЗ). Справа у тому, що глибина НЗЗ обмежена втратою динамічної стійкості.

В роботі [3] запропонований метод підвищення точності вимірювального підсилення слабких сигналів постійного струму, який ґрунтується на знайдених авторами властивостях функцій відносної

чутливості. Метод можливо класифікувати як метод обчислювальної корекції і складається у наступному:

- обчислюється значення поточної адитивної похибки та відповідно коректуються значення вихідної напруги підсилювача;
- обчислюється поточне значення загального коефіцієнта вимірювального підсилення, що надає можливість уникнути мультиплікативної похибки та похибки не лінійності, обчислити значення вхідної напруги.

Запропонований у згаданій роботі метод має ще важливі особливості. По-перше, канал зворотного зв'язку став виконувати ще одну функцію – цілеспрямовано та точно може змінювати вихідний сигнал підсилювача. По-друге, глибина зворотного зв'язку встановлюється незалежно від необхідності зменшення мультиплікативної похибки. Нарешті, коефіцієнт зворотного зв'язку став взірцевою мірою для поточного метрологічного забезпечення вимірювального підсилення.

Мета роботи. Метою роботи є розробка схемотехнічного рішення вимірювального підсилювача сигналів постійного струму, який узгоджений з інтерфейсом комп'ютерної системи інформації та керування і спроможний в складі цієї системи реалізувати метод підвищення точності вимірювального підсилення за функціями відносної чутливості.

Автономний діючий вимірювальний підсилювач сигналів постійного струму. Розгляд розробленого вимірювального підсилювача як автономного приладу, тобто діючого незалежно від комп'ютерної системи, необхідний для пояснення принципу власне його дії. Нижче розглянемо його роботу як системного вимірювального засобу.

На рис. 1 показано функціональну схему розробленого вимірювального підсилювача сигналу $U_{ВХ}$. Операційний попередній підсилювач А1 з коефіцієнтом підсилення K_1 , підсилювач А2 типу М–ДМ з коефіцієнтом підсилення K_2 , підсилювач потужності А3, що має коефіцієнт підсилення K_3 , складають канал прямого підсилення з коефіцієнтом $K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3$. Канал прямого підсилення охоплений НЗЗ, в якому розміщено пристрій зворотного зв'язку А4, яким є подільник вихідної напруги $U_{ВІХ}$, що побудований на прецизійних резисторах.

В канал прямого підсилення та у колі зворотного зв'язку включені параметричні модулятори MD1, MD2. За електричною схемою та складом її елементів вони є ідентичними і є прецизійними подільниками напруги, в яких резистор одного з ступенів поділу перемикається контактами регулятора (магнітно-керованого реле), яке працює під керуванням зовнішніх сигналів $U_{КЕР}(t_1)$ та $U_{КЕР}(t_2)$, що надходять у відповідні моменти часу. Коефіцієнт поділу подільників напруги q модуляторів MD1, MD2 названо коефіцієнтом параметричної модуляції.

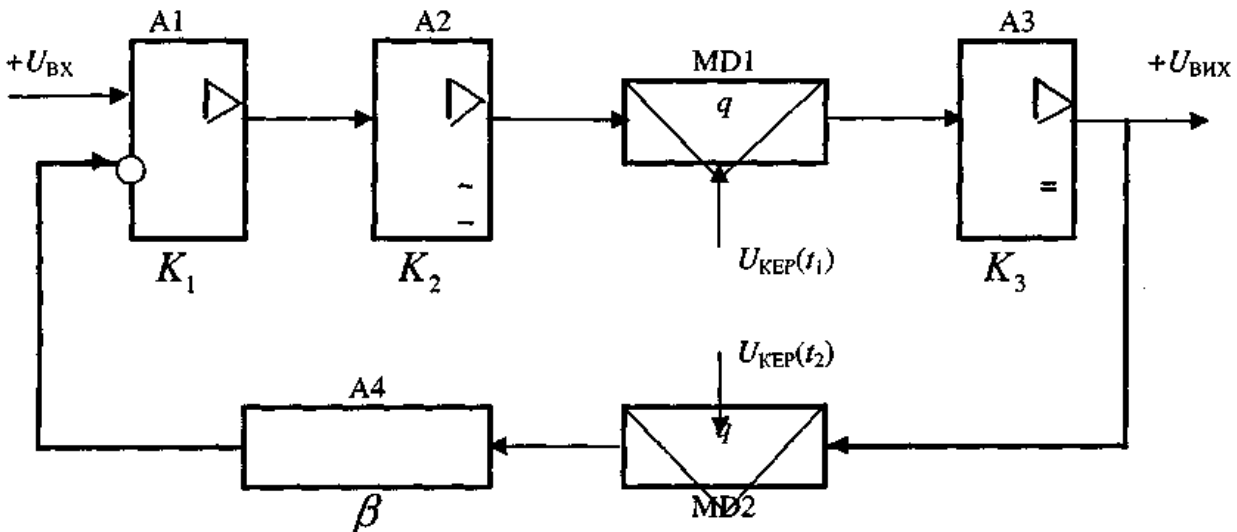


Рис. 1. Функціональна схема автономного діючого вимірювального підсилювача постійного струму

Функція вимірювального підсилення має наступний вигляд [3]:

$$U_{ВІХ} = \frac{\bar{K} + U_{ВХ} + \bar{a}}{1 + \bar{K} \cdot \beta} \quad (1)$$

або за іншим каналом

$$U_{ВІХ} = \frac{\bar{K} + S_a}{1 + \bar{K} \cdot \beta},$$

де \bar{a} – абсолютна величина адитивної похибки;

\bar{K} – коефіцієнт підсилення прямого каналу;

β – коефіцієнт зворотного зв'язку;

$S_a = \bar{a} / U_{ВХ}$ – відносна величина адитивної похибки, що приведена до вхідної величини.

Математична модель вимірювального підсилювання являє собою систему трьох рівнянь:

$$\left. \begin{aligned} U_{\text{вих}} &= \frac{K + S_a}{1 + K\beta} \cdot U_{\text{вх}}, \quad (t_0) \\ U_{\text{вих}}^{(K)} &= \frac{qK + S_a}{1 + qK\beta} \cdot U_{\text{вх}}, \quad (t_1) \\ U_{\text{вих}}^{(\beta)} &= \frac{K + S_a}{1 + qK\beta} \cdot U_{\text{вх}}, \quad (t_2). \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Перше рівняння відповідає стану модуляторів $q = 1$, друге – стану модулятора MD1 $q \neq 1$, третє – стану модулятора MD2 $q \neq 1$.

Система рівнянь (2) має рішення:

$$U_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вих}}^{(\beta)} - U_{\text{вих}}^{(K)}}{U_{\text{вих}}^{(\beta)} - U_{\text{вих}}} \cdot \beta \cdot U_{\text{вих}}^{(\text{КОР})} \quad (3)$$

де позначки “ β ”, “ K ”, “КОР” відповідають дії модуляторів MD1, MD2 та відкореговане значення $U_{\text{вих}}$ за адитивною похибкою.

Системний вимірювальний підсилювач постійного струму. На рис. 2 зображено фрагмент комп’ютерної системи, який має відношення включеного в цю схему вимірювального підсилювача. Керування модуляторами MD1, MD2 виконується аналоговими сигналами системних цифро–аналогових перетворювачів ЦАП1, ЦАП2, що діють на виконавчі пристрої ВП1, ВП2, яким є релюїтери в складі модуляторів.

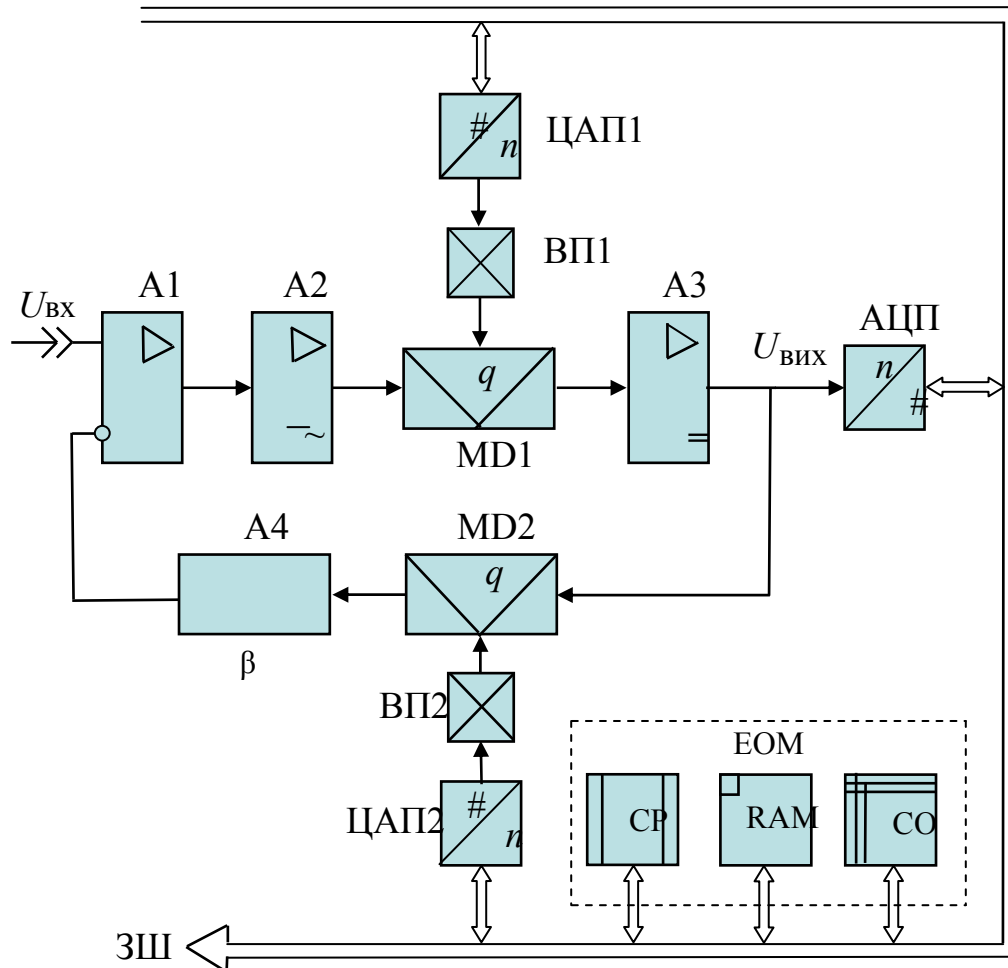


Рис. 2. Фрагмент комп’ютерної системи

Електронно-обчислювальна машина (ЕОМ) зображена типовими складовими об’єднаного виду блоками – обчислювальним CP , керування CO , пам’яті RAM . ЕОМ завантажено програмою, що складена на основі математичної моделі (2) та рішення (3).

