ISSN 2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

1.2017

ВІСНИК

Хмельницького національного університету

Технічні науки
Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2017, Issue 1, Volume 245

Хмельницький

ВІСНИК
ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
серія: Технічні науки

Затверджений як фахове видання (перереєстрація)
Наказ МОН 04.07.2014 №793

Засновано в липні 1997 р. ***Виходить 6 разів на рік***

Хмельницький, 2017, № 1 (245)

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

Включено до наукометричних баз:

Google Scholar	http://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=aIUP9OYAAAAJ
Index Copernicus	http://jml2012.indexcopernicus.com/passport.php?id=4538&id_lang=3
РИНЦ	http://elibrary.ru/title_about.asp?id=37650
Polish Scholarly Bibliography	https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221

Головний редактор	**Скиба М. Є.**, д.т.н., професор, заслужений працівник народної освіти України, член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України, ректор Хмельницького національного університету
Заступник головного редактора	**Войнаренко М. П.**, д. е. н., професор, заслужений діяч науки і техніки України, член-кореспондент Національної академії наук України, проректор з науково-педагогічної та наукової роботи, перший проректор Хмельницького національного університету
Відповідальний секретар	**Гуляєва В. О.**, завідувач відділом інтелектуальної власності і трансферу технологій Хмельницького національного університету

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

Березненко М.П., д.т.н., Бубулис Алгимантас, д.т.н. (Литва), Гордєєв А.І., д.т.н., Грабко В.В., д.т.н., Диха О.В., д.т.н., Жултовський Б., д.т.н. (Польща), Зубков А.М., д.т.н., Камбург В.Г., д.т.н. (Росія), Каплун В.Г., д.т.н., Карван С.А., д.т.н., Карташов В.М., д.т.н., Кичак В.М., д.т.н., Кіницький Я.Т., д.т.н., Коновал В.П., д.т.н., Коробко Є.В., д.т.н. (Білорусія), Костогриз С.Г., д.т.н., Кофанов Ю.М., д.т.н. (Росія), Мазур М.П., д.т.н., Мандзюк І.А., д.т.н., Мельничук П.П., д.т.н., Мясіщев О.А., д.т.н., Натріашвілі Т.М., д.т.н. (Грузія), Нелін Є.А., д.т.н., Павлов С.В., д.т.н., Пастух І.М., д.т.н., Поморова О.В., д.т.н., Пановко Г.Я., д.т.н. (Росія), Попов В., доктор природничих наук (Німеччина), Прохорова І.А., д.т.н., Рогатинський Р.М., д.т.н., Ройзман В.П., д.т.н., Рудницький В.Б., д.фіз.-мат.н., Сарібеков Г.С., д.т.н., Сілін Р.І., д.т.н., Славінська А.Л., д.т.н., Сорокатий Р.В., д.т.н., Сурженко Є.Я., д.т.н. (Росія), Троцишин І.В., д.т.н., Шинкарук О.М., д.т.н., Шклярський В.І., д.т.н., Щербань Ю.Ю., д.т.н., Юрков М.К., д.т.н. (Росія), Ясній П.В., д.т.н.

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

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету, протокол № 9 від 31.01.2017 р.

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

☎ (038-22) 2-51-08 **web:** http://journals.khnu.km.ua/vestnik
e-mail: visnyk_khnu@rambler.ru http://vestnik.ho.com.ua
http://lib.khnu.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

© Хмельницький національний університет, 2017
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2017

ЗМІСТ

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

І.М. ПАСТУХ, Г.М. СОКОЛОВА, В.В. ЛЮХОВЕЦЬ
ОБҐРУНТУВАННЯ АЗОТУВАННЯ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ З ЖИВЛЕННЯМ ЗМІННИМ СТРУМОМ 7

В.О. ХАРЖЕВСЬКИЙ
ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНІВ РУХУ ВИХІДНОЇ ЛАНКИ МЕХАНІЗМІВ, ПОБУДОВАНИХ НА ОСНОВІ МЕХАНІЗМУ ЧЕБИШЕВА З НАБЛИЖЕННЯМ ВЕРХНЬОЇ ДІЛЯНКИ ШАТУННОЇ КРИВОЇ 10

В.А. ГОРОБЕЦЬ, О.П. МАНОЙЛЕНКО, І.В. СИСЕНКО
ДО ПИТАННЯ СИНТЕЗУ БАГАТОЛАНКОВИХ МЕХАНІЗМІВ З МАСИВНОЮ ВЕДЕНОЮ ЛАНКОЮ 16

Ю.В. САВИЦЬКИЙ
ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕТОДОМ СИНТЕЗУ 24

В.О. ПРОЦЕНКО, О.Ю. КЛЕМЕНТЬЄВА
ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАПОБІЖНИХ КАНАТНИХ МУФТ ДЛЯ ЗАХИСТУ МАШИН ВІД ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПЕРЕВАНТАЖЕНЬ 28

Ю.В. САВИЦЬКИЙ , В.П. ТКАЧУК
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЛИТТЯ ПО ВИПАЛЮВАНІЙ ГАЗИФІКОВАНІЙ МОДЕЛІ 34

О.В. ЧАБАН, Б.Ф. ПІПА
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРИСТРОЮ ЗНИЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ ПРИВОДА РУКАВИЧНОГО АВТОМАТУ 40

В.В. СТРЕЛЬБИЦКИЙ
ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОЧЕЙ СРЕДЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВИБРОУДАРНОЙ ОБРАБОТКЕ 44

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

T.I. KULIK, B.M. ZLOTENKO
STRESS AND DEFORMATION IN ROD AND TUBE POLYMERIC SHOE PARTS AT TORSION AND BENDING 47

А.В. СУХОВІЙ, Д.Г. КРУГЛИЙ
ВПЛИВ ВИДІВ ОБРОБКИ НА ВИХІД ТА РОЗПОДІЛ ВОЛОКОН ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО ЗА ДОВЖИНОЮ 51

О.В. ПАХОЛЮК, О.І. ПЕРЕДРІЙ
ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЛЛЯНИХ ВОЛОКОН У ВИГОТОВЛЕННІ МЕДИЧНОГО ТЕКСТИЛЮ 56

Г.В. МЕЛЬНИК
МАТЕМАТИЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЕКТУВАННЯ ФОРМИ ПРУЖНОЇ СИСТЕМИ ЗАПРАВКИ ТРИКОТАЖНИХ МАШИН 60

Т.А. ДЗИКОВИЧ, І.С. МИНТУС
РОЗРОБКА ТРИКОТАЖНИХ ВИРОБІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ 64

О.А. ЛАБЕНКО, Н.В. ОСТАПЕНКО, М.В. КОЛОСНІЧЕНКО, А.Ю. АНТОНЮЖЕНКО
ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННЯ СЦЕНІЧНОГО АНСАМБЛЮ З ВИКОРИСТАННЯМ БІСЕРУ 68

Т.В. ЛУЦКЕР, Н.В. ОСТАПЕНКО, Л.І. ЗУБКОВА, Л.А. ЧУК, Л.В. НАВОЛЬСЬКА
ОСОБЛИВОСТІ ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННЯ І ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕКСТИЛЬНИХ ЛЯЛЬОК 73

О.В. НАХАЙЧУК, Е.А. ЗАХАРОВА, А.А. МІЗРАХ
ВИКОРИСТАННЯ СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ
АНТРОПОМЕТРИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ 79

В.Ю. ЩЕРБАНЬ, Н.І. МУРЗА, А.М. КИРИЧЕНКО, М.І. ШОЛУДЬКО
ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ КОМПЕНСАТОРІВ НАТЯГУ НИТКИ ТРИКОТАЖНИХ МАШИН 83

Г.М. СОКОЛ, А.Я. ГАНЗЮК, О.П. ШЕЛЕСТЮК, О.М. МІЩУК
ОЧИЩЕННЯ НАФТОПРОДУКТІВ ТА ВИЛУЧЕННЯ ЇХ СЛІДОВИХ КІЛЬКОСТЕЙ
З ПОЖЕЖНОГО СМІТТЯ ЗА ДОПОМОГОЮ СОРБЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ
ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ХРОМАТОГРАФІЧНИМ МЕТОДОМ 87

Б.В. БОЛІБРУХ
ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНОГО ЧАСУ РОБОТИ ПОЖЕЖНИКА В ТЕПЛОЗАХИСНОМУ
ОДЯЗІ НА ОСНОВІ ТРИВИМІРНОЇ МОДЕЛІ 95

Н.І. УПІРОВА, Г.В. КРАВЧУК, Т.В. ХИЛЬКЕВИЧ, Т.Ф. ХАРЧЕНКО
НОРМУВАННЯ РІВНЯ ВМІСТУ ФОРМАЛЬДЕГІДУ У ПРОДУКЦІЇ
ТЕКСТИЛЬНОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В УКРАЇНІ І СВІТІ 105

О.М. ТРОЯН, О.М. ЛУЩЕВСЬКА, О.Й. ЯНЦАЛОВСЬКИЙ, Л.В. КРАСНЮК
РОЗРОБЛЕННЯ ЧОЛОВІЧОЇ БІЛИЗНИ ЛІКУВАЛЬНО-ПРОФІЛАКТИЧНОГО
ПРИЗНАЧЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ 110

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

А.П. САМІЛА, Л.Ф. ПОЛІТАНСЬКИЙ
ГЕНЕРАЦІЯ ГАРМОНІЧНОГО КОЛИВАННЯ ДЛЯ СИНТЕЗУ ЦИФРОВИХ
СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ ВБУДОВАНИХ АПАРАТНИХ СИСТЕМ 116

С.І. АЛТУНІН
АНАЛІЗ СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОГРАМНО РЕАЛІЗОВАНОГО ПРИСТРОЮ ФАПЧ 121

М.М. КАСЯНЧУК, І.З. ЯКИМЕНКО, Л.О. ДУБЧАК, Н.А. РЕНДЗЕНЯК, Н.М. МАНДЕБУРА
МОДИФІКОВАНИЙ МЕТОД ШИФРУВАННЯ РАБІНА З ВИКОРИСТАННЯМ
РІЗНИХ ФОРМ СИСТЕМИ ЗАЛИШКОВИХ КЛАСІВ 127

Т.К. СКРИПНИК, Е.А. МАНЗЮК, С.С. МОСКАЛЮК
ЕФЕКТИВНИЙ ІНТЕРФЕЙС КОРИСТУВАЧА 132

Б.Р. ТРЕМБАЧ, Р.В. КОЧАН, Р.Б. ТРЕМБАЧ
МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЕКТУВАННЯ СТРУКТУРНИХ ПРОГРАМНО-
АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ ЗАДАЧІ РОЗПІЗНАВАННЯ ПРОСТОРОВИХ
ПАРАМЕТРІВ ДЖЕРЕЛ АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ 136

О.А. МЯСІЩЕВ, О.О. МАРТИНЮК, Н.М. ГІНЕВСЬКА
МЕТОД ЗАХИЩЕНОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ НА ЕТАПАХ
ПРОЕКТУВАННЯ І ЕКСПЛУАТАЦІЇ 140

О.С. САВЕНКО
ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ
МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ВІРУСНИХ КОДІВ В ГЕТЕРОГЕННИХ МЕРЕЖАХ 144

Т.К. СКРИПНИК, С.С. ПЕТРОВСЬКИЙ, В.І. ДЕМЕШКО
ВИКОРИСТАННЯ БІЗНЕС-СИМУЛЯЦІЙ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ ДІЛОВИХ ІГОР У НАВЧАННІ 149

М.С. МЕДВЕДЧУК, О.А. ПАСІЧНИК, Т.К. СКРИПНИК
ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА ХМАРНИХ СЕРВІСІВ У ПРОВАДЖЕННІ
БДЖІЛЬНИЦЬКОГО ГОСПОДАРСТВА 156

В.Ю. КОРОЛЬОВ, В.В. ПОЛІНОВСЬКИЙ, М.І. ОГУРЦОВ
МОДЕЛЮВАННЯ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ РУХОМИХ ДИСТАНЦІЙНО КЕРОВАНИХ СИСТЕМ НА БАЗІ HLA 160

А.В. РУДИК
ВИБОРУ ЧАСТОТИ ДИСКРЕТИЗАЦІЇ СИГНАЛІВ ДАВАЧІВ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ТА ВИКОНАВЧИХ ПРИСТРОЇВ МОБІЛЬНИХ РОБОТОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ 166

О.А. ПАСІЧНИК
МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ, РЕАЛІЗОВАНОЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ 174

С.Б. ВОЛОЧІЙ, В.А. ОНИЩЕНКО
СИНТЕЗ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ СКЛАДОВИХ КОМПЛЕКСУ ОХОРОННОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ НА ОСНОВІ СЕЙСМІЧНИХ ДАТЧИКІВ 178