Висновки:

1. Розроблений системний вимірювальний підсилювач здатний реалізувати його математичну модель, досягаючи достатньо високого метрологічно якісного результату.

2. Залишкова похибка вимірювального підсилення визначаються лише похибкою АЦП та похибкою взірцевої міри (β) і складає $\pm 0,5\%$.

3. Одержаний результат дозволяє рекомендувати приладобудівним підприємствам освоїти виготовлення розробленого приладу.

Література

1. Радиоизмерительные приборы. Справочник. / [под. ред. Насонова В. С.]. – М.: Сов. Радио. – 1976. – Т. 1. – 231 с.
2. Репа Ф. М. Аналітична модель інваріантного вимірювального перетворення фізичних величин та її синтез / Ф. М. Репа // Наукові Вісті НТУУ "КПІ". – 2003. – № 6. – С. 126–131.
3. Водотовка В.І. Метод підвищення точності вимірювального підсилення сигналів / В.І Водотовка, Ф. М. Репа // Вимірювальна та обчислювальна техніка у технологічних процесах. – 2010. – № 1. – С. 53–57.

Надійшла 25.11.2010 р.

УДК 621.314.222

С.М. ЛЕВИЦЬКИЙ

Вінницький національний технічний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РЕГУЛЯТОРА СИСТЕМИ ПОЗДОВЖНЬО-ПОПЕРЕЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ НАПРУГИ

Запропоновано підхід та математичну модель, які дозволяють з використанням генетичного алгоритму знаходити параметри регулятора системи поздовжньо-поперечного регулювання напруги з нечіткою логікою формування сигналу керування.

The paper is offer the approach and mathematical model, which allow with the use of genetic algorithm to find the parameters of regulator of the system of the longitudinal-transversal voltage control with fuzzy logic of forming of signal of management.

Ключові слова: математична модель, генетичний алгоритм, регулятор.

Постановка проблеми. Відомо, що при оптимізації систем керування в електроенергетичній системі високі вимоги висуваються до часу прийняття рішення автоматичними регуляторами про введення регулюючого впливу на систему. При складних алгоритмах обчислення функцій на вимірювальних органах регуляторів та високій динаміці процесів в системах електропостачання питання швидкодії обчислень та формування регулюючого впливу стоїть досить гостро. На сучасному етапі збільшення швидкодії пошуку рішення автоматичними регуляторами забезпечується використанням в програмному забезпеченні регуляторів математичного апарату теорії нечітких множин [1]. Однак для ефективного застосування вказаного апарату слід вирішити задачу пошуку параметрів функцій належності змінних нечітких множин. Така задача може бути вирішеною використанням технології генетичних алгоритмів пошуку параметрів функцій належності з послідуною їй перевіркою з експертною базою знань [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В роботах [2, 3] висвітлена методика застосування генетичних алгоритмів для автоматичних регуляторів з нечіткою логікою в системах електропостачання, але до уваги не взято особливості застосування пристроїв регулювання під навантаженням (РПН), які знаходяться в експлуатації тривалий час і потрібно обмежувати кількість їх перемикачів для збільшення довговічності елементів системи. Крім того отримані в цих роботах залежності не дозволяють однозначно стверджувати про вичерпність проведених досліджень, оскільки вимагають розробки додаткових методик ідентифікації станів систем електропостачання.

Постановка завдання. На підставі проведеного аналізу в роботі [4] запропонована математична модель пристрою керування трансформатором поперечного регулювання напруги (ТПР) з використанням теорії нечітких множин, яка враховує похідну огинаючої перетоку реактивної потужності через трансформаторну підстанцію та рівень напруги на вводах споживачів системи електропостачання і дозволяє покращити якість системи автоматичного керування трансформатором. Але в процесі застосування цієї моделі з'ясувалось, що час затримки на формування регулюючого впливу, внесений у вимірювальний канал регулятора для збільшення надійності системи регулювання приводить до погіршення якості регулювання, а також не враховується тривалість експлуатації пристрою РПН та рівня його зношеності. Тому необхідно здійснити вдосконалення та налаштування вказаної математичної моделі.

Виклад основного матеріалу. В процесі синтезу систем з нечіткою логікою важливо вирішити задачу оптимальної архітектури системи, а саме кількості входів та виходів, функцій належності (ФН) та їх параметри для кожних входу і виходу, вид і кількість правил в нечіткій базі знань, ваги правил тощо. Для традиційних методів розв'язання задач оптимізації багатоекстремальних функцій (якими являються системи з нечіткими множинами) властива проблема локального екстремуму та громіздкості обчислення пошуку глобального екстремуму функцій. Тому сучасний підхід до вирішення таких задач, в тому числі в

електроенергетиці, пов'язують з використанням генетичних алгоритмів [1].

З врахуванням зазначених міркувань застосуємо генетичний алгоритм для налагодження математичної моделі автоматичного регулятора системи поздовжньо-поперечного регулювання напруги (рис. 1) таким чином. Крім факторів, що впливають на перетоки реактивної потужності через трансформаторну підстанцію і на рівень напруги на вводах споживачів та взяті до уваги в роботі [4], будемо також враховувати стан зношеності пристрою РПН трансформатора. Результати зведені до табл. 1.

Згідно з [1] задача полягає в тому, щоб кожній комбінації параметрів поставити у відповідність одне із значень вагового коефіцієнта d_j ($j = \overline{1,5}$), яким враховується спотворення теплового портрета.

Зазначимо, що параметри X_1 – X_4 – відносні і їх значення визначається в кожному випадку відповідними номінальними величинами, а параметр X_6 – якісний для опису якого використовуємо умовну шкалу 0–100. Вихідною величиною $Y = (d_1, d_2, \dots, d_m)$ є коефіцієнт трансформації ТПР, що приймає значення в межах $[-0,05; +0,05]$. Користуючись введеними термами створюємо нечітку базу знань, фрагмент якої наведений в табл. 2.

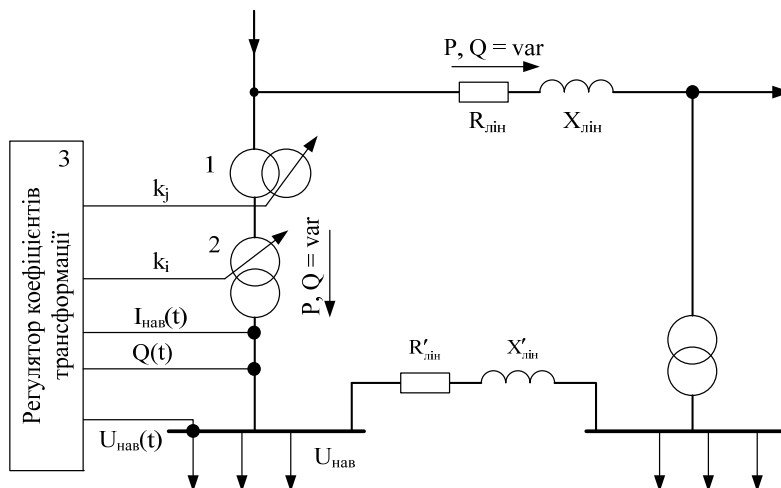


Рис. 1. Структурна схема системи електропостачання з поздовжньо-поперечним регулюванням напруги: 1 – трансформатор поперечного регулювання (ТПР), 2 – силовий трансформатор з РПН, 3 – автоматичний регулятор коефіцієнтів трансформації

Таблиця 1

Вхідні параметри моделі та їх лінгвістична оцінка

Параметри	Назва	Діапазон значень	Терми
X_1	Відносне значення навантаження підстанції 1	$(0,2-1,2)I_{ном}$	Дуже мале (ДМ), мале (М), середнє (С), велике (В), дуже велике (ДВ)
X_2	Відносне значення навантаження підстанції 2	$(0,2-1,2)I_{ном}$	Дуже мале (ДМ), мале (М), середнє (С), велике (В), дуже велике (ДВ)
X_3	Відносне значення сумарного навантаження	$(0,1-2,4)I_{ном}$	Мале (М), середнє (С), високе (В)
X_4	Відносне значення напруги на вводах споживачів	$(0,9-1,1)U_{ном}$	Дуже мале (ДМ), мале (М), середнє (С), велике (В), дуже велике (ДВ)
X_5	Похідна огинаючої реактивної потужності між підстанціями 1 та 2	-2...+2	Швидко знижується (ДН), повільно знижується (Н), не змінюється (0), повільно зростає (В), швидко зростає (ДВ)
X_6	Стан зношеності пристрою РПН	0–100	Новий (Н), Середній (С), Зношений (В)

Таблиця 2

Фрагмент нечіткої бази знань

Входи						Вихід Y
X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	
ДМ	С	М	В	ДН	Н	d_1
М	В	С	С	ДН	Н	
В	ДВ	В	ДМ	Н	С	d_2
С	С	С	С	С	В	d_3
М	ДМ	М	ДВ	В	С	d_4
В	М	С	С	ДВ	Н	d_5
ДВ	С	С	М	ДВ	Н	

Для аналітичного запису термів використаємо ФН Гаусса (1), що відповідає нормальному закону розподілу належності вхідної величини до вибраних терм згідно центральної граничної теореми:

$$\mu = \exp\left(-\frac{(x-b)^2}{2 \cdot c^2}\right), \quad (1)$$

де b – координата максимуму;
 c – коефіцієнт концентрації-розтягу.