С.І. МЕЛЬНИЧУК, І.М. ЛАЗАРОВИЧ
ЗАСТОСУВАННЯ ОЦІНОК ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕНТРОПІЇ ПІД ЧАС ОПРАЦЮВАННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ АКУСТИЧНИХ РЕАЛІЗАЦІЙ ДІАГНОСТИЧНИХ СИГНАЛІВ 186

Й.Й. БІЛИНСЬКИЙ, М.В. ГЛАДИШЕВСЬКИЙ, В.Б. БУРДЕЙНИЙ
МОДЕЛЮВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЗАСОБУ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ВИТРАТИ ПЛИННИХ СЕРЕДОВИЩ 191

О.М. ПЛОТНІКОВ, В.І. МИКИТЕНКО
МЕТОД КОМПЛЕКСУВАННЯ ДАНИХ З ПОПЕРЕДНІМ ЗНАХОДЖЕННЯМ ІНФОРМАТИВНОЇ ОБЛАСТІ СЦЕНИ 196

М.В. БАЧИНСЬКИЙ, К.С. НАВРОЦЬКА, С.М. ГОРБАТЮК
ПРИНЦИПИ СТИМУЛЯЦІЇ І РЕАБІЛІТАЦІЇ ЗОРОВОГО АНАЛІЗАТОРА ОПЕРАТОРА 202

L.A. TARANDUSHKA, N.L. KOSTIAN
AUTOMATION OF CALCULATING THE COST OF TRANSPORT SERVICES USING THE THEORY OF DECISION TREES 207

С.Д. ГАЛЮК, О.В. КРУЛІКОВСЬКИЙ, Л.Ф. ПОЛІТАНСЬКИЙ
ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДВОМІРНИХ ВІДОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ПЕРЕСТАНОВОК ПІКСЕЛІВ 214

Ю.П. ЗАСПА
КОНТАКТНЕ ДИНАМО ЯК ГЕНЕРАТОР КОГЕРЕНТНИХ КОСМІЧНИХ ФОРМ РУХУ ТА ДЖЕРЕЛО ПЛАНЕТАРНОЇ, СОНЯЧНОЇ, ГАЛАКТИЧНОЇ І МЕТАГАЛАКТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА МАГНЕТИЗМУ. ЧАСТИНА VI 221

В.М. ДАНКО, С.В. СМУТКО, О.С. ПОЛІЩУК
РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТРЕКЕРНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ 232

О.Н. РОМАНЮК, О.О. ДУДНИК
ОСОБЛИВОСТІ АНІЗОТРОПНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ТЕКСТУР ПРИ ВИКОРИСТАННІ ТЕХНОЛОГІЇ PARALLAX MAPPING 236

Н.А. ОДЕГОВ
FINITE TIME-FREQUENCY (FTF) – СИГНАЛЫ. ПРИЗРАК ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ? 241

О.М. СИНЮК
МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗАПОВНЕННЯ РОЗПЛАВОМ ПОЛІМЕРУ ПОРОЖНИНИ ПРЕС-ФОРМИ З АРМУЮЧИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ 251

МАШИНОЗНАВСТВО ТА ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ В МАШИНОБУДУВАННІ

УДК 669.1:537.5

І.М. ПАСТУХ, Г.М. СОКОЛОВА, В.В. ЛЮХОВЕЦЬ
Хмельницький національний університет

ОБҐРУНТУВАННЯ АЗОТУВАННЯ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ З ЖИВЛЕННЯМ ЗМІННИМ СТРУМОМ

Проаналізовані особливості технологічного процесу і устаткування для азотування в тліючому розряді з живленням катода і анода постійним або циклічно комутованим струмом. Викладені особливості живлення екрана та деталі струмом промислової частоти з безпосереднім підводом напруги до деталі та екрана камери. Наведені аргументи щодо прийнятності та можливості живлення камери струмом промислової частоти, а також ймовірна можливість модифікованого процесу в порівнянні з традиційним. Порівняні конструктивні особливості установок різного типу з аналізом переваг та недоліків кожної схеми. Сформульовані висновки стосовно перспективності впровадження процесу.

Ключові слова: азотування, тліючий розряд,живлення, змінний струм.

I.M. PASTUKH, G.M. SOKOLOVA, V. V. LUHOVEC
Khmelnytsky National University

RATIONALE NITRIDING IN A GLOW DISCHARGE WITH AC POWER

Peculiarities of the process and the equipment for nitriding in a glow discharge powered cathode and anode permanent or cyclical switching current. The above features power and screen details the current power frequency direct voltage leads to the components and the camera screen. These arguments on the admissibility and the possibility of supply camera power frequency current and the likely possibility of a modified process compared to traditional. Compared design features plants of various types of analysis of the advantages and disadvantages of each scheme. The conclusions regarding the prospects of the implementation process.

Keywords: nitriding, glow discharge, power supply, AC.

Вступ

З часу винайдення та початку промислового використання технологія азотування в тліючому розряді пройшло вже близько 70-ти років, проте дослідження теоретичних основ, вдосконалення технології та конструкції устаткування практично не переривалось весь цей період [1]. Запропоноване та промислово застосовується безводневе азотування, що призвело до виключення з газових середовищ аміаку і, таким чином, до принципового покращення умов роботи, екологічної чистоти процесу, а також до одержання більш широкої гами фазових структур модифікованого шару [2]. В свою чергу, це забезпечує кращу структуру поверхні, а головне – розширює спектр експлуатаційних показників, які становлять оптимум процесу та його результатів.

Значна частина досліджень присвячена методам забезпечення розряду при принципово різних апаратних реалізаціях [3]. Окрім азотування з постійним живленням від джерела постійного струму використовуються установки з додатковим підігрівом від спеціальних екранів чи терморадіаційних підігрівачів, що дозволяє зменшити зв'язок між електричними параметрами технологічного режиму і режимними факторами, в першу чергу – температурою, оскільки енергетичним фактором забезпечення її є не тільки тліючий розряд. Розробка нових теоретичних підходів базується, насамперед, на базових положеннях фізики газового розряду [4].

Технологічний процес в принципі став багатостадійним, при якому він складається з макро- або мікрофаз, що теж суттєво впливає на результати та продуктивність процесу обробки.

Принципово інші результати азотування досягнуті за рахунок впровадження циклічно-комутованого розряду, в якому порівняно з періодом часу, достатнім для гасіння переходу тліючого розряду в дуговий, переривається подача живлення на електроди камери. Окрім спрощення систем управління в установках з циклічно-комутованим живленням менш складними стають питання позиціонування деталей в камері, оскільки при цьому вже не грають такої ролі, як при живленні постійним у часі струмом, наявність зазорів між деталями та оснащенням для їх закріплення. Але, враховуючи той факт, що живлення електродів камери проходить не весь час, а в значно менший (наприклад при живленні із шпаруватістю, рівній двійці процес азотування проходить тільки в половині часу), продуктивність обробки зменшується приблизно в тій же мірі. Певну проблему становлять викиди напруги та струму на початку та в кінці циклу живлення, які можуть провокувати локальне пошкодження оброблюваної поверхні. Нарешті останній аргумент на користь подальших пошуків та вдосконалення як процесу, так і устаткування, є складність систем управління для всіх перерахованих вище варіантів технології.

Постановка задачі

Метою цієї роботи є аналіз можливості та умов для спрощення конструкції установок для азотування в тліючому розряді, а також обговорення принципових питань можливості застосування в якості

живлення електродів розрядної камери змінним струмом промислової частоти (СПЧ). При цьому передбачається аналіз зміни впливу на результати азотування енергетики процесу, та її характеристик, встановити шляхи зміни конструкції блоків живлення.

Виклад основного матеріалу

Структура та функціональне призначення окремих складових (на прикладі трикамерної установки показані на рис. 1. В тій частині конструкції установки, яка стосується її живлення, в загальному вигляді при умові живлення процесу постійним струмом, в блок живлення повинні в обов'язковому порядку входити складові з функціональним призначенням: регулятор напруги (задається напруга на вході в систему живлення); підвищуючий трансформатор (під впливом керуючого сигналу від регулятора напруги змінює напругу аж до значень, порядку 1200 В – при закінченні фази очистки поверхні катодним бомбардуванням; випрямляч, що перетворює змінний струм в умовно постійний (умовно постійний пов'язано з тим, що після випрямляча форма вихідної напруги включає пульсації більшої чи меншої величини в порівнянні з номінальною напругою, окрім того сам принцип дії регуляторів напруги здебільшого – тиристорного типу передбачає вже на вході в трансформатор відсічку частини синусоїди; баластний реостат для перерозподілу електричного струму на вході в камеру. Управління блоком живлення проводиться від системи управління за допомогою ручного задавача і аж до автоматичного принципу підтримки напруги на певному значенні.

При циклічно-комутованому живленні (напруга подається з певним проміжком часу), як зазначалось вище, мають місце значні викиди напруги на початку та в кінці імпульсу (аж до значень, які можуть викликати місцеве пошкодження поверхні), крім того (можливо найбільш вагомий аргумент) система управляння розрядом значно ускладнюється за рахунок обов'язкового включення генераторів керуючих імпульсів, які працюють на частоті порядку 1–5 кГц. Як відзначалось вище, при циклічно-комутованому розряді суттєво знижується продуктивність процесу модифікації.

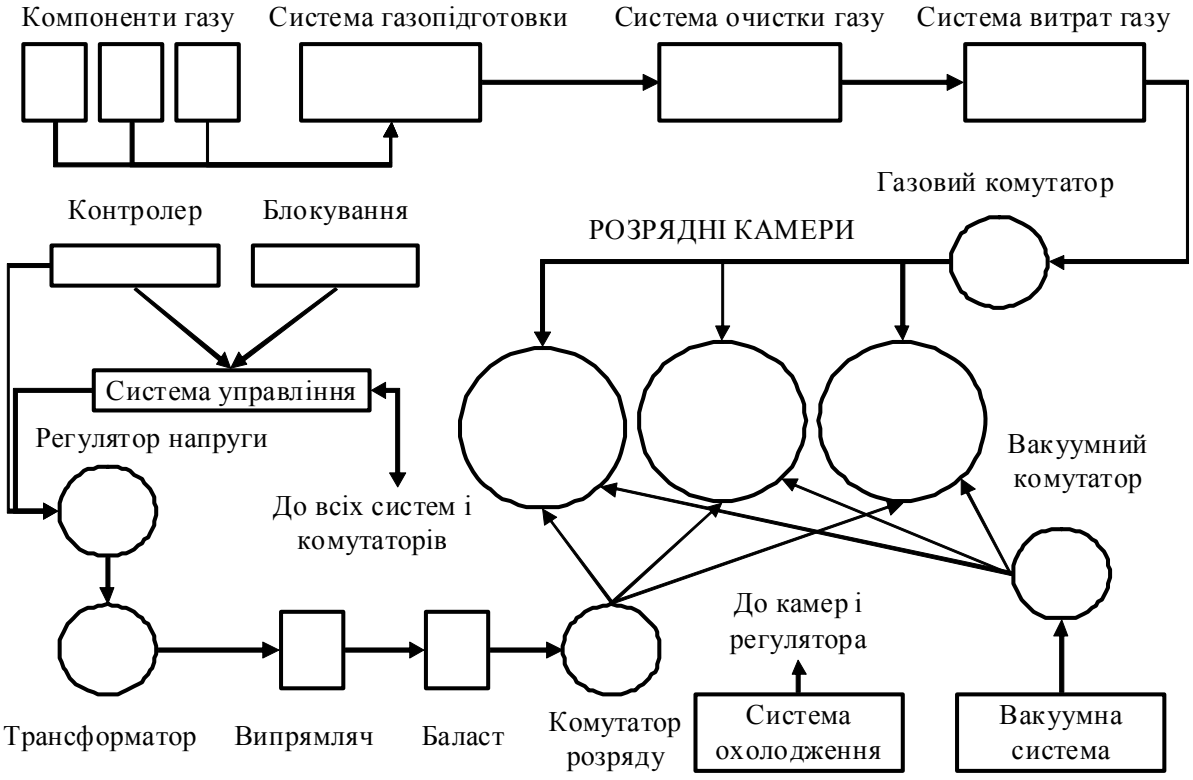


Рис. 1. Структурна блок-схема трикамерної установки

Описана вище структура живлення установок для азотування в тліючому розряді найбільш придатна для монофазових процесів, коли весь технологічний процес проходить при незмінних технологічних параметрах. Проте при цьому слід мати на увазі, що головне завдання блоку живлення не самоціль підтримки певних електричних характеристик розряду, а забезпечення стабільної температури на поверхні оброблюваних деталей, як параметра, котрий першочергово впливає на формування заданого фазово-структурного складу поверхні об'єктів модифікації, а через нього - на експлуатаційні властивості.

В принциповому плані перспективи практичного застосування азотування в тліючому розряді з живленням змінним струмом промислової частоти (АТР ПЧ) визначаються якраз з врахуванням цієї обставини як визначальної, оскільки при змінній амплітуді струму відповідно в той період, коли на електроди камери подається від'ємна напруга, вже нагрівається не катод, яким служить садка, а анод чи складова частина установки, яка виконує роль анода (при наявності ізоляції подібного анода від камери). Очевидно, що при такому конструктивному рішенні необхідно забезпечити надійну ізоляцію анода від

корпуса, оскільки у випадку порушення її виникне реальна загроза враження електричним струмом.