На основі бази знань і ФН термів складаємо нечіткі логічні рівняння, що описують цю модель.

Частина рівнянь, що відповідає табл. 2, наведена в системі (2).

$$\left\{ \begin{array}{l} \mu^{d_1}(d) = [\mu^{DM}(X_1) \cdot \mu^C(X_2) \cdot \mu^M(X_3) \cdot \mu^B(X_4) \cdot \mu^{DH}(X_5) \cdot \mu^H(X_6)] \vee \\ \quad \vee [\mu^M(X_1) \cdot \mu^B(X_2) \cdot \mu^C(X_3) \cdot \mu^C(X_4) \cdot \mu^{DH}(X_5) \cdot \mu^H(X_6)] \\ \mu^{d_2}(d) = [\mu^B(X_1) \cdot \mu^{DB}(X_2) \cdot \mu^B(X_3) \cdot \mu^{DM}(X_4) \cdot \mu^H(X_5) \cdot \mu^C(X_6)] \\ \mu^{d_3}(d) = [\mu^C(X_1) \cdot \mu^C(X_2) \cdot \mu^C(X_3) \cdot \mu^C(X_4) \cdot \mu^C(X_5) \cdot \mu^B(X_6)] \\ \mu^{d_4}(d) = [\mu^M(X_1) \cdot \mu^{DM}(X_2) \cdot \mu^M(X_3) \cdot \mu^{DB}(X_4) \cdot \mu^B(X_5) \cdot \mu^C(X_6)] \\ \mu^{d_5}(d) = [\mu^B(X_1) \cdot \mu^M(X_2) \cdot \mu^C(X_3) \cdot \mu^C(X_4) \cdot \mu^{DB}(X_5) \cdot \mu^H(X_6)] \vee \\ \quad \vee [\mu^{DB}(X_1) \cdot \mu^C(X_2) \cdot \mu^C(X_3) \cdot \mu^M(X_4) \cdot \mu^{DB}(X_5) \cdot \mu^H(X_6)] \end{array} \right. , \quad (2)$$

Генетичний алгоритм для пошуку параметрів ФН системи (2) складається з послідовності кроків [5]:

- генерація початкової популяції хромосом;
- оцінка пристосованості хромосом в популяції;
- перевірка умови зупинки алгоритму;
- селекція хромосом;
- використання генетичних операторів;
- створення нової популяції;
- оцінка пристосованості нової популяції;
- якщо виконана умова зупинки, то вибір «найкращої» хромосоми.

В структурі генетичного алгоритму виділяють ще одну, більш ранню, операцію, яка полягає в формуванні структури хромосом шляхом кодування параметрів X_1, X_2, X_3 що оптимізуються. Виберемо позиційне десяткове кодування, яке дозволяє уникнути тривалої процедури перетворення бінарного коду в десятковий.

В умовах даної задачі структура хромосоми (рис. 2) формується з параметрів ФН $c_i^{m_i}, b_i^{m_i}$, термів a_{m_i} для кожної з змінних X_i що оптимізуються та ваг правил в нечіткій базі знань w_k (для кожного рядка).

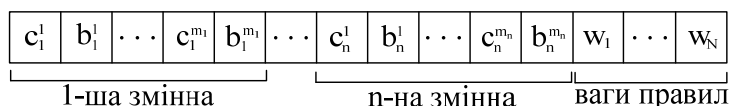


Рис. 2. Структура хромосоми

Початкова популяція, яка складалась з десяти хромосом, формувалася випадковим чином в заданому інтервалі допустимих значень $[\underline{c}_i, \bar{c}_i], [\underline{b}_i, \bar{b}_i], [\underline{w}_i, \bar{w}_i]$.

Елементи хромосом задаються наступним чином:

$$\begin{cases} c_i^0 = \text{Random}[\underline{c}_i, \bar{c}_i] \\ b_i^0 = \text{Random}[\underline{b}_i, \bar{b}_i] \\ w_i^0 = \text{Random}[\underline{w}_i, \bar{w}_i] \end{cases}, \quad (3)$$

де $\text{Random}[\underline{\xi}_i, \bar{\xi}_i]$ – оператор вибору випадкового числа на рівномірно розподіленому на інтервалі $[\underline{\xi}_i, \bar{\xi}_i]$;

$\underline{\xi}_i$ – нижня границя інтервалу;

$\bar{\xi}_i$ – верхня границя інтервалу.

Процедура формування нової популяції була побудована на механізмі елітного відбору, який

забезпечує швидкий пошук глобального оптимуму. Механізм елітного відбору передбачає відбір кращих хромосом з об'єму розширеної популяції, яка утворилася на базі попередньої після застосування генетичних операторів схрещування та мутації [5].

Критерієм оптимізації визначалась сума квадратів відхилень значень визначених нечіткою моделлю та даних, отриманих з навчальної вибірки.

В результаті оптимізації запропонованої математичної моделі, яка здійснювалась за допомогою програмного комплексу «Gensearch» [6], отримано нові значення параметрів ФН та ваги правил нечіткої бази знань, причому до навчання нечіткої моделі ваги правил були рівними одиниці.

Як приклад, на рис. 3 і 4 для фактора впливу “стан зношеності пристрою РПН” зображені терми функції належності, параметри яких мають місце до і після застосування процедури оптимізації відповідно.

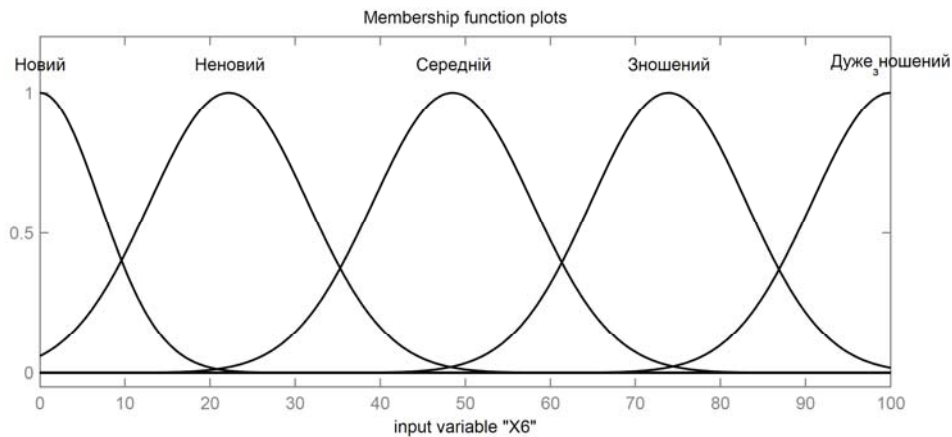


Рис. 3. Функції належності для параметра X6 «Стан зношеності пристрою РПН» до застосування процедури оптимізації

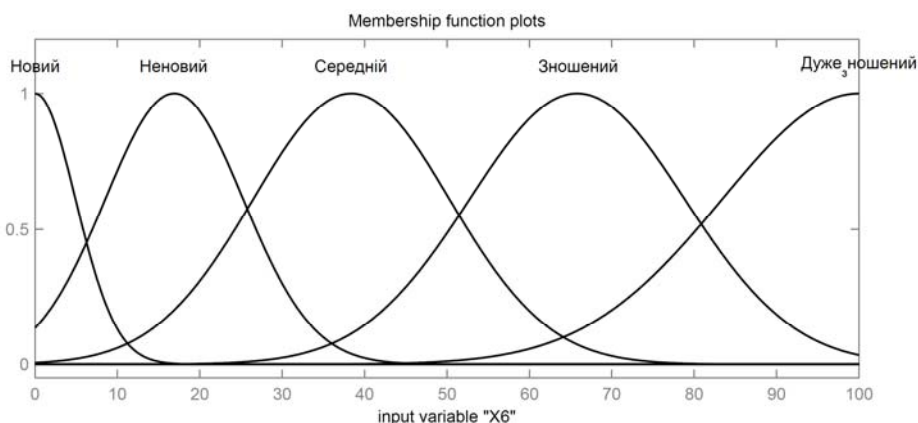


Рис. 4. Функції належності для параметра X6 «Стан зношеності пристрою РПН» після застосування процедури оптимізації

Висновки:

1. Запропонована математична модель автоматичного регулятора системи поздовжньо-поперечного регулювання напруги з використанням генетичного алгоритму для настройки нечіткої моделі, що враховує стан зношеності пристроїв РПН.

2. Запропонований метод дозволяє побудувати уточнену математичну модель з врахуванням інших чинників, які можуть мати пріоритетний характер.