Оскільки у випадку застосування АТР ПЧ живлення електродів відбувається однофазним струмом, то конструкція трансформатора суттєво спрощуються, а вартість зменшується мінімум в три рази. Аналогічно логічним було б виготовити та застосувати однофазний регулятор напруги, що в сукупності з однофазним трансформатором неминуче позитивно вплине на вартість всієї установки. При цьому, природно, зменшаться амортизаційні витрати, що теж позитивно вплине на собівартість. Певний вклад в зниження вартості установок вносить відсутність випрямляча та баластного реостата.

З цього аналізу постає як питання першої вагомості – чи достатньо тепла, яке садка отримує від тліючого розряду, для забезпечення температури відповідно до технологічного режиму. В разі неможливості виконання цієї задачі становище не безвихідне, оскільки можна застосувати додаткові нагрівачі – конструктивна схема, яка давно и успішно застосовується насамперед з метою забезпечення незалежності енергетики процесу від енергетичних параметрів розряду. Таким чином можливе застосування технологічних режимів з підвищеною напругою розряду або силою струму, які б дозволили сформувати необхідну за умовами наступної експлуатації фазову структуру поверхневого модифікованого шару.

З цього аналізу випливає вивчення при різних умовах теплового балансу як першочергова задача експериментальних досліджень. Експерименти повинні проводитись в широкому діапазоні умов застосування процесу.

Наступним питанням постановочного характеру є вивчення електричних характеристик процесу. Це питання пов’язане насамперед із необхідністю встановлення напруги запалювання розряду та стійкого горіння його в режимі аномального. Бажано при цьому встановити аналітичні залежності від параметрів технологічного режиму, що в подальшому дозволить проектувати процес з врахуванням його енергетичних передумов. Таким чином будуть встановлені межі енергетичних характеристик, необхідних для реалізації процесу.

Ще одне питання, чи не найважливіше і найвагоміше, процес формування заданої структури при АТР ПЧ. Справа насамперед в тому, що процес азотування є практично завжди комбінацією окремих субпроцесів: утворення нітридів, розпорошення поверхні та дифузії часток поверхні, серед яких превалює азот в глибину поверхневого шару. При звичайному азотуванні (незмінні умови – постійна енергетика) між окремими суброцесами встановлюється рівновага, як правило на користь утворення нітридів та дифузії. Процес в умовах цієї рівноваги проходить стаціонарно і з різною інтенсивністю, яка залежить не тільки від енергетичних умов, але й навіть від матеріалу деталей, які азотуються. Відомо, що хромисті сталі можливо азотувати тільки в газових середовищах, де превалює нейтральний компонент. Це пов’язано з тим, що хром відносить до азотоактивних матеріалів. Вже в початковий період азотування на поверхні утворюється моношар азоту, який в подальшому виконує роль перешкоди для проникнення азоту в глибину поверхні, азотування практично не проходить, товщина шару нітридів дуже незначна. Враховуючи значну відносну тривалість півперіоду (0,02 с), коли на електроди камери подається від’ємна напруга, цілком доречним буде сподіватись на те, що під дією потоку електронів, які тепер вилітають з поверхні деталі, котра модифікується моношар нітридів в певній мірі буде руйнуватись, що в наступний півперіод, коли потік направлено на катод сприятиме інтенсифікації як нітридоутворення, так і дифузії азоту в глибину поверхневого шару.

Висновки

В принципову плані азотування в тліючому розряді з живленням струмом промислової частоти можливе. При цьому суттєво спрощується та здешевлюється установка для реалізації процесу. Останній фактор сприятиме окрім інших аспектів більш широкому впровадженню технології, оскільки купівля установок по сьогоднішнім цінам для більшості підприємств проблематична.

Необхідно провести широкі експериментальні дослідження, направлені в першу чергу на вивчення питань теплового балансу установок, можливості нагріву садки при різних умовах до температури, заданої технологічним режимом. Наступні питання як предмет експериментів стосуються електричних характеристик розряду.

Література

1. Ионная химико-термическая обработка сплавов / [Б. Н. Арзамасов, А. Г. Братухин, Ю. С. Елисеев, Т. А. Панайоти]. – М. : Изд-во МГТУ им Н. Э. Баумана, 1999. – 400 с.

2. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде / И. М. Пастух. – Х. : Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт», 2006. – 364 с.

3. Пастух І. М. Особливості азотування в тліючому розряді з нестаціонарним живленням отворів з відносно малим діаметром / І. М. Пастух, В. В. Люховець, В. С. Курской // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2013. – №3. – С. 195–199.

4. Райзер Ю. П. Физика газового разряда / Райзер Ю. П. – М. : Наука, 1987. – 592 с.

Рецензія/Peer review : 20.11.2016 р. Надрукована/Printed :7.2.2017 р.
Стаття представлена: д.т.н., проф.

УДК 621.01

В.О. ХАРЖЕВСЬКИЙ
Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАКОНІВ РУХУ ВИХІДНОЇ ЛАНКИ МЕХАНІЗМІВ, ПОБУДОВАНИХ НА ОСНОВІ МЕХАНІЗМУ ЧЕБИШЕВА З НАБЛИЖЕННЯМ ВЕРХНЬОЇ ДІЛЯНКИ ШАТУННОЇ КРИВОЇ

Розглядається питання кінематичного синтезу важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки, що побудовані на основі шарнірного механізму Чебишева, у якого для наближення до дуги кола використовується верхня ділянка шатунної кривої. Проведено дослідження законів руху, що забезпечує вихідна ланка таких механізмів та встановлено, що в багатьох випадках фактичні величини тривалості зупинки вихідної ланки є більшими порівняно з теоретичними величинами за умовами найкращого наближення за Чебишевим. Визначено фактичні значення тривалостей зупинок та побудовано відповідні діаграми, що дозволяють проводити кінематичний синтез таких механізмів.

Ключові слова: кінематичний синтез, механізми Чебишева, кругові напрямні механізми, зупинка вихідної ланки, найкраще наближення за Чебишевим.

V.O. KHARZHEVSKYI
Khmelnytskyi National University

THE RESEARCH OF MOTION LAWS OF THE OUTPUT LINK OF THE MECHANISMS WHICH ARE BASED ON CHEBYSHEV'S LINKAGE MECHANISM WITH APPROXIMATION OF THE COUPLER CURVE'S UPPER PART

The kinematic synthesis of dwell linkage mechanisms on the basis on Chebyshev's linkage with approximation of the coupler curve's upper part to the arc of the circle is considered in the article. The research of the motions laws of the output link of such mechanisms was carried out and it is established that in many cases actual dwell durations of the output link are larger than theoretical ones that was defined using the conditions of the Chebyshev's best approximation. The values of the dwell of the output link were refined, appropriate diagrams are given in the article. The received results allow carrying out kinematic synthesis of such mechanisms.

Keywords: kinematic synthesis, Chebyshev's linkages, circular path generating linkages, dwell of the output link, Chebyshev's best approximation.

В багатьох галузях промисловості широко використовуються циклові технологічні машини-автомати, виконавчі органи яких здійснюють зворотно-поступальний або зворотно-обертовий рух та забезпечують одну або декілька періодичних зупинок вихідної ланки. Для цього можуть використовуватись різні типи механізмів, зокрема кулачкові, важільні, кулачково-важільні, мальтійські та ін. Не дивлячись на те, що кулачкові механізми є універсальними за своїми кінематичними характеристиками та при цьому мають досить прості розроблені методи синтезу, проте порівняно мала зносостійкість кулачків внаслідок наявності вищої кінематичної пари, схильність до розмикання цієї пари в механізмах з великими навантаженнями та частотами обертання, в багатьох випадках робить недоцільним використання таких механізмів на практиці. Тому в сучасних машинах є цілий ряд прикладів використання для цього саме важільних механізмів, які не мають цих недоліків. Як відомо, важільні механізми із зупинкою вихідної ланки можна проектувати на основі базових кругових та прямолінійно-напрямних механізмів, які крім того мають самостійне використання у сучасних машинах. Однак методика синтезу таких механізмів є досить складною та потребує в багатьох випадках використання сучасних аналітично-числових методів .

Відомо [1, 2], що існує два основних напрямки синтезу таких механізмів: методи найкращого наближення функцій за Чебишевим та методи кінематичної геометрії, що започатковані Бурместером та продовжені в роботах Ліхтенхельдта [5], Бейера, Черкудінова [1] та багатьох інших вчених. Алгебраїчні методи Чебишева отримали подальший розвиток в роботах Блоха, Саркісяна, Кіницького [2], Гассманна [15]. Зокрема, в монографії Кіницького [2] розкрито області існування симетричних лямбдоподібних механізмів Чебишева, наведено методику їх синтезу за різними критеріями та результати проведеного кінематичного та кінетостатичного аналізу. В роботі Гассманна [15] розроблено числовий метод синтезу механізмів, що забезпечують найкраще наближення за Чебишевим та мають несиметричну форму шатунної кривої. Використання методів кінематичної геометрії нескінченно близьких положень плоскої фігури для проведення синтезу таких механізмів передбачає пошук у шатунній площині механізмів певних особливих точок, використання яких забезпечує викреслювання шатунних кривих, що на деякій своїй ділянці мають наближення до дуги кола або прямої лінії. Такими особливими точками є, зокрема, точки Болла [8, 9, 11], Бурместера [10], точки розпрямлення 4-го [7] та 5-го порядку [13], а також точки Чебишева (Болла-Бурместера) [12].

В даній роботі розглянемо синтез важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки на основі лямбдоподібного механізму Чебишева, у якого для наближення до дуги кола використовується верхня ділянка шатунної кривої (рис. 1, *а*). Всі розміри ланок такого механізму є відносними, особливістю є те, що за модуль довжини прийнято довжину шатуна AB, при цьому виконується умова $l_{AB} = l_{BC} = l_{BD} = 1.$

Синтезу таких механізмів присвячені, зокрема, робота Свєтловського, Кіницького [6]. Розробці числового методу синтезу таких механізмів була присвячена також робота [4]. В роботі [14] нами було проведено

визначення фактичних тривалостей зупинок у механізмах Чебишева з наближенням нижньої ділянки шатунної кривої.

В результаті проведених досліджень встановлено, що фактична тривалість зупинки в механізмах з наближенням верхньої ділянки шатунної кривої в багатьох випадках також є значно більшою, ніж межі теоретичного наближення за Чебишевим. Тому метою даної роботи є дослідження законів руху таких механізмів та визначення фактичних величин тривалості зупинки з використанням методів числового аналізу.

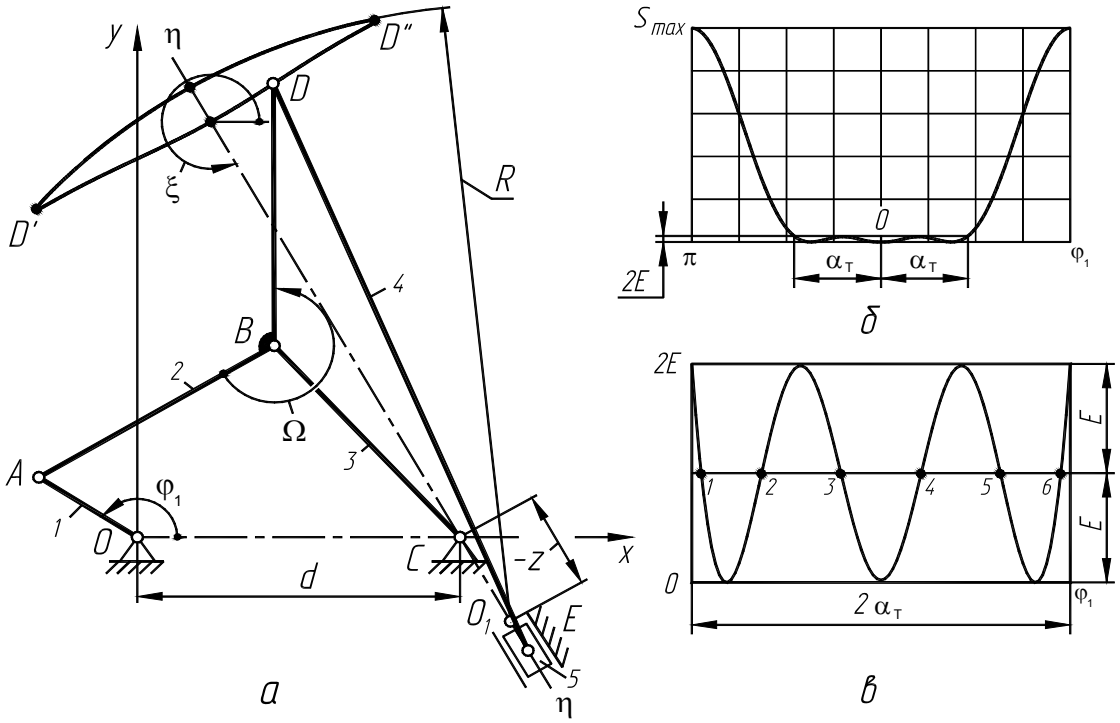


Рис. 1. Важільний механізм із зупинкою вихідної ланки на основі механізму Чебишева *OABCD*, що забезпечує наближення верхньої ділянки шатунної кривої до дуги кола (*а*); діаграма переміщень вихідної ланки (*б*); ділянка наближення за умовами найкращого наближення за Чебишевим (*в*)

Особливістю найкращого наближення за Чебишевим є те, що воно є рівномірним, з максимально можливою кількістю вузлів інтерполяції між шатунною кривою та дугою наближення (рис. 1, *в*). Для шарнірного чотириланкового механізму таке максимальне число вузлів інтерполяції дорівнює шести, оскільки шатунна крива такого механізму є алгебраїчного трициркулярною кривою шостого порядку, яка за теоремою Кемпе може мати з дугою кола не більше 12 спільних точок, з яких 6 – дійсні.

Механізм, зображений на рис. 1, *а* працює наступним чином: підчас неперервного обертового руху кривошипа *1*, шатунна точка *D* механізму описує шатунну криву, яка на ділянці $D'D''$ наближається до дуги кола радіусом *R*. Якщо прийняти довжину шатуна *BD* приєднаної групи *4-5* рівною довжині *R*, то вихідна ланка *5* механізму буде мати наближену зупинку підчас проходження шатунною точкою *D* інтервалу наближення $D'D''$. Приклад діаграми переміщень вихідної ланки механізму показаний на рис. 1, *б*. Тривалість зупинки вихідної ланки $2\alpha_T$ визначається як кут φ_1 повороту кривошипа *OA*, що відповідає періоду зупинки.

Аналіз лямбдоподібних механізмів Чебишева з наближенням верхньої ділянки шатунної кривої показав, що їх шатунні криві, в цілому, є досить однотипними, оскільки механізм є симетричним. Як показано в роботі [6], вони здатні забезпечувати зупинку вихідної ланки в досить широких межах $2\alpha_T = 20...160^\circ$. Проте, як показали проведені нами дослідження, такий діапазон тривалостей зупинок є лише теоретичним та не завжди відповідає фактичним значенням. На рис. 2, 3 показано приклади шатунних кривих механізмів Чебишева з наближенням верхньої ділянки шатунної кривої, а також відповідні діаграми переміщень вихідної ланки. Дослідження механізмів проводились з використанням методів аналізу [3]. Як видно, теоретичні значення тривалості зупинки $2\alpha_T$ збігаються з практичними 2α лише для великих значних зупинок (>100 град.) з більшими відхиленнями $2E$.

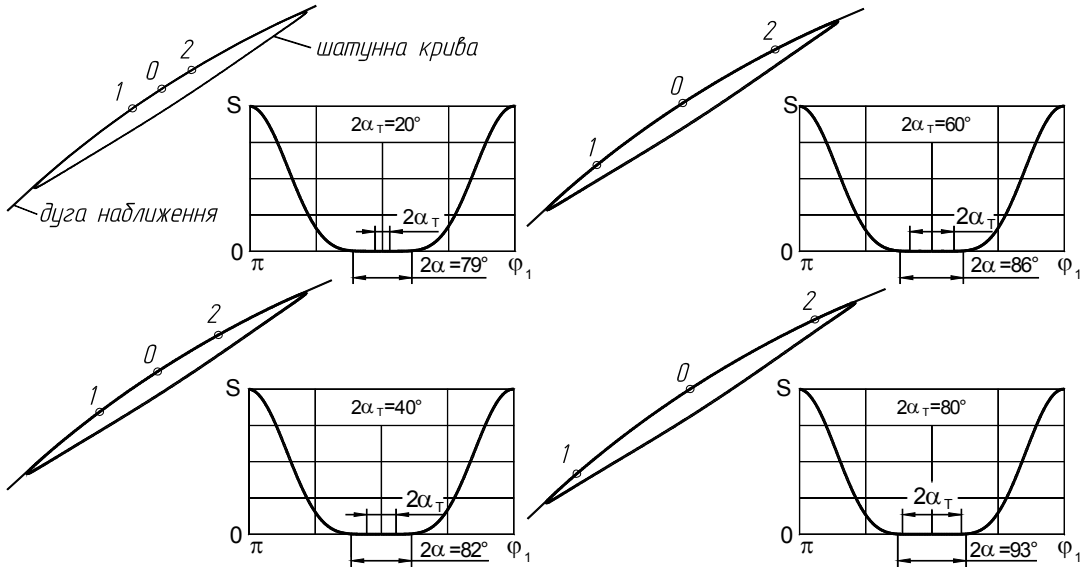


Рис. 2. Приклади шатунних кривих механізмів Чебишева (Ω=250°, *d*=1,25) з наближенням верхньої ділянки до дуги кола та відповідні діаграми переміщень вихідної ланки ($2\alpha_T$ =20...80°)

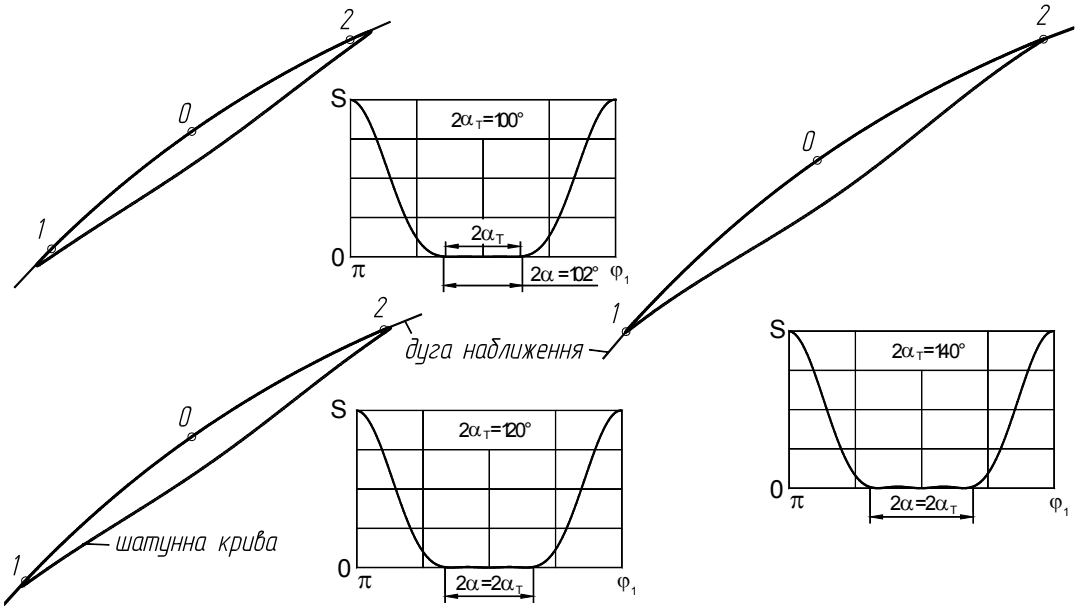


Рис. 3. Приклади шатунних кривих механізмів Чебишева (Ω=250°, *d*=1,25) з наближенням верхньої ділянки до дуги кола та відповідні діаграми переміщень вихідної ланки ($2\alpha_T$ =100...140°)

На рис. 2, 3 точкою *0* на шатунній кривій позначено положення шатунної точки при φ_1=0, а точками *1* та *2* – положення, що відповідають крайнім точкам інтервалу чебишевського наближення (відповідно точки D' та D'' на рис. 1, *а*). Оскільки, як видно з рис. 2, для багатьох механізмів дуга наближення майже ідеально збігається з шатунною кривою за межами теоретичного інтервалу *1-2*, виникає задача визначення фактичної тривалості зупинки вихідної ланки таких механізмів. Для цього доцільно застосувати чисельний метод з використанням безрозмірного коефіцієнта граничної швидкості вихідної ланки, що був розроблений нами в роботі [9] та був використаний для визначення фактичного інтервалу наближення у лямбдоподібних механізмах Чебишева з наближенням нижньої частини шатунної кривої [14]. Метод полягає у наступному [14]: за початкову точку при проведенні розрахунків приймаємо φ_1=0 (на відміну від механізмів з наближенням нижньої частини кривої, де приймалось φ_1=180°), далі розраховуємо діаграму інваріантів переміщень вихідної ланки, проводимо її диференціювання та визначаємо точки, що відповідають граничній швидкості, величина якої приймалась такою ж, як у роботах [7–14], а саме [*v*]=0,022. В результаті проведених розрахунків визначено фактичні тривалості зупинки вихідної ланки 2α, результати для механізмів з різними кутами злому шатуна Ω показані на рис. 4. Як видно, практично не існує механізмів з тривалістю зупинки $2\alpha_T < 80^\circ$, у яких фактична тривалість зупинки збігалась би з теоретичною, а наприклад для Ω=270° не існує механізмів з теоретичною тривалістю зупинки $2\alpha_T = 20^\circ$, у яких би фактична тривалість

була би меншою 80°, тобто фактично зупинка вихідної ланки всіх таких механізмів є більшою теоретичної не менш ніж у 4 рази.

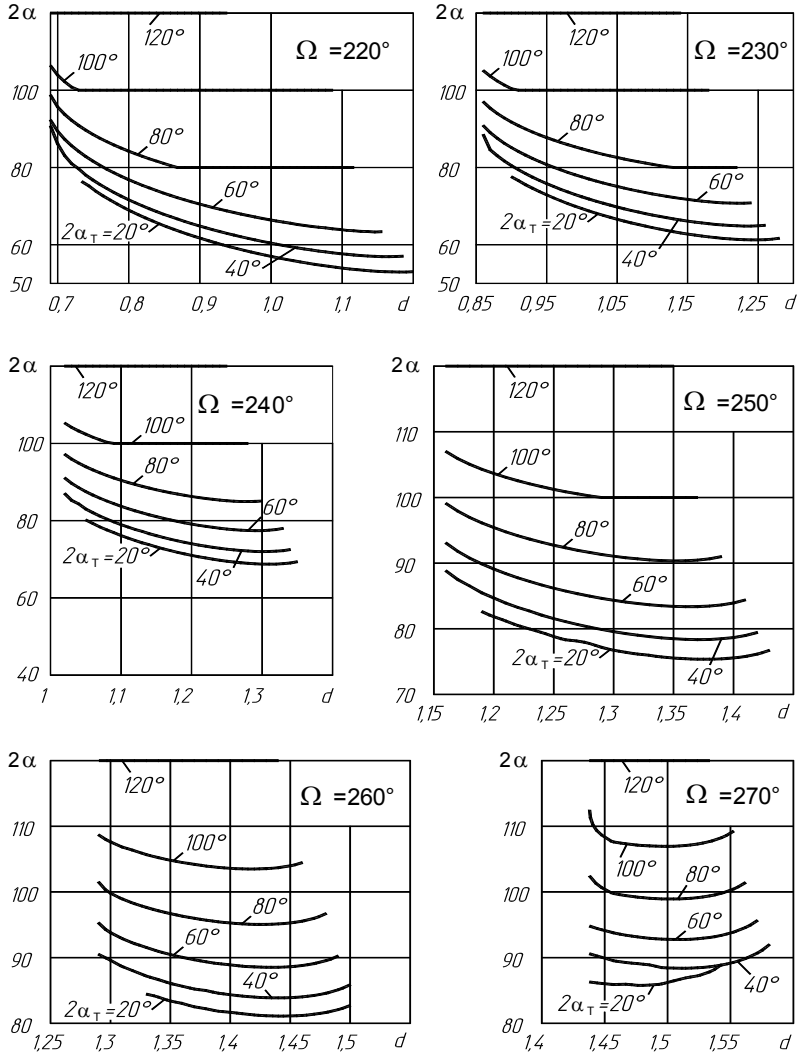


Рис. 4. Діаграми фактичної тривалості зупинки 2α вихідної ланки *5* у механізмах Чебишева, визначені числовим способом (для механізмів, що мають кут злому шатуна Ω=220°-270° та зупинку теоретичної тривалості $2\alpha_T$)

Очевидно, що максимальне відхилення 2*E* на ділянці найкращого наближення за Чебишевим є найменшим, однак проблема полягає в тому, що зупинка вихідної ланки продовжується за межами теоретичного інтервалу, але з іншою точністю. Приклади діаграм зміни точності наближення для механізмів з $\Omega=250^{o}$ показано на рис. 5.