3. Технічну реалізацію запропонованого підходу легко здійснити програмним або апаратним шляхом для забезпечення ефективного управління пристроями РПН в системі з поздовжньо-поперечним регулюванням напруги.

Література

1. Пантелеєв В. И. Аппарат нечетких регуляторов в задачах ситуационного управления режимами систем электроснабжения предприятий / В. И. Пантелеєв, А. Н. Туликов // Интеллектуальные ресурсы ХТИ – Красноярск: ИПЦ КГТУ. – 2005. – С. 85–87.

2. Любченко В. Я. Оптимизации коэффициентов трансформации подстанций на основе генетического алгоритма / В. Я. Любченко, Д. А. Павлюченко // ВИНТИ РАН «ТРАНСПОРТ: наука, техника, управление», 2008. – №6. – С. 30–32.

3. Ерємин О. И. Разработка методики решения задачи компенсации реактивной мощности с использованием многоцелевой оптимизации : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец.

05.14.01 „Энергетические системы и комплексы” / Ерёмин О. И. – Н. Новгород, 2007. – 20 с.

4. Левицький С. М. Математична модель пристрою керування трансформатором поперечного регулювання напруги / С. М. Левицький // Тези доповідей X міжнародної наукової конференції «Контроль і управління в складних системах». – Вінниця. – 2010. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу до каталогу : http://www.vstu.vinnica.ua/mccs2010/ukr/abstracts_UA.html.

5. Францкевич Г. И. Нейросетевые и генетические модели и методы анализа данных / Г. И. Францкевич, А. А. Букарев, В. П. Костюк. // Перспективные информационные технологии и интеллектуальные системы. – 2001. – № 4 (8). – С. 25–41.

6. Голубин А. В. Определение параметров генетического алгоритма с помощью программного комплекса "Gensearch" / А. В. Голубин. // Перспективные информационные технологии и интеллектуальные системы. – 2004. – № 3 (19). – С. 42–47.

Надійшла 23.11.2010 р.

УДК 621.321

О.С. ПИВОВАР, Я.О. БОЖОК
Хмельницький національний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТОПОЛОГІЧНОЇ СТРУКТУРИ ПРОВІДНИКІВ ВИСОКОШВИДКІСНИХ ІНТЕРФЕЙСІВ БАГАТОШАРОВИХ ПЕЧАТНИХ ПЛАТ

У статті розглядаються топологічні елементи фізичної реалізації печатних провідників високошвидкісних інтерфейсів в аспектах побудови шарової структури, диференційних ліній передач та вибору типу перехідних отворів. Визначено оптимальну структуру шарів. Запропоновано методику отримання оптимальної геометрії диференційної лінії передачі за заданим диференційним хвилевим опором. Проаналізовано можливості використання різних типів отворів в умовах швидкісної передачі сигналів.

In the article examined topological elements of physical realization of PCB traces of high-speed interfaces in the aspects of construction of the layered structure, differential transmission lines and choice of via type. The optimal structure of layers is certain. The methods of receipt of optimal geometry of differential line are offered after the set differential impedance. Possibilities of the use of different types of vias are analyzed in the conditions of high-speed transmission of signals.

Ключові слова: багатошарова печатна плата, диференційна лінія передачі, диференційний опір.

Вступ

Застосування печатної технології під час складання радіоелектронних вузлів домінує в сучасному виробництві радіоелектронної та цифрової апаратури. Більше того, виходячи із печатної технології розробляються корпусні елементи напівпровідникових інтегральних схем, резисторів, конденсаторів тощо. Постійно зростаючий рівень вимог швидкості та обсягу обробки інформації потребує збільшення носійних та тактових частот, а це вимагає удосконалення якісних характеристик компонентних комутацій як на внутрішньо платному, так і міжплатному і міжблочному рівнях. Прикладами таких ліній передачі є фізична реалізація універсальної послідовної шини IEEE-1394 (FireWire), інтерфейсів SATA (Serial ATA) і PCI Express тощо. Такі і подібні інтерфейси є наслідками переходу з паралельної архітектури на швидкісну послідовну архітектуру, що забезпечує високу пропускну здатність і надзвичайно великий потенціал за маштабованістю, але висуває надзвичайно високі конструкторські та технологічні вимоги до конструкції компонентних комутацій. Тому дослідження, спрямовані на удосконалення печатних плат як основних комутаційних елементів для систем максимальної швидкодії, залишаються актуальним завданням.

Основна частина

Високошвидкісними інтерфейсами, зазвичай, називають інтерфейси із бітовим інтервалом по одиночній лінії менше 1 нс. Для їх фізичної реалізації печатна плата має бути багатошаровою, але забезпечувати мінімально необхідну кількість шарів, потрібних для формування найбільш стабільних і завадозахищених ліній зв'язку у вигляді смужкових диференційних ліній передачі. Кількість шарів печатної плати дуже сильно визначається іншими вимогами окрім вимог побудови високошвидкісних інтерфейсів, наприклад, кількістю напруг живлення, щільністю інших зв'язків, типом корпусів компонент і комутаційного устаткування тощо.

Визначимося із мінімальною кількістю шарів плати. Сучасні плати, виходячи із вимог мікромініатюризації, мають планарні елементи, що розташовуються на обох боках плати, таким чином, для встановлення планарних компонент потрібно 2 шари. Зваживши на те, що на платах будуть присутні високошвидкісні інтерфейси, ці два шари мають виконуватись у вигляді мікросмужкових ліній передачі заданого хвилевого опору, отже необхідно формувати ще 2 потенційних шари для утворення мікросмужкових ліній з обох боків встановлення компонент. Використавши обидві поверхні потенційного шару як екрани смужкової лінії і розташували між ними ще один шар провідників можливо отримати мінімально можливу шарову структуру для передавання даних високошвидкісними інтерфейсами із 5 шарів.

З точки зору виробництва утворити плату із непарної кількості шарів можливо, але не технологічно.

Зазвичай, використовують парну кількість шарів. Найчастіше, 6, 8, 10, 12-шарові плати, використавши відповідно 2, 3, 4 пластини двостороннього фольгованого склотекстоліту (CORE) із наскрізними, глухими або мікроотворами. Отже, мінімальною кількістю шарів для плат із високошвидкісними інтерфейсами є плата із 6 шарами, що знайшла найбільш широке використання. В САПР HyperLynx інтегровано середовище проектування шарової структури, в якому можливо оптимізувати плату з точки зору шарової структури і окремих параметрів провідного рисунку. Для подальшого моделювання і оптимізації використовуємо типову структуру шарів плати обчислювальних засобів із високошвидкісними інтерфейсами, представлена на рис. 1.

Усі лінії передачі високошвидкісних інтерфейсів є диференційними, і як вже вказувалось, їх намагаються переважно робити у вигляді смужкових ліній зв'язку із взаємодією парціальних провідників за меншим боком прямокутного перетину завдяки підвищеній заводо захищеності, стабільності параметрів і технологічності утворення провідників.

	Visible	Color	Pour Draw Style	Layer Name	Type	Usage	Thickness um	Er	Test Width um	Z0 ohm
1					Dielectric	Solder Mask	20	3.7		
2	<input checked="" type="checkbox"/>	Red	Solid	TOP	Metal	Signal	42	<Auto>	152.4	49.8
3					Dielectric	Substrate	100	4.3		
4	<input checked="" type="checkbox"/>	Orange	Solid	VCC	Metal	Plane	18	<Auto>	152.4	73
5					Dielectric	Substrate	150	4.3		
6	<input checked="" type="checkbox"/>	Yellow	Solid	01	Metal	Signal	18	<Auto>	152.4	53.9
7					Dielectric	Substrate	300	4.3		
8	<input checked="" type="checkbox"/>	Green	Solid	02	Metal	Signal	18	<Auto>	152.4	53.9
9					Dielectric	Substrate	150	4.2		
10	<input checked="" type="checkbox"/>	Cyan	Solid	GND	Metal	Plane	18	<Auto>	152.4	73
11					Dielectric	Substrate	100	4.2		
12	<input checked="" type="checkbox"/>	Blue	Solid	BOTTOM	Metal	Signal	42	<Auto>	152.4	50.2
13				=	Dielectric	Solder Mask	20	3.7		

Рис. 1. Структура шарів плати для проведення моделювання у середовищі HyperLynx 2008

Частина лінії зв'язку такої диференційної передавальної структури від драйвера до приймача проходить на зовнішніх шарах печатної плати. Отже, додатковою вимогою інтегральної цілісності сигналів є дотримання однакового заданого диференційного хвильового опору (найчастіше 100 Ом) вздовж лінії для мікросмужкової та смужкової лінії передачі (рис. 2).

Під час розробки сучасних плат, трасувальник отримує параметри ліній передачі у вигляді ширини провідників та зазорів між ними, а також розташування шарів, які змінювати забороняється. Занадто малі зазори між провідниками диференційної лінії призводять до різкої зміни диференційного опору внаслідок технологічних відхилень виробництва, а занадто великі не дозволяють використати всі переваги диференційної передачі сигналів, тому параметри слід обирати оптимальними, використовуючи вбудований у САПР калькулятор хвильового диференційного опору, який за заданою структурою плати обраховує діаграму "ширина провідника – зазор" для дотримання сталості диференційного опору (рис. 2).