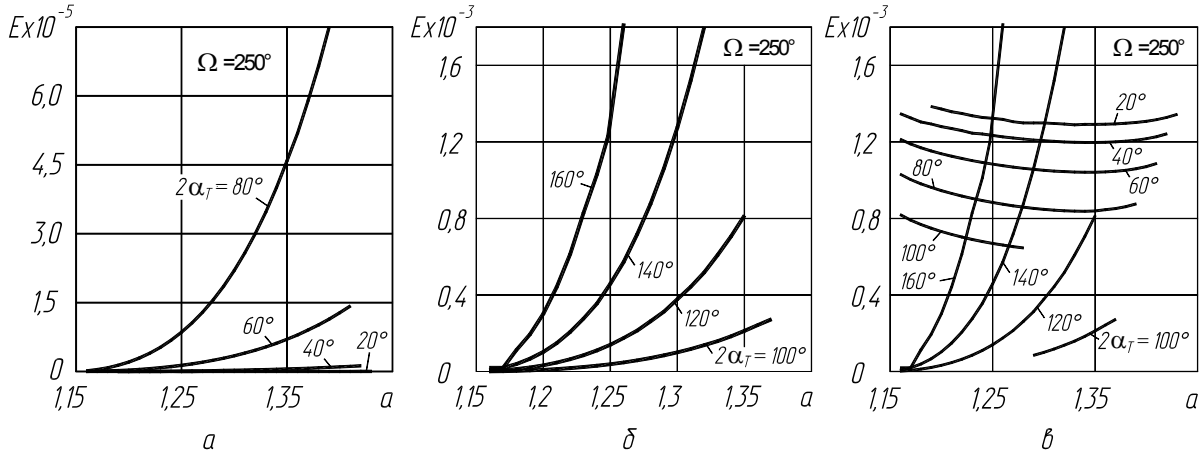


Рис. 5. Діаграми зміни точності наближення: *а*, *б* – теоретичні значення, відповідно до умов найкращого наближення за Чебишевим; *в* – фактичні значення, отримані числовим способом

Як зазначалось, синтез механізмів Чебишева з наближенням верхньої ділянки шатунної кривої проводився в роботах [4, 6]. Для того, щоби результати, наведені в даній роботі можна було використати практично, нами були побудовані довідкові діаграми, що дозволяють проводити визначення геометричних параметрів таких механізмів – для цього нами були використані методи, наведені у [4, 6]. Приклади отриманих довідкових діаграми показано на рис. 6.

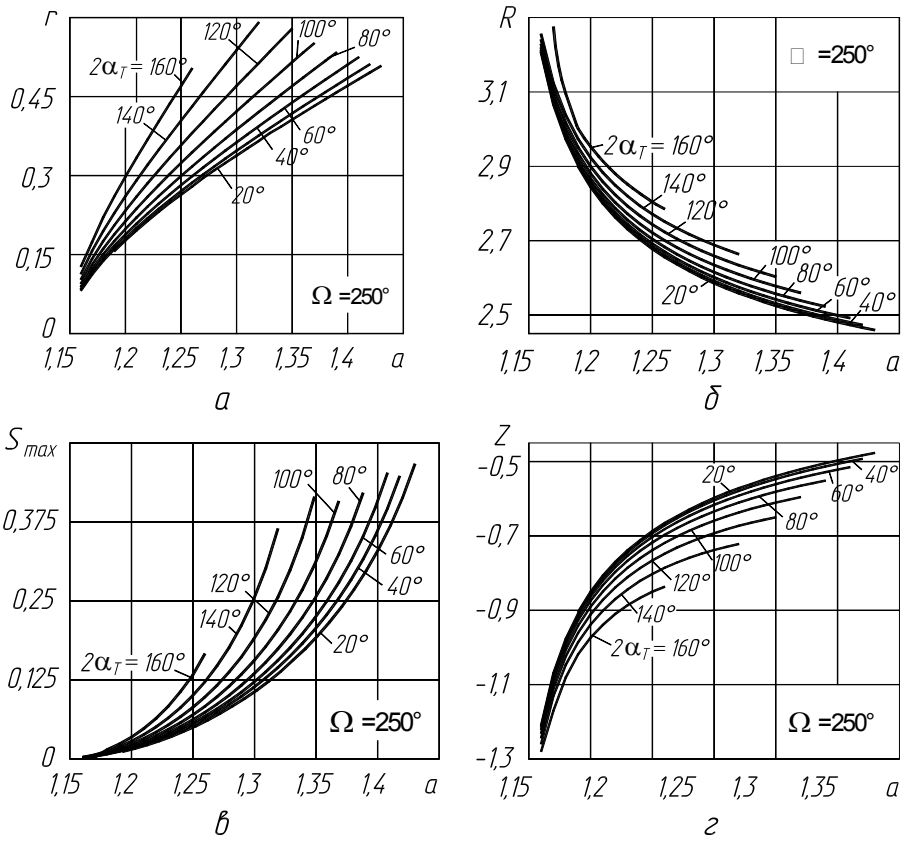


Рис. 6. Діаграми для визначення геометричних параметрів механізмів відповідно до величини теоретичного інтервалу наближення α_T: *а*) довжина кривошипа $r=l_{OA}$; *б*) радіус наближеного кола *R* (довжина шатуна *BD*); *в*) максимальний хід вихідної ланки S_{max}; *г*) відстань $Z=O_1C$, що визначає положення центру наближеного кола

Крім того, кут ξ нахилу напрямної повзуна *5* приєднаної структурної групи *4-5* можна визначити як $\xi = \pi + \Omega/2$, де Ω – кут злому шатуна *ABD* базового шарнірного чотириланкового механізму *OABCD*.

Таким чином, в роботі проведено дослідження законів руху вихідної ланки механізмів Чебишева з наближенням верхньої ділянки шатунної кривої, отримані в роботі результати дозволяють визначати фактичні величини інтервалів наближення та тривалості зупинок вихідної ланки механізмів, які в багатьох випадках відрізняються від теоретичних значень. Дослідження планується продовжити в напрямку оптимізаційного синтезу таких механізмів за різними критеріями.

Література

1. Артоболевский И. И. Синтез плоских механизмов / И. И. Артоболевский, Н. И Левитский., С. А. Черкудинов. – М. : Физматгиз, 1959. – 1084 с.

2. Киницкий Я.Т. Шарнирные механизмы Чебышева с выстоем выходного звена /Я. Т. Киницкий. – К. : Вища школа, 1990. – 232 с.

3. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин в системі Mathcad : навч. посібник / Я.Т. Кіницький, В.О. Харжевський, М.В. Марченко. – Хмельницький : РВЦ ХНУ, 2014. – 295 с.

4. Кіницький Я.Т. Геометричний синтез симетричних лямбдоподібних механізмів Чебишева чисельним методом / Я.Т. Кіницький, О.Б. Свєтловський, В.О. Харжевський // Вісник Технол. ун-ту Поділля. – 1999. –№ 6.– С. 160–162.

5. Лихтенхельдт В. Синтез механизмов / В. Лихтенхельдт. – М. : Наука, 1964. – 228 с.

6. Свєтловський О.Б. Геометричний синтез симетричних лямбдоподібних механізмів Чебишева за заданою тривалістю зупинки вихідної ланки чисельним методом / О.Б. Свєтловський, Я.Т. Кіницький // Вісник Технол. ун-ту Поділля. – 2001.– № 1. Ч. 1. – С. 20–24.

7. Харжевський В. О. Методика синтезу важільних прямолінійно-напрямних механізмів з дотиком 4-го порядку / В.О.Харжевський // Вісник Технологічного ун-ту Поділля. – 2003. – № 6, ч. 1, т. 2. – С. 152–

163.

8. Харжевський В. О. Синтез механізмів із зупинкою вихідної ланки на основі двокривошипного шарнірного чотириланкового механізму // Збірник наукових праць. – Хмельницький : НАДПСУ. – 2004. – № 28, ч. 1 (спец. випуск). – С. 123–125.

9. Харжевський В. О. Синтез важільних прямолінійно-напрямних механізмів та механізмів із зупинкою вихідної ланки на базі шарнірного чотириланкового механізму : дис … канд. техн. наук : 05.02.02 / Харжевський В'ячеслав Олександрович. – Хмельницький, 2004. – 262 с.

10. Харжевський В.О. Аналітично-числовий синтез кругових напрямних механізмів на базі шарнірного чотириланкового механізму з використанням точок Бурместера / В. О. Харжевський, Я. Т. Кіницький // Машинознавство. – 2005. – № 4. – С. 26–31.

11. Харжевський В.О. Синтез важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки методами кінематичної геометрії : монографія / В.О. Харжевський. – Хмельницький : РВЦ ХНУ, 2015. – 223 с.

12. Харжевський В.О. Методика визначення особливих точок Чебишева для синтезу важільних прямолінійно-напрямних механізмів / В.О. Харжевський // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015.– № 3 (225). – С. 34–41.

13. Харжевський В.О. Метод синтезу важільних прямолінійно-напрямних механізмів з використанням точок розпрямлення 5-го порядку / В.О. Харжевський // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 5(229). – С. 62–67.

14. Харжевський В.О. Визначення фактичної тривалості зупинки вихідної ланки у важільних механізмах, синтезованих за умовами найкращого наближення за Чебишевим / В.О. Харжевський, Я.Т. Кіницький // Вісник Хмельницького національного університету. – 2016. – № 6 (243). – С. 7–12.

15. Gassmann V. Synthese von Geradführungen mit ebenen Viergelenkgetrieben, Hamburg, Universität der Bundeswehr Diss., 2000. – 102 p.

Рецензія/Peer review : 5.1.2017 р. Надрукована/Printed :1.2.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Кіницький Я.Т.

УДК 621.01; 687.053.242

В.А. ГОРОБЕЦЬ, О.П. МАНОЙЛЕНКО, І.В. СИСЕНКО
Київський національний університет технологій та дизайну

ДО ПИТАННЯ СИНТЕЗУ БАГАТОЛАНКОВИХ МЕХАНІЗМІВ З МАСИВНОЮ ВЕДЕНОЮ ЛАНКОЮ

В роботі розглянута методика, яка враховує нові підходи до кінематичного синтезу багатоланкових важільних механізмів. Вперше запропоновано застосувати при синтезі багатоланкових важільних механізмів з масивною веденою ланкою закономірності, які в існуючих літературних джерелах вважались хибними. Виконаний для прикладу за цією методикою синтез 6-ланкового механізму голки швейної машини показує ефективність запропонованого підходу проектування, а також демонструє шляхи його практичного застосування. Дана методика може застосовуватись при синтезі багатоланкових важільних механізмів швидкісного обладнання, або механізмів з масивними веденими ланками.

Ключові слова: кінематичний синтез механізмів, проектування механізмів, швейна машина, вплив параметрів ланок на динаміку, важільний механізм.

V.A. GOROBETS, O.P. MANOILENKO, I.V. SYSENKO
Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

THE QUESTION OF SYNTHESIS MULTI- LINK MECHANISM WITH A MASSIVE SLAVE LINK

In this work the technique, which allows for new approaches to kinematic synthesis multilink lever mechanisms. The first time the use in the synthesis multilink lever mechanisms massive slave link patterns that are in the existing literature were considered false. Executed, for example by this method synthesis 6-lever mechanism needle sewing machine shows the effectiveness of the proposed design approach and demonstrates ways of practical application. This technique can be used in the synthesis multilink lever mechanisms for speed equipment, or equipment with massive slave units.

Keywords: kinematic synthesis of mechanisms, design mechanisms, sewing machine, parts on impact parameters dynamics, linkage.

Постановка задачі

Важливим фактором при синтезі важільних механізмів є друга передаточна функція, або аналог прискорення. Особливу вагу має його максимальне значення, наприклад, 1 грам маси голковода швидкісної швейної машини (n=6000 об/хв) може призвести до 6÷10 Н інерційних сил, в залежності від структури механізму голки та величини її ходу. Тому зменшення величини максимального прискорення веденої ланки, поряд зі зменшенням маси ланок є важливим критерієм кінематичного синтезу цих механізмів.

Аналіз досліджень та публікацій

В багатьох літературних джерелах [1–3] при кінематичному синтезі багатоланкових важільних механізмів враховуються в основному кінематичні та динамічні показники без урахування зміни якості їх функціональності. При цьому в роботах [1, 2], стверджується, що оптимальні значення максимального прискорення веденої ланки цих механізмів отримують в ході реалізації симетричного закону її руху. Для шестиланкового механізму (рис. 1 а) такий закон забезпечується рівністю кутів ψ_1 і ψ_2 розмаху верхнього коромисла BO_2C, а також рівністю в цих положеннях та середньому положенні кутів нахилу шатуна CD (α_1 і α_2) при симетричному розташуванні його відносно лінії руху повзуна D. Однак автори не згодні з таким твердженням, оскільки при цьому не врахований взаємовплив обох двоповодкових груп Ассура на значення даного критерію. Крім того при порівнянні варіантів отриманих значень параметрів механізму не враховуються вимоги до його функціональності. Усуненню цих недоліків і присвячена дана робота.