Оптимальному розташуванню провідників диференційної лінії відповідає зона зламу характеристик графіка (рис. 2). Зазвичай, намагаються дотриматись як у мікросмужковій та смужковій лініях передачі однакової ширини провідника печатного рисунка, тому пропонується така методика оптимізації зазорів:

- 1) Здаються структурою печатної плати.
- 2) Обраховуються хвильові опори провідників як окремих недеференційних ліній.
- 3) Вибирається товщина діелектрика та ширина провідника, яку дозволяє реалізувати технологічне устаткування з умовою перевищення половини значення пошукуваного диференційного опору до 3-6%. Наприклад, якщо необхідно реалізувати диференційну лінію 100 Ом, то хвильовий опір поодинокого провідника має бути близько 53 Ом.
- 4) Будують діаграми (рис. 2) стабільного диференційного опору для диференційної лінії, що утворена такими провідниками.
- 5) Якщо встановлена раніше ширина провідників відповідає розташуванню в оптимальній зоні (зоні зламу характеристики, рис. 2), то використовують значення зазорів між провідниками, які вказано на діаграмах; якщо значення ширини провідника знаходять за межами оптимальних зон, то змінюють параметри шарової структури (товщину діелектрика, діелектричну проникненість і т.п.) та знову повторюють розрахунок.

В результаті оптимізації також мають враховуватись технологічні вимоги дискретності кроку лінійних розмірів, припустимих матеріалів та точності виготовлення елементів провідного рисунку. Основними перевагами методики оптимізації є:

- 1) Можливість локального розділення провідників диференційної лінії зв'язку без значної зміни диференційного опору для прокладання трас у складних місцях.
- 2) Більший ступінь рівномірності хвильового опору вздовж лінії, що забезпечує кращі показники інтегральної цілісності сигналів.
- 3) Зменшена номенклатура значень ширини провідників на усій печатній платі.

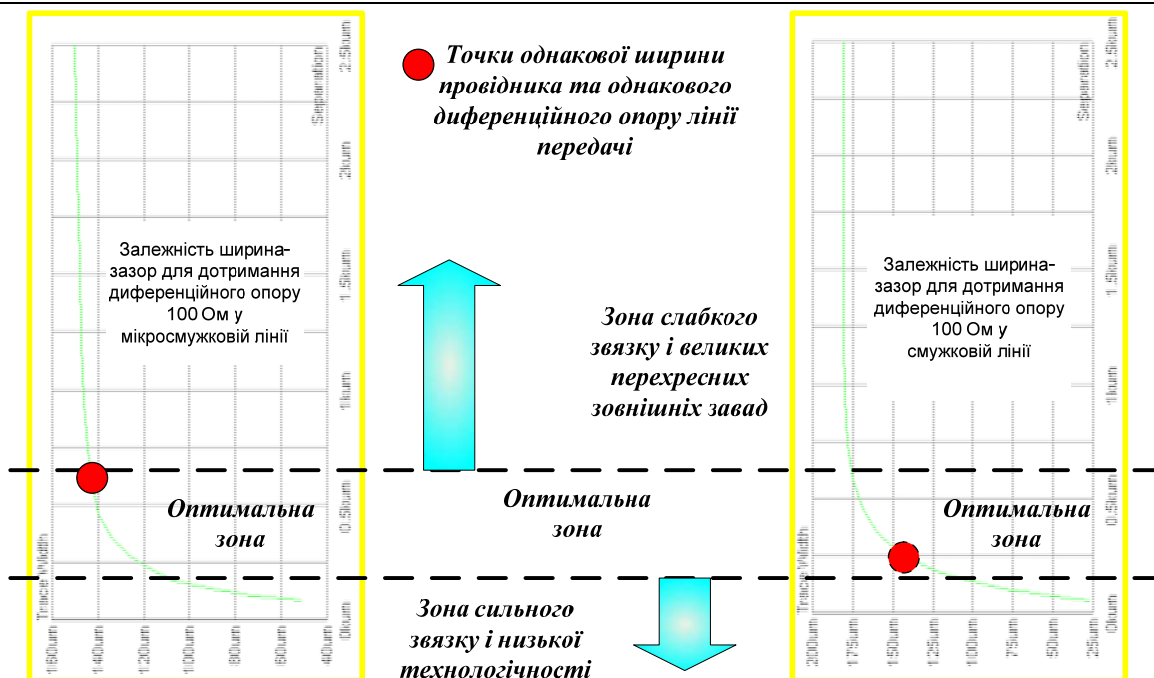


Рис.2. Діаграма сталого диференційного опору мікросмужкової (ліворуч) та смужкової лінії передачі (праворуч)

Таким чином, топологія типової лінії передачі високошвидкісного інтерфейсу складається із декількох диференційних ліній передачі:

- диференційної мікросмужкової лінії, вихід драйвера – перехідний отвір до внутрішнього шару плати;
- диференційної смужкової лінії передачі, що зв'язує два перехідні отвори, розташовані у безпосередній близькості від драйвера та приймача;
- диференційної мікросмужкової лінії передачі перехідний отвір – контактний майданчик термінатора;
- диференційної мікросмужкової лінії передачі контактний майданчик термінатора – вивід приймача.

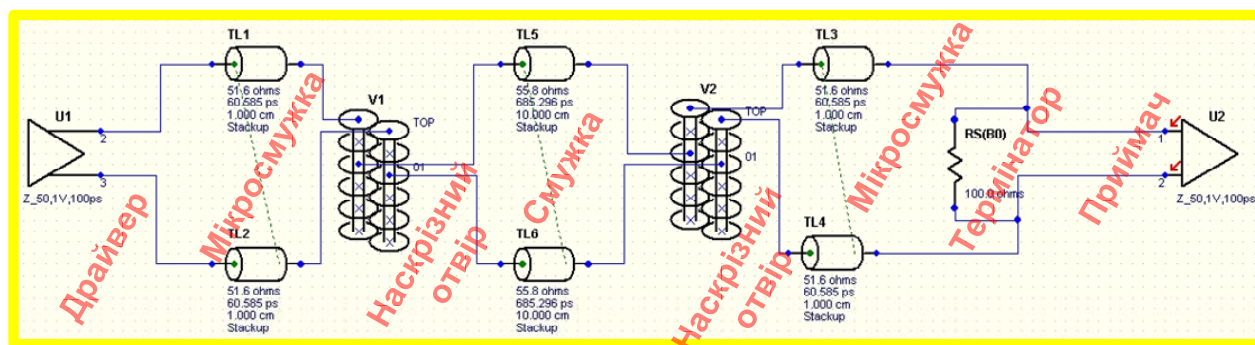
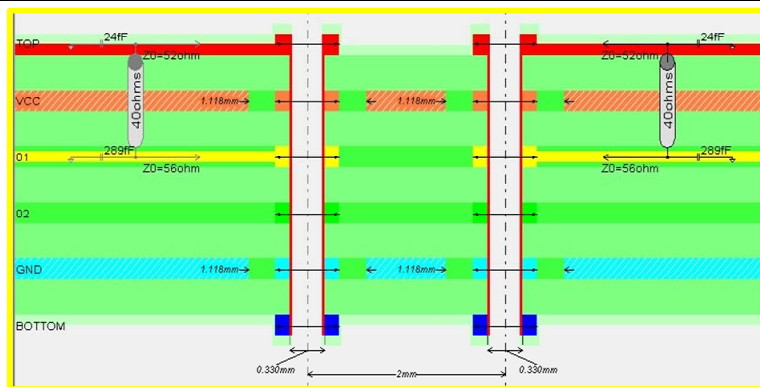


Рис.3. Схема емуляції диференційної лінії високошвидкісного інтерфейсу у середовищі HyperLynx 2008

У випадках використання внутрішнього термінатора (ODT-термінатор), що передбачено у багатьох ІС великого ступеня інтеграції сукупна лінія передачі спрощується, але залишається такий технологічний елемент як перехідний отвір. Інтуїтивно зрозуміло, що глухий перехідний отвір має кращі характеристики, але наскільки кращі, щоб замінювати наскрізні отвори? Для проведення моделювання використано САПР HyperLynx 2008 у режимі симуляції принципів схем LineSym (рис.3,4).

Параметри ліній передач відповідають шаровій структурі представленій на рис.1 та геометрії провідників, визначених за рис.2. Під час моделювання введено наступні припущення та обмеження:

- вважається, що приймач (U2) устатковано ODT термінатором;
- вважатимемо передавач (U1) ідеальним ключовим елементом, що створює трапецеїдальні імпульси;
- вихідний опір передавача і вхідний опір приймача ідеально узгоджено із лінією передачі (встановлена послідовно-паралельна термінація);
- всі параметри збуджуючих стимулів обрано виходячи із найбільш поширеного послідовного інтерфейсу PCI-Express (рис. 4, праворуч).



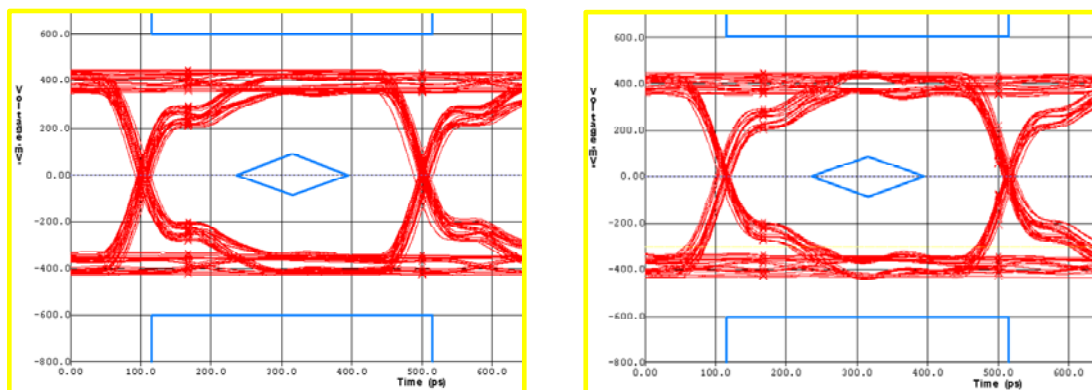
Бітовий інтервал	400 пс
Довжина фронту	100 пс +/- 1%
Вих. опір драйвера	50 Ом
Вхідний опір приймача	100 кОм
Вх./вих. ємність	1пф
Вх./вих. індуктивність	1нГ
Напруга живлення	1 В
Тестовий стимул	8b/10b PCI-e

Рис.4. Структура міжшарової наскрізної перетинки (ліворуч) та параметри тестового стимулу (праворуч) диференційної лінії високошвидкісного інтерфейсу у середовищі HyperLynx 2008

Зважаючи на багатофакторний характер впливу перехідних отворів на інтегральну цілісність сигналу за критерій наступного моделювання також треба брати деякий інтегральний показник. В таких випадках найбільш часто використовується ОКО-діаграма та її мінімаксні характеристики, в першу чергу, ширина та висота розкриву ОКА, або площа розкриву. Вимірювальні засоби САПР HyperLynx 2008 дозволяють точно оцінити ці значення.

Крім моделей ліній передачі слід також задатись моделями отворів. Для створення моделей використані типові значення геометричних параметрів отворів і контактних майданчиків, які використовуються для ліній PCI-Express материнських плат ПЕОМ (рис. 4, ліворуч).

Слід зазначити, що структура шарів 6-шарової печатної плати передбачає прокладання диференційних смужкових ліній лише в одному із у 3 або 4 шарів, залежно від того, на якому боці плати знаходяться драйвер та приймач. Якщо розташувати драйвер та приймач на різних боках плати, то можуть виникнути проблеми із протіканням зворотних струмів через шунтуючі конденсатори завдяки замиканню силових ліній електричного поля також і на потенційні шари.



Параметр	Глухі	Наскрізні
ОКО-ширина	383 пс	374 пс
ОКО- висота	730 мВ	690 мВ
ОКО- розкрив	+8%	0
ОКО- амплітуда	820 мВ	843 мВ
Розмах джитеру	25 пс	23 пс
Хвилевий опір отвору	39 Ом	40 Ом
Ємність отвору	0,092 пФ	0,313 пФ
Відносна затримка	0	+6пс

Рис. 5. ОКО-діаграми для ліній передачі із глухими (ліворуч) та наскрізними (центр) отворами та їх параметри відповідно (праворуч)

Результати моделювання є ОКО-діаграми та їх параметри, представлені на рис.5. Основним параметром, що спотворює характеристики ОКО-діаграми лінії передачі із наскрізними отворами порівняно із лінією передачі із глухими отворами є збільшена приблизно у 5 разів ємність міжшарової перетинки. Тим не менш ця ємність лишається приблизно у стільки ж саме разів меншою за ємності виводів і контактних майданчиків. Таким чином, в реальних умовах проектування, застосування менш технологічних глухих отворів замість більш дешевих наскрізних отворів доцільно лише у надшільних спеціальних проєктах печатних плат із високою протяжністю провідників та зменшеним бітовим інтервалом, де вплив будь-якої частини лінії передачі на якість роботи інтерфейсу може бути критичним.

Крім абсолютних параметрів впливу міжшарових перетинок на окрему диференційну лінію передачі слід також завжди приділяти увагу відносним системним параметрам передавання сигналів. В першу чергу, зважити на додаткову затримку сигналу, що може вплинути роботу інтерфейсів із групою високошвидкісних ліній передачі, фізична реалізація яких складається із декількох ліній, узгоджених між собою за довжиною, а вплив міжшарових перетинок може порушити це узгодження.

Висновки

1. Визначено, що мінімальна структура багатшарової печатної плати в умовах використання високошвидкісних інтерфейсів і оптимальної технології виготовлення складається із шести шарів металізації, подібну структуру плати рекомендовано використовувати для емуляції роботи високошвидкісних інтерфейсів у середовищах САПР.

2. Запропоновано методіку визначення параметрів слабкозв'язаної диференційної лінії передачі, що полягає в ітераційній процедурі визначення залежності диференційного опору за допомогою САПР HyperLynx 2008 та перевірки результатів за допомогою щільності силових ліній поля перетину лінії передачі.

3. За допомогою САПР HyperLynx 2008 проаналізовано вплив наскрізних та глухих отворів на якість передачі сигналів високошвидкісних інтерфейсів. Визначено, що основним фактором впливу є суттєве (близько 5 разів) збільшення ємності міжшарової перетинки, що призводить до додаткової затримки у декілька піко секунд.

Література

1. Джонсон Говрад В. Мартин. Конструирование высокоскоростных цифровых устройств: начальный курс черной магии / Джонсон Говрад В., Грэхем, Мартин. [пер. с англ.]. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2006, - 624с.:ил. – Парал. тит. англ.

2. Джонсон Говрад В. Высокоскоростная передача цифровых данных: высший курс черной магии / Джонсон Говрад В. [пер. с англ.]. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2005, - 1024с.:ил. – Парал. тит. англ.

Надійшла 26.11.2010 р.

УДК 681.327

М.О. ПРОКОПОВА, Т.І. КОЗЛОВСЬКА, А.М. КОЗАК, К.І. КРАВЦОВ

Вінницький національний технічний університет

МЕТОДИ ОБРОБЛЕННЯ ФОТОПЛЕТИЗМОГРАФІЧНИХ СИГНАЛІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ФУР'Є ПЕРЕТВОРЕННЯ

У даній роботі розглянуто основні властивості та принципи Фур'є-перетворення, розроблений алгоритм та програмне забезпечення на основі швидкого перетворення Фур'є, а також промодельовано метод визначення відхилення від норми фотоплетизмографічного сигналу на основі нормального Гаусівського розподілу.

Basic properties and principles of Fourier-transformation are considered in this article, is developed algorithm and program on the base of fast Fourier transformation, and was simulated the method of determination of deviation from the norm of photoplethysmographic signal, on the base of normal Gaussian distribution.

Ключові слова: фур'є-перетворення.

Вступ

На даному етапі розвитку сучасної медицини постає проблема розв'язання діагностичних задач, задач компресії, архівації та передачі інформації про досліджуваний біосигнал, а також підвищення його якості. Більшість сигналів, що зустрічаються на практиці (фотоплетизмограма, електрокардіограма, фонокардіограма, реограма, сфігмограма та ін.) представлені в часовій області [1, 2]. Тобто сигнал є функцією часу і ми отримуємо його в амплітудно-часовій формі. Але для більшості випадків обробки сигналів такий вигляд є не завжди інформативним, оскільки дуже часто найбільш важлива інформація прихована в частотній області сигналу. Частотний спектр є сукупністю частотних (спектральних) компонент і відображає наявність тих чи інших частот в сигналі. Тому до сигналів застосовуються математичні

перетворення, щоб отримати інформацію недоступну в початковому вигляді.

Одним із найпоширеніших таких перетворень є перетворення Фур'є, що пов'язане з використанням частотної області, використання якої значно полегшує розв'язання задач обробки сигналів [1].

МЕТОД

Будь-яка 2π -періодична функція $f(x)$ є сумою

$$a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos kx + b_k \sin kx) \quad (1)$$

її Фур'є-ряду [3]. Коефіцієнти a_0 , a_k і b_k обчислюються за допомогою

$$a_0 = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(x) dx, \quad a_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \cos(kx) dx, \quad b_k = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(x) \sin(kx) dx. \quad (2)$$

При розкладанні сигналу в ряд Фур'є можна виявити його особливості, непомітні до цього. Наприклад, розкладаючи біомедичний сигнал, будь-яке значне відхилення від нього розглядається як патологія, що дає суттєвий внесок у покращення медичних досліджень.

Найпростіший спосіб розкладання сигналу здійснюється за допомогою вимірювального пристрою, що називається аналізатором спектру [4]. Даний пристрій складається із множини фільтрів. За потужністю сигналу на виході фільтра, що пропускає сигнал тільки певної частоти можна визначити долю частотної складової, що міститься в сигналі. Тобто встановивши фільтри різних частот, можна визначити спектр всього сигналу в цілому. Нижче наведено розкладання фотоплетизмографічного сигналу.