Виклад основного матеріалу

Максимальне значення аналога прискорення повзуна центрального кривошипно-повзунного механізму досягається в крайніх його положеннях.

$$\frac{d^2S}{d\varphi^2} = r\left(1 \pm \frac{r}{l}\right),$$

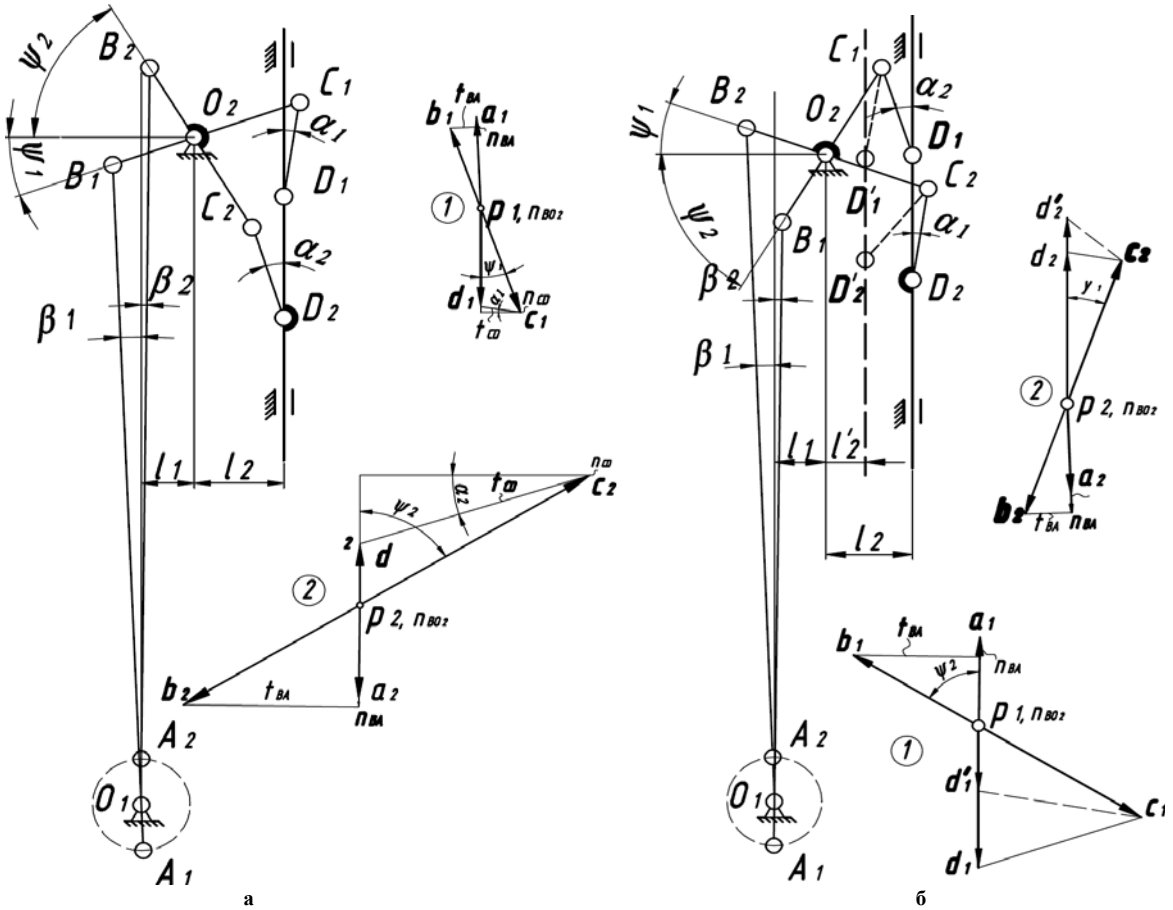
де r, l – відповідно довжини кривошипа та шатуна.

Цей додаток величиною $\lambda = r/l$ до гармонічної складової прискорення пальця кривошипа, що утворюється групою Ассура шатун-повзун, по-перше, нічим не може бути компенсований, по-друге, він утворює два максимуми різної величини, що впливає на шумові та вібраційні характеристики механізму.

При більш складних структурах механізмів ця залежність не така однозначна. Так, наприклад для шестиланкового механізму (рис. 1) наявність двох двоповодкових груп Ассура дозволяє за рахунок взаємного їх впливу зменшити величини цих максимумів, а також вирівняти їх значення.

Пояснення цієї тези можна дуже наглядно проілюструвати планами прискорень механізму для даних положень (рис. 1 б). Як видно при значенні параметрів l'_2, при якому реалізується асиметричний закон руху повзуна D, значення прискорень його в цих положеннях, які близькі до максимальних, по-перше, приблизно однакові, а по-друге, в обох випадках відбувається зменшення цього показника порівняно з прискоренням гармонічного закону. При цьому $\psi_1 \neq \psi_2$ та $\alpha_1 \neq \alpha_2$. І, навпаки, якщо просто поміняти значення

кутів ψ_1 та ψ_2 на зворотні (рис.1 б), то значення максимального прискорення повзуна D збільшується на 25–30%, а значення максимумів цього показника будуть суттєво відрізнятись.



а **б**

Рис. 1. Варіанти виконання шестиланкових плоских механізмів:
а) варіант 1, б) варіант 2

Тому наявність симетричного закону веденої ланки в багатоланкових механізмах не гарантує мінімального значення максимумів прискорення веденої ланки, враховуючи різноплановий вплив на цей показник кожної групи Ассура.

Для підтвердження цієї тези виконаємо оптимізаційний синтез шестиланкового механізму голки плоскошовної швейної машини (рис. 2), взявши за функцію мети мінімізацію максимального прискорення голковода.

При синтезі механізмів потрібно, в першу чергу, враховувати його функціональність. Тому при порівнянні отриманих варіантів механізму, необхідно привести їх до функціонально-адекватного виду.

Для механізму голки показниками функціональності служить задані величини ходу голки в матеріалі S_m та кут φ_t повороту головного вала протягом якого голка знаходиться над матеріалом [4].

Дані характеристики можна враховувати у вигляді обмежень при синтезі, математичні вирази яких мають вид:

$$\begin{cases} S(\varphi_1) = S(\varphi_2) = S(\varphi_m) \\ \varphi_2 - \varphi_1 = \varphi_t \end{cases}.$$

Оскільки закони руху голки кожного варіанта механізму асиметричні, то дані обмеження при синтезі можна врахувати методом ітерації.

Для прикладу розрахунку оберемо механізми типових швейних машин типу 876 кл. ПМЗ, 164 кл. ф. Rimoldi (рис. 2 а), які мають наступні значення геометричних параметрів [5, 6] (табл. 1):

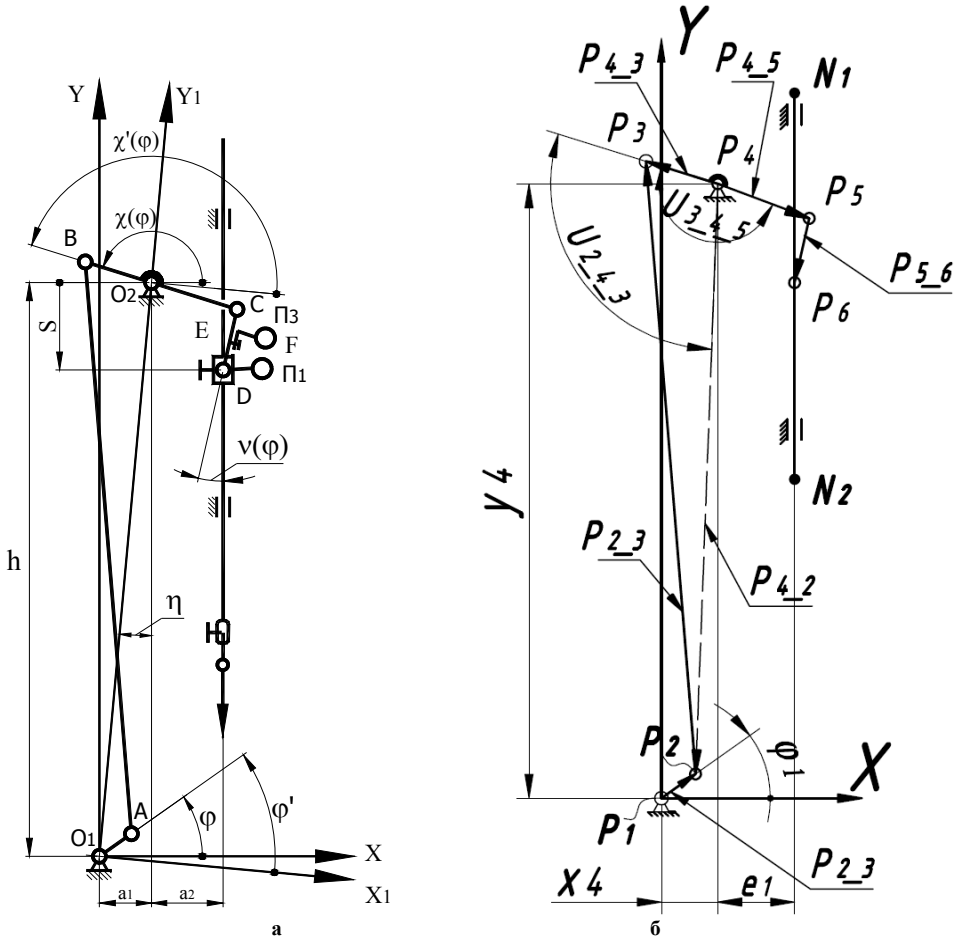


Рис. 2. Розрахункова схеми механізму голки швейної машини плоского ланцюгового стібка: а) кінематична, б) векторна

Таблиця 1

Значення параметрів механізму голки

Найменування параметрів	Одиниці виміру	Значення параметра	
		876 кл. ПМЗ	164 кл.ф. «Rimoldi»
l_{O1A}	мм	12	12,5
l_{AB}		175	180
l_{O2B}		21,3	28
l_{O2C}		27,5	29
l_{CD}		19	21
a_1		16	15,5
a_2		22	24
h		175	180
BO_2C	град.	180	180

Математична модель механізму голки описана методом векторного перетворення координат з початком у точці P_1 (рис. 2 б).

Початок координат виберемо в точці P_1. Визначаємо вектор-ланку кривошип P_{1_2}, використовуючи обчислювальний блок функції користувача *Turn*(V,V_0, α, r) в MathCAD для 3-D повороту вектора [3, 7] в загальному вигляді:

$$P_{roj}(V,V_0) := V \cdot Ort(V_0) \cdot Ort(V_0), \quad Norm(V,V_0) := V - P_{roj}(V,V_0),$$

$$Turn(V,V_0,\alpha,r) := \left(P_{roj}(V,V_0) + Norm(V,V_0)\cdot\cos(\alpha) + Ort(V_0)\times Norm(V,V_0)\cdot\sin(\alpha)\right)\cdot\frac{r}{|V|}, \tag{1}$$

де V – вектор, що повертається; цим вектором є орт осі $Y - e_Y := (0\ 1\ 0)^T$ (верхній індекс Т вказує на транспонування матриці-рядка);

V_0 – вектор, навколо якого здійснюється поворот вектора V; цим вектором є орт осі X ($X - e_X := (1\ 0\ 0)^T$);

α – кут повороту вектора *V,* цьому куту відповідає кут φ_1 повороту кривошипа, який відраховується від осі Y (при обертанні кривошипа проти годинникової стрілки кут φ_1 має додатне значення, при обертанні кривошипа за годинниковою стрілкою – від'ємне);

r – довжина вектора V після повороту; відношення $\frac{r}{|V|}$ у виразі (1) є масштабним коефіцієнтом, який визначає довжину вектора V після його повороту;

$Ort(V_0)$ – функція для визначення орта вектора V_0, $Ort(V_0)=\frac{V}{|V_0|}$.