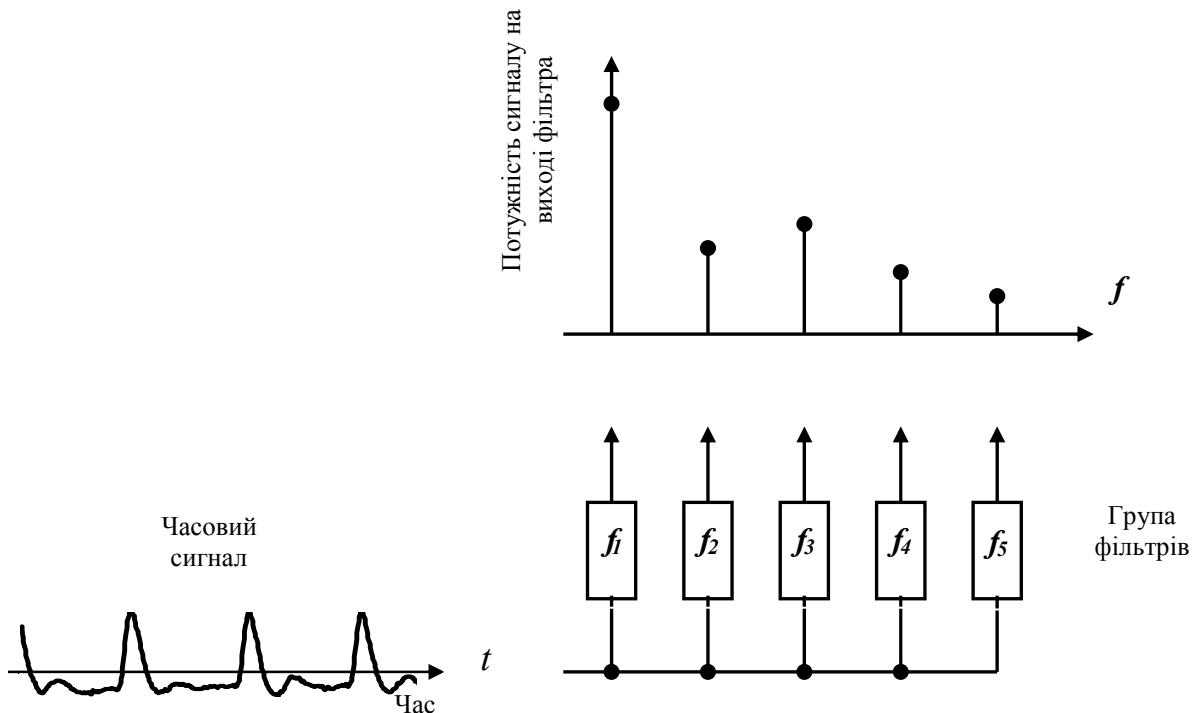


Рис. 1. Аналізатор спектру

Перевагою Фур'є-перетворення є те, що воно дає можливість аналізувати сигнал в часовій області на його частотному змісті. Перетворення здійснюється за допомогою початкового перетворення функції в часовій області у функцію в частотній області. Сигнал можна проаналізувати за його частотним змістом, оскільки Фур'є-коефіцієнти перетвореної функції відображають внесок кожного синуса і косинуса функції на кожній частоті. В свою чергу, зворотне перетворення Фур'є перетворює дані з частотної області в часову область.

Дискретне перетворення Фур'є.

Дискретне перетворення Фур'є (ДПФ) оцінює Фур'є-перетворення функції з обмеженого числа її окремих точок. Дані точки вважаються типовими для сигналу, що подібний до всіх інших сигналів.

ДПФ має симетричні властивості. Фактично точно такі ж, як неперервне перетворення Фур'є. До того ж, формула для зворотнього дискретного перетворення Фур'є легко обчислюється з використанням одного з дискретних Фур'є перетворень, оскільки дві формули є практично ідентичними.

Віконне перетворення Фур'є

Якщо $f(t)$ неперіодичний сигнал, сукупність періодичних функцій, синус і косинус, не точно відображають сигнал. Ви можете штучно продовжити сигнал, зробивши його періодичним, але для цього буде потрібна додаткова цілісність кінцевих точок. Віконне перетворення Фур'є (ВПФ) – це одне із

вирішень проблеми для кращого представлення неперіодичного сигналу. ВПФ може використовуватись для подання інформації про сигнали одночасно в часовій області та частотній області.

З ВПФ, вхідний сигнал $f(t)$ подрібнюється на частини, і кожна частина аналізується окремо за її частотним змістом. Якщо сигнал має різкий перехід, ми вводимо віконні дані так, щоб частини сходились до нуля в кінцевих точках [3]. Це віконне перетворення здійснюється через вагову функцію, яка розміщується біля кінця інтервалу менш акцентовано, ніж в середині. Ефект вікна полягає в тому, щоб локалізувати сигнал в часі.

Швидке перетворення Фур'є

Для апроксимації зразків функції і для апроксимації інтегралу Фур'є, згідно з дискретним перетворенням Фур'є, необхідне застосування матриці, порядок якої – це кількість точок вибірки, n . Після множення $n \times n$ матриці на вектор, з порядком n^2 арифметичних операцій, ситуація швидко погіршується, оскільки збільшується число точок зразка. Однак, якщо зразки рівномірно розміщені на інтервалі, матриця Фур'є може бути інтегрована в результат тільки декількох розріджених матриць, і результуючі коефіцієнти можуть застосовуватись тільки до вектора в загальному порядку $n \log n$ арифметичних операцій. Це, так зване, швидке перетворення Фур'є, або ШПФ [5].

На основі ШПФ був створений алгоритм та програмне забезпечення, що дозволяє обробляти сигнали отримані як за допомогою оптико-електронної системи аналізу периферійного кровообігу, так і на основі точок введених вручну (рис. 2).

Далі для наочності ми можемо побудувати графік введеної функції (рис. 3).

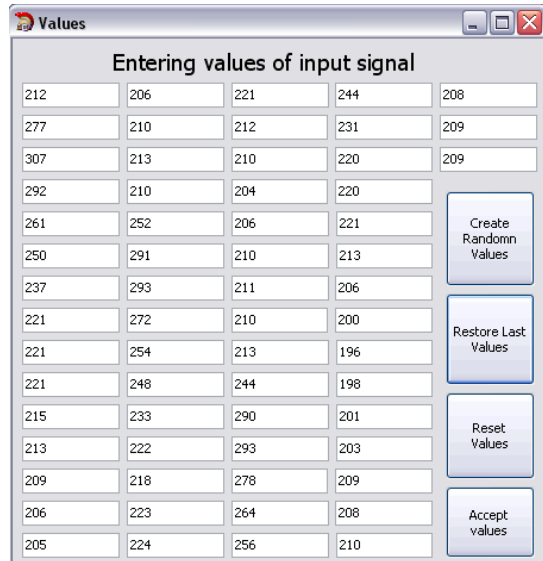


Рис. 2. Приклад введення точок для побудови фотоплетизмограми

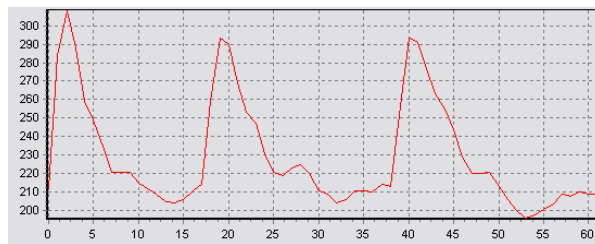


Рис. 3. Вигляд фотоплетизмографічної кривої

Після побудови графіку ми можемо провести Фур'є аналіз (рис. 4).

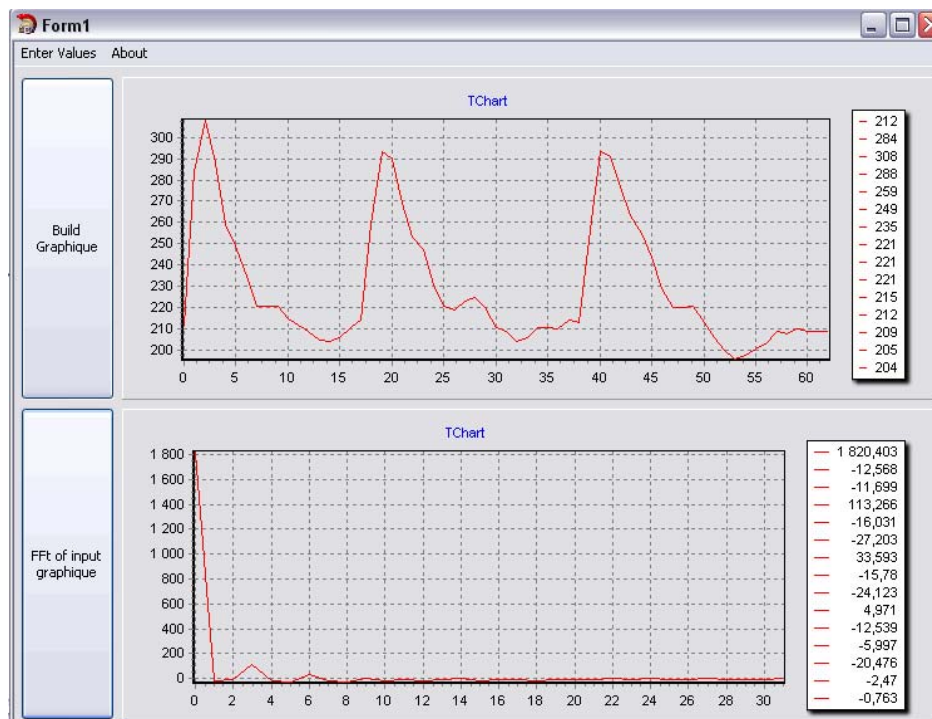


Рис. 4. Результат обробки

Алгоритм роботи розробленої програми зображений на рис. 5.