Для визначення проекцій векторів на осі координат в MathCAD визначимо параметри:

$$X := ORIGIN,\ Y := ORIGIN + 1,\ Z := ORIGIN + 2$$

Приймаємо в загальному вигляді матриці повороту векторів T(α), аналогічно, схемотехнічному моделюванню просторових механізмів [7]:

$$T_X(\alpha) := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & cos(\alpha) & -sin(\alpha) \\ 0 & sin(\alpha) & cos(\alpha) \end{pmatrix},\quad T_Y(\alpha) := \begin{pmatrix} cos(\alpha) & 0 & sin(\alpha) \\ 0 & 1 & 0 \\ -sin(\alpha) & 0 & cos(\alpha) \end{pmatrix},\quad T_Z(\alpha) := \begin{pmatrix} cos(\alpha) & -sin(\alpha) & 0 \\ sin(\alpha) & cos(\alpha) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Тоді проекція одиничного орта на вісі *X, Y, Z*:

$$\rho_X(r_1,\alpha_X,r_2) := T_X(\alpha_X)\cdot Ort(r_1)\cdot r_2,\qquad \rho_Y(r_1,\alpha_Y,r_2) := T_Y(\alpha_Y)\cdot Ort(r_1)\cdot r_2,$$

$$\rho_Z(r_1,\alpha_Z,r_2) := T_Z(\alpha_Z)\cdot Ort(r_1)\cdot r_2.$$

$$e_X := \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} e_Y := \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix},\quad e_Z := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Функція вектора-ланки кривошипа $\vec{P}_{1\_2}(\varphi_1,\kappa)$ визначається виразом:

$$\vec{P}_{1\_2}(\varphi_1,\kappa) := Turn(e_X,e_Y,\varphi_1,l_{1\_2},\kappa),\ \text{або}\ \vec{P}_{1\_2}(\varphi_1,\kappa) := \rho_Z(e_X,\varphi_1,l_{1\_2},\kappa)$$

де φ_1 – кут повороту кривошипа φ_1 визначається дискретною функцією *rangeable* в інтервалі значень $\varphi_0 \div \varphi_{max}$ з кроком $\Delta\varphi_1$;

$$\varphi_1 := \varphi_0, \varphi_1 + \Delta\varphi_1 .. \varphi_{max},$$

l_{1_2} – довжина кривошипа O_1A, мм;

κ – аргумент функції вектора, змінного кута поточних значень параметрів ланок;
κ_i – *i*-й параметр ланки, розмір якої змінюється при оптимізації.

$$\kappa = \kappa_i, \kappa_{i+1} ... \kappa_n, \tag{2}$$

З у рахуванням параметрів, які досліджуються виріз (2) приймає вид:

$$\kappa = l_{2\_3}, U_{3\_4\_5}, l_{5\_6}, x_4, e_1,$$

де l_{2_3} – довжина шатуна AB, мм;

l_{5_6} – довжина шатуна CD плеча AM, мм;

x_4, e_1 – величина дезаксіалів відповідно a_1 та a_2 (рис. 1), мм;

$U_{3\_4\_5}$ – величина кута між плечима коромисел BO_2 та O_2C, град.

Функція вектора-точок кінематичних пар $\vec{P}_2(\varphi_1,\kappa)$ та $\vec{P}_{4\_2}(\varphi_1,\kappa)$:

$$\vec{P}_2(\varphi_1,\kappa) = \vec{P}_1 + \vec{P}_{1\_2}(\varphi_1,\kappa), \tag{3}$$

$$\vec{P}_{4\_2}(\varphi_1,\kappa) = \vec{P}_2(\varphi_1,\kappa) - \vec{P}_4(\kappa), \tag{4}$$

де P_1 – вектор-стовпчик координат стояка 1 (рис. 1);
$P_4(\kappa)$ – вектор-стовпчик координат стояка 4 з урахуванням параметра $\kappa=x_4$;

$$P_1 := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \text{ìì},\qquad P_4(x_4) := \begin{pmatrix} x_4 \\ y_4 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Функція змінного кута $U_{2\_4\_3}(\varphi_1,\kappa)$ між векторами P_{4_2} та P_{4_3}:

$$U_{2\_4\_3}(\varphi_1,\kappa) = T\cos\left(\left|\vec{P}_{4\_2}(\varphi_1,\kappa)\right|, l_{4\_2}, l_{2\_3}\right),$$

де $\vec{P}_{4\_2}(\varphi_1,\kappa)$ – вектор-стовпчик координат стояка 4.

Функція повороту $T\cos$:

$$Tcos(l_1, l_2, l_3) := arccos\left(\frac{l_1^2 + l_2^2 - l_3^2}{2 \cdot l_1 \cdot l_2}\right),$$

$$P_{4\_3}(\varphi_1, \kappa) := \rho_Z\left(P(\varphi_1, \kappa) - W_{2\_3\_4} \cdot U_{2\_4\_3}(\varphi_1, \kappa), l_{4\_3}\right),$$

де $W_{2\_3\_4}$ – параметр, який визначає варіант складання механізму ($W2\_3\_4 = 1$, якщо обхід контуру виконується за годинниковою стрілкою $P2 \rightarrow P3 \rightarrow P4 \rightarrow P2$, здійснюється за годинниковою стрілкою та $W2\_3\_4 = -1$, якщо проти годинникової стрілки);

l_{4_3} – довжина першого плеча BO_2 двоплечого коромисла, мм;

Функція вектора-точки кінематичної пари $\vec{P}_3(\varphi_1, \kappa)$:

$$\vec{P}_3(\varphi_1, \kappa) = \vec{P}_4(x_4) + \vec{P}_{4\_3}(\varphi_1, \kappa). \tag{5}$$

Функції вектора-ланки шатуна AB – $\vec{P}_{2\_3}(\varphi_1, \kappa)$:

$$\vec{P}_{2\_3}(\varphi_1, \kappa) = \vec{P}_3(\varphi_1, \kappa) - \vec{P}_2(\varphi_1, \kappa).$$

Функції вектора-ланки другого плеча O_2C двоплечого коромисла $\vec{P}_{4\_5}(\varphi_1, \kappa)$:

$$P_{4\_3}(\varphi_1, \kappa) := \rho_Z\left(P_{4\_3}(\varphi_1, \kappa), \cdot U_{3\_4\_5}, l_{4\_5}\right),$$

де l_{4_5} – довжина другого плеча O_2C двоплечого коромисла, мм.

Функція вектора-точки кінематичних пар $\vec{P}_5(\varphi_1, \kappa)$ та $\vec{P}_6(\varphi_1, \kappa)$:

$$\vec{P}_5(\varphi_1, \kappa) = \vec{P}_4(x_4) + \vec{P}_{4\_5}(\varphi_1, \kappa),$$

$$\vec{P}_6(\varphi_1, \kappa) = Повзун\left(\vec{P}_5(\varphi_1, \kappa), N_1(\kappa), N_2(\kappa), l_{5\_6}\right),$$

де $N_1(\kappa), N_2(\kappa)$ – координати точок N_1 та N_2, які задають напрямну повзуна,

$$N_1(e_1, x_4) = \begin{pmatrix} P_4(x_4)_X + e_1 \\ y_4 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad N_2(e_1, x_4) = \begin{pmatrix} P_4(x_4)_X + e_1 \\ y'_4 \\ 0 \end{pmatrix}$$

l_{5_6} – довжина шатуна CD, мм;

y'_4 – ордината N_2, мм.

Програмний код функції користувача в MathCAD для опису орта p повзуна в загальному випадку:

$$Ïîâçóí\ (P_1, P_2, P_3, L_{1\_4}, P) := \left| \begin{array}{l} P_{1\_2} \leftarrow P_2 - P_1 \\ P_{2\_3} \leftarrow P_3 - P_2 \\ L_{1\_5} \leftarrow \left(P_{1\_2} \times Ort(P_{2\_3})\right)_Z \\ P_{1\_5} \leftarrow \rho_Z\left(P_{2\_3}, -sign(L_{1\_5}) \cdot 90, |L_{1\_5}|\right) \\ U_{4\_1\_5} \leftarrow arccos\left(\frac{|L_{1\_5}|}{L_{1\_4}}\right) \\ P_{1\_4} \leftarrow \left| \begin{array}{l} \rho_Z\left(P_{1\_5}, -sign(L_{1\_5}) \cdot U_{4\_1\_5}, L_{1\_4}\right) \ \ if\ P = P_2 \\ \rho_Z\left(P_{1\_5}, sign(L_{1\_5}) \cdot U_{4\_1\_5}, L_{1\_4}\right) \ \ if\ P = P_3 \end{array} \right. \\ P_4 \leftarrow P_1 + P_{1\_4} \end{array} \right.$$

Функції вектора-ланки шатуна CD – $\vec{P}_{5\_6}(\varphi_1, \kappa)$:

$$\vec{P}_{5\_6}(\varphi_1, \kappa) = \vec{P}_6(\varphi_1, \kappa) - \vec{P}_5(\varphi_1, \kappa).$$

Аналог прискорення повзуна (голковода) в загальному вигляді представлений матрицями проекцій на вісі координат:

$$r''(P, \varphi_1, l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7) = \begin{bmatrix} \frac{d^2}{d\varphi_1^2}\left(P(\varphi_1, l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7)_X\right) \\ \frac{d^2}{d\varphi_1^2}\left(P(\varphi_1, l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7)_Y\right) \\ \frac{d^2}{d\varphi_1^2}\left(P(\varphi_1, l_1, l_2, l_3, l_4, l_5, l_6, l_7)_Z\right) \end{bmatrix}.$$

Аналоги прискорення A_6 для повзуна визначаються виразами:

$$A_6(\varphi_1,\kappa)=r''(P_6,\varphi_1,\kappa).$$

Для визначення фактора впливу величини параметрів κ_i на аналог прискорення повзуна визначимо його значення шляхом дискретної зміни кожного з параметрів κ_i (рис. 3-8) при фіксованому значенні решти параметрів. Раціональні параметри механізму будемо знаходити шляхом наближення аналога прискорення повзуна до гармонічного закону (на діаграмах рис. 3-8 представлений штрих-пунктирною лінією – крива 1, а аналог прискорення раціонального варіанта механізму зображений кривою 4). Також для порівняння з базовими механізмами швейних машин 876 кл. та 164 кл.ф. «Rimoldi» аналоги прискорення їхніх голководів зображені відповідно кривими 2 та 3. Оскільки закон голковода швейної машини 876 кл. більш наближений до гармонічного, то пошук раціональних значень параметрів будемо виконувати в околиці значень параметрів механізму голки саме цієї машини. Параметри, які підлягали варіюванню наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Значення параметрів механізму голки					Інтервал значень	Крок варіювання
l_{O1A}	$l_{1\ 2}$	мм	12	const	–	–
l_{AB}	$l_{2\ 3}$		175	Var	±8-	2
l_{O2B}	$l_{3\ 4}$		21,3	const	–	–
l_{O2C}	$l_{4\ 5}$		27,5			
l_{CD}	$l_{5\ 6}$		19			
a_1	x_4		16	Var	+12 -10	2
a_2	e_1		22	Var	±10	2
h	y_4		175	const	–	–
$\angle BO_2C$	$U_{3\ 4\ 5}$	град.	180	Var	±12	2

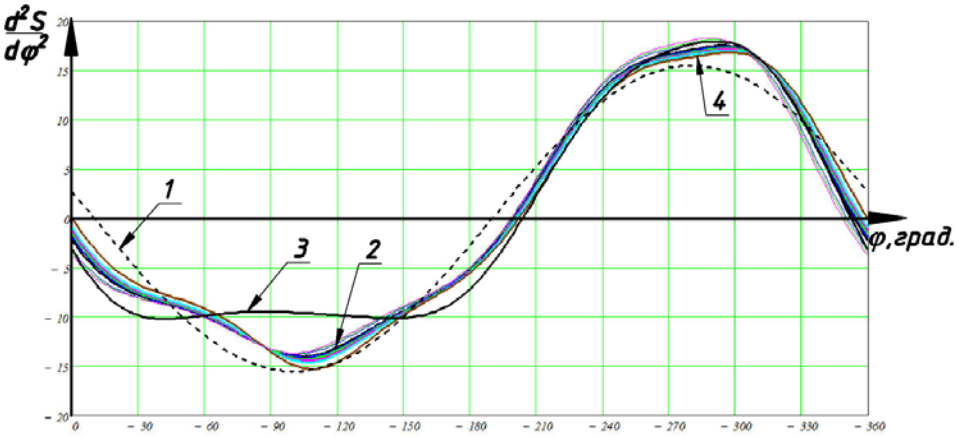


Рис. 3. Діаграма величини впливу параметра x_4 в діапазоні значень $x_4+12>x_i>x_4-10$ (раціональне значення при x_4+12)

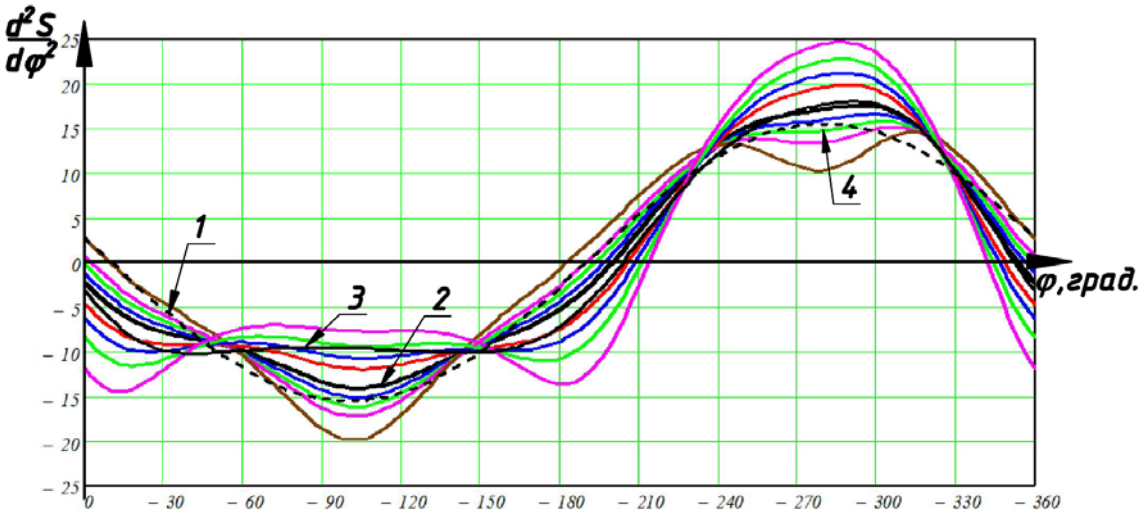


Рис. 4. Діаграми значень аналога прискорення при варіюванні параметра e_1 в діапазоні значень $e_1+10>e_i>e_1-10$ (раціональне значення при e_1+2)