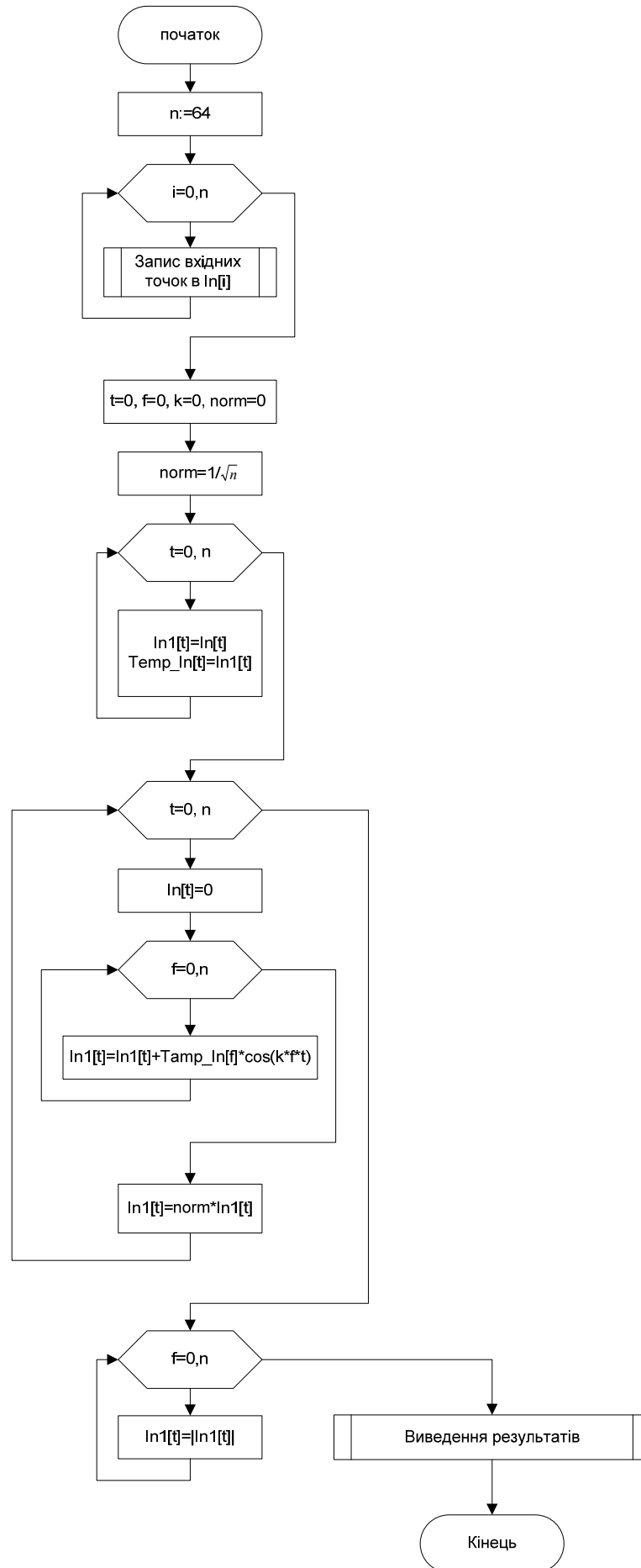


Рис. 5. Алгоритм роботи програми на основі ШПФ

В результаті, на основі отриманого перетворення ми можемо визначити можливі відхилення сигналу від норми. Тобто, при порівнянні піків перетвореного Фур'є-сигналу з деякими еталонними значеннями ми можемо автоматично визначити наявність чи відсутність певної патології. Пропонується проводити визначення відхилення від норми за допомогою сформованої моделі Гауса.

Даний метод дозволяє визначити відхилення від норми одномірного чи двомірного сигналу. Також він дозволяє проводити як динамічний, так і сталий аналіз. Сигнал моделюється у вигляді:

$$B = N(x, \mu, \sigma^2). \quad (3)$$

За деякий час n алгоритм створює модель нормальних параметрів біо об'єкта чи сигналу. Якщо ми одразу обстежуємо хворого, то відповідно модель (еталон) закладається в базу знань, якщо ж ми поводимо довготривале динамічне обстеження хворого, то для кожного обстеження алгоритм виробляє оцінку параметрів моделі, тобто μ і σ^2 використовуючи апарат математичної статистики, а потім, після того як навчання закінчено, використовує ймовірнісний поріг для того, щоб визначити, відповідає отриманий спектральний розклад нормальним показникам чи є деякі відхилення, що потребує більш глибокого дослідження.

Навчання моделі еталонного сигналу: для оцінки параметрів моделі μ і σ^2 можна застосовувати вибіркоче середнє і середньоквадратичне відхилення значень [6-8]

$$\mu = \frac{1}{n} * \sum_{k=1}^n B[i, j, k], \quad (4)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{k=1}^n (B[i, j, k] - \mu)^2}, \quad (5)$$

k – значення в даному проміжку за деякий n час.

Далі для кожного наступного сигналу і для кожного проміжку: позначимо за c значення на поточному проміжку. Якщо $\frac{|c-\mu|}{\sigma} \leq \epsilon$ то даний проміжок або пік розкладу Фур'є сегментується як відхилення від норми, інакше є нормальним показником.

Відхилення сигналу, зазвичай супроводжується сплеском значення, оскільки відхилення, в більшості випадків мають порівняно більші параметри та значення. Інші коливання значень проходять плавно

З метою виявлення різких разових випадів відхилення, що виникають при виникненні відхилення від нормальних показників пропонується перевіряти умови:

$$a(1 - m) > \sigma_{t-1}, \quad (6)$$

та додатково

$$|B[i, j, k]| > L. \quad (7)$$

Виконання умови (6) говорить про те, що вхідний сигнал погано відповідає моделі з накопиченими значеннями параметрів a і відповідно нормі, і може бути свідченням наявності деякої патології. Виконання умови (7) свідчить про те, що в даному спектральному розкладі дійсно має місце зміна яскравості, що перевищує по амплітуді поріг M .

Таким чином, якщо при виконанні хоча б однієї з вказаних умов, разом скорегувати параметри розподілу, то потенційне відхилення може потрапити в модель відхилень і більше не з'явиться, тому нові значення μ_t і σ_t обчислюються за формулами [6, 8, 9]:

$$\mu = \frac{1}{n} * \sum_{k=1}^n B[i, j, k], \quad (8)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} * \sum_{k=1}^n (B[i, j, k] - \mu)^2}. \quad (9)$$

Якщо жодна з умов невиконана, то:

$$\mu_t = B[i, j, k]$$

$$\sigma_t = \sigma_{\text{initial}},$$

де initial – експериментально підібране початкове значення середньоквадратичного відхилення, що використовується при корегуванні параметрів розподілу. Цей метод допомагає позбутися проблеми деяких шумів.

Реалізація методу оснований на нормальному розподілі вимагає великих затрат ресурсів через використання n -ї кількості операцій. Також цей метод вимагає великих затрат пам'яті. На практиці можна

використовувати більш економічну схему обчислення μ_t та σ_t шляхом їх накопичення:

$$\mu = (1 - k_{\mu})\mu_{t-1} + k_{\mu}B[i, j, k]$$

$$\sigma = \sqrt{(1 - k_{\sigma})\sigma_{t-1}^2 + k_{\sigma}B[i, j, k]}$$

де k_{μ} та k_{σ} визначають швидкість оновлення перематрив моделі, тобто як сильно теперішні значення буде впливати на параметри моделі. Ми використовували наступні значення:

$$k_{\mu} = 0.009; k_{\sigma} = 0.06$$

ВИСНОВКИ

Отже, розкладаючи сигнал в ряд Фур'є, можна виявити його особливості, які неможливо визначити в нормальному стані. Наприклад, при розкладанні біомедичного сигналу, кожне значне відхилення від нього вказує на наявність певної патології, що робить ефективним застосування Фур'є-перетворення при проведенні діагностичних досліджень. Тобто на основі отриманого перетворення ми можемо визначати можливі відхилення сигналу від норми. Крім того, при порівнянні піків перетвореного Фур'є-сигналу з деякими еталонними значеннями ми можемо автоматично визначати наявність чи відсутності патології.

Також, при проведенні визначення відхилення від норми за допомогою сформованої моделі Гауса ми можемо визначити відхилення від норми одномірного або двомірного сигналу, що дозволяє проводити як динамічний, так і сталий аналіз стану пацієнта.

Література

1. Біомедичні сигнали та їх обробка / [В. Г. Абакумов., В. О. Геранін., О. І. Рибін та ін.]. – К.: ТОО «БЕК+», 1997. – С. 228 – 229.
2. Фізичні основи біомедичної оптики: монографія / [Павлов С. В., Кожем'яко В. П., Колісник П. Ф. та ін.] – Вінниця: ВНТУ. – 2010. С. 62– 63.
3. Kaiser, *A Friendly Guide to Wavelets*, Birkhauser, Boston, 1994, P. 44-45.
4. Юкио Сато. Обработка сигналов. Первое знакомство / [под ред. Ёсифуми Амэмия]. – 1999. – С.
5. W. Press et al., *Numerical Recipes in Fortran*, Cambridge University Press, New York, 2002, pp. 498-499, 584-602.
6. Галушкин А.И. Теория нейронных сетей: Кн. 1 / [под ред. А.И.Галушкина.]. – М.: ИПРРЖР, 2000.
7. Комарцова Л.Г. Нейрокмпьютеры / Комарцова Л.Г., Максимов А.В. / – М.: МГТУ, 2002. – 320 с.
8. Оптоэлектронная схемотехника: Учеб. пособие / [В.П. Кожемяко, О.Г. Натрошвили, Т.Б. Мартынюк, Л.И. Имнашвили]. – К.: УМК ВО, 1986. – 276с.
9. Stanchuk K., Hani Al-Zubi. Analysis of correlative methods for proceeding of biomedical image // Тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених “Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології”. – Вінниця. – 2001. – С. 119.

Надійшла 22.11.2010 р.

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Повні вимоги до оформлення рукопису
<http://visnikup.narod.ru/rules/>

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 5 від 24.11.2010 р.

Підп. до друку 25.11.2010 р. Ум.друк.арк. 18,26 Обл.-вид.арк. 22,65
Формат 30x42/4, папір офсетний. Друк різнографією.
Наклад 100, зам. № _____

Тиражування здійснено з оригінал-макету, виготовленого
редакцією журналу “Вісник Хмельницького національного університету”
редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63