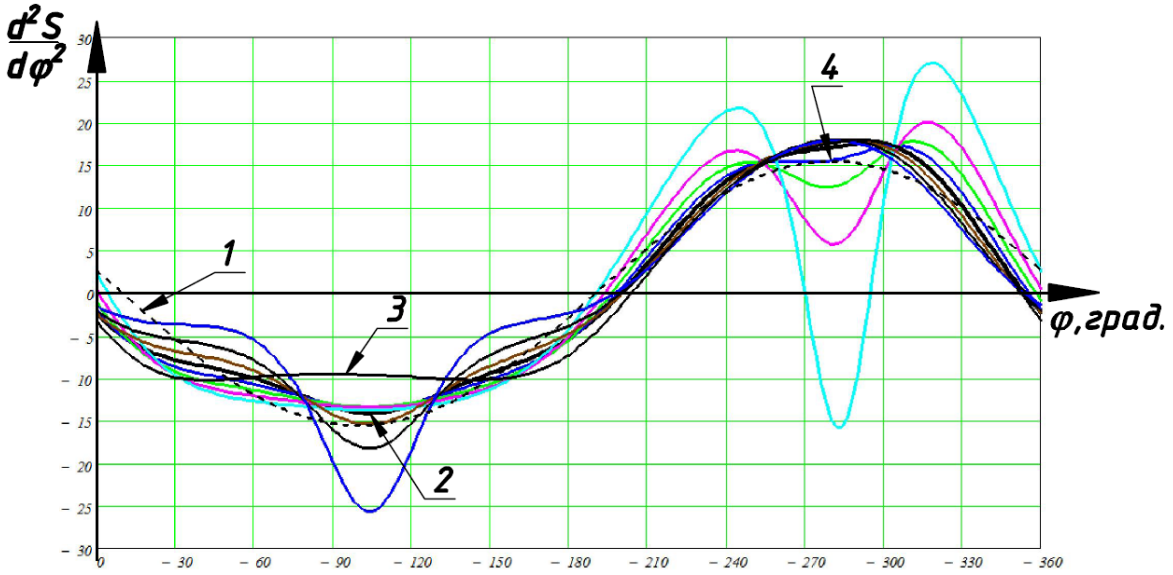


Рис. 5. Діаграми значень аналога прискорення при варіюванні параметра l_{2_3} в діапазоні значень $l_{2\_3}+8 > l_i > l_{2\_3}-6$ (раціональне значення при $l_{2\_3}+2$)

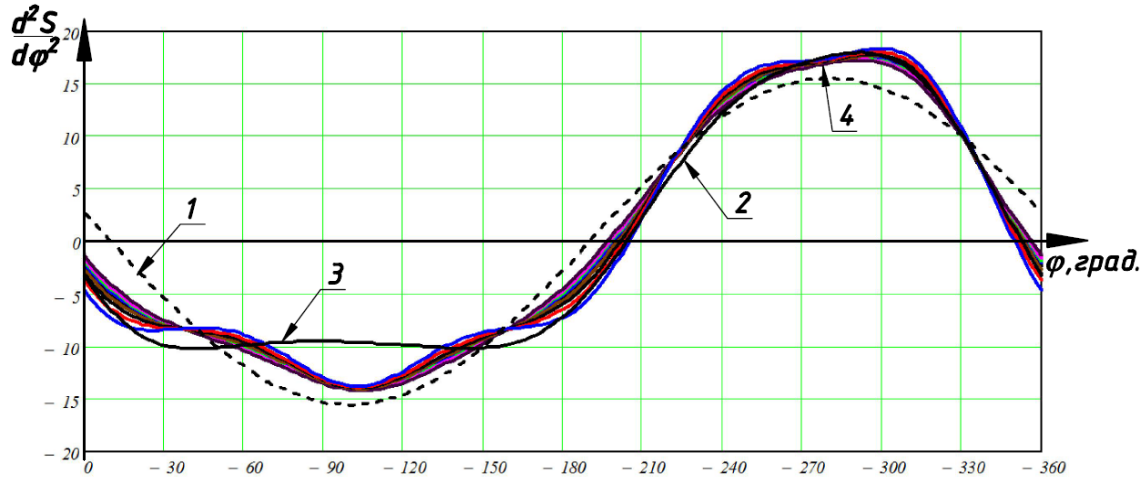


Рис. 6. Діаграми значень аналога прискорення при варіюванні параметра l_{5_6} в діапазоні значень $l_{5\_6}+10 > l_i > l_{5\_6}-10$ (раціональне значення при $l_{5\_6}+10$)

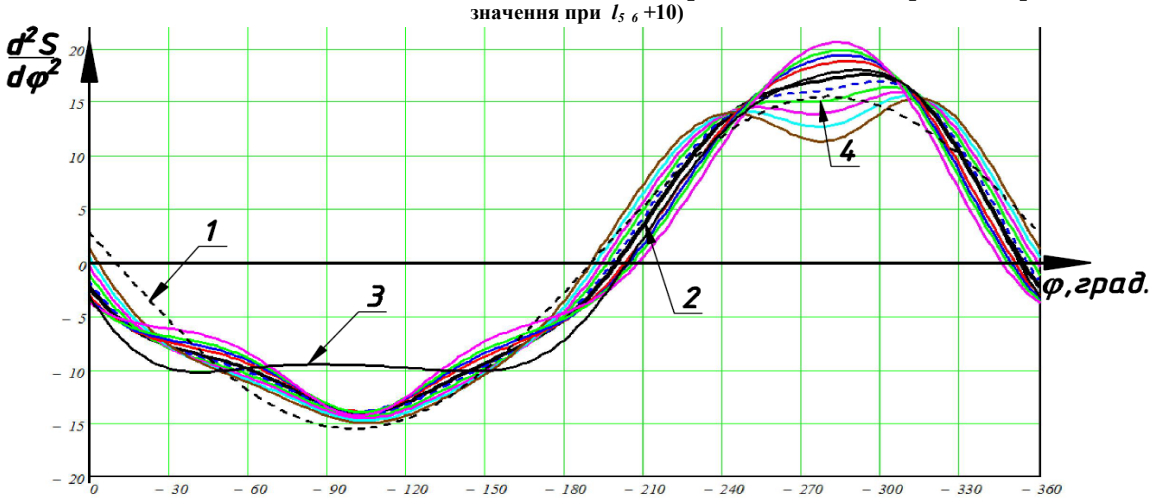


Рис. 7. Діаграми значень аналога прискорення при варіюванні параметра U3_4_5 в діапазоні значень $U_{3\_4\_5}+12 > U_{3\_4\_5_i} > U_{3\_4\_5}-12$ (раціональне значення при $l_{5\_6}+10$)

Також методом повного перебору параметрів ланок механізму знайдено раціональні їх значення, закон аналога прискорення повзуна яких найбільш наближений значення до гармонічного (рис. 9), а максимальна його величина найменша.

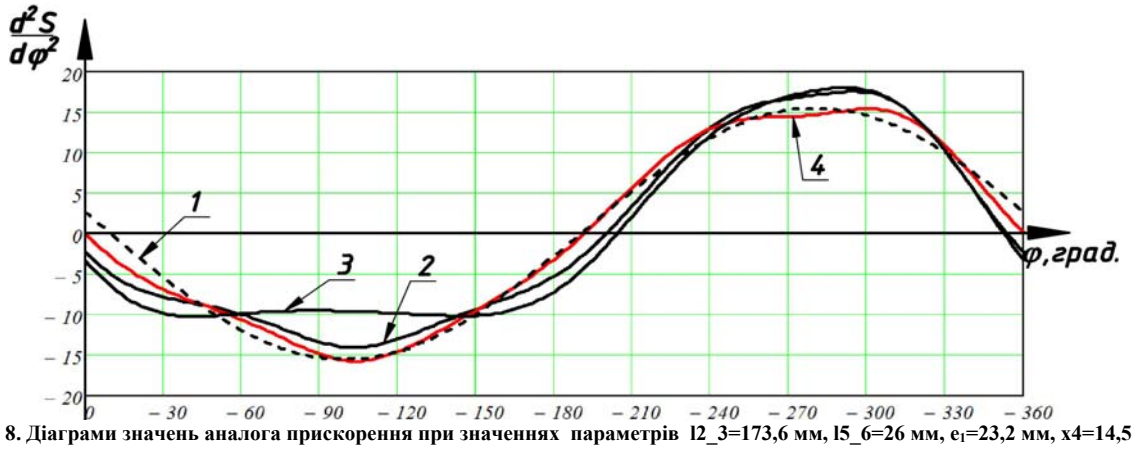


Рис. 8. Діаграми значень аналога прискорення при значеннях параметрів l2_3=173,6 мм, l5_6=26 мм, e_1=23,2 мм, x4=14,5 мм U3_4_5=172° – крива 3 в порівнянні з кривими 1 – базовими параметрами 876 кл., та 2 – гармонічним законом

В результаті дослідження було встановлено, що параметр x_4 несуттєво впливає на закон прискорення повзуна, натомість, довжина шатуна l_{2_3} та величина дезаксиалу e_1 суттєво змінює аналог прискорення повзуна в зонах його максимумів. Так зменшення параметрів призводить до появи подвійного екстремуму в інтервалі значень $\varphi \approx 0{,}5\pi$, а збільшення параметра – до появи аналогічного екстремумів в інтервалі $\varphi \approx 1{,}5\pi$. В цей же час збільшення довжини шатуна l_{5_6} призводить до незначного згладжування «сідлоподібного» екстремуму в околиці значень $\varphi \approx 1{,}5\pi$. Слід відмітити, що зміна кута $U_{3\_4\_5}=170^o$ між плечима коромисел суттєво впливає на зміну величини максимального значення аналога прискорення в цих інтервалах.

Висновки

1. Максимальне прискорення веденої ланки багатоланкових важільних механізмів залежить від взаємовпливу груп Ассура, що входять до його складу.
2. Мінімальні значення максимального прискорення та приблизна рівність обох екстремумів досягається при асиметричному законі руху веденої ланки, що спростовує рекомендації деяких літературних джерел.
3. Запропонована методика може бути застосована для синтезу будь-яких багатоланкових важільних механізмів, особливо з масивною веденою ланкою.

Література

1. Полухин В.П. Проектирование механизмов швейно-обметочних машин / Полухин В.П. – М. : Машиностроение, 1972. – 280 с.
2. Рейбарх Л.Б. Кинематическое исследование механизма игл плоскошовной швейной машины 876 кл. ПМЗ / Л.Б. Рейбарх, М.Н. Григоренко // ИВ ТЛП. –1979. – № 3. – С. 108–111.
3. Орловський Б.В. Комп'ютерне моделювання та синтез типового механізму технологічних машин / Б.В. орловський, В.М. Дворжак // Вісник КНУТД. – 2014. – № 5 (57). – С. 103–108.
4. Пищиков В.О. Проектування швейних машин / В.О. Пищиков, Б.В. Орловський. – К. : Видавничо-поліграфічний дім Формат, 2007. – 320 с.
5. Полухин В.П. Швейные машины цепного стежка / В.П. Полухин, Л. Б Рейбарх. – М. : Легкая индустрия, 1976. – 352 с.
6. Полухин В.П. Швейные машины цепного стежка зарубежных фирм / В.П. Полухин, Л. Б Рейбарх. – М. : Легкая индустрия, 1979. – 344 с.
7. Дворжак В.М. Схемотехнічне моделювання кінематичних схем просторових чотириланкових кривошипно-коромислових механізмів технологічних машин / В.М. Дворжак // Вісник КНУТД. – 2016. – № 2 (96). – С. 16–26.

Рецензія/Peer review : 20.12.2016 р. Надрукована/Printed :7.2.2017 р.
Рецензент: д.т.н., професор Орловський Б.В.

УДК 621.9.4

Ю.В. САВИЦЬКИЙ
Хмельницький національний університет

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕТОДОМ СИНТЕЗУ

В роботі розглянуті основи використання методу синтезу для автоматизованого проектування технологічних процесів. Метод синтезу є універсальним методом, призначеним для проектування технологічних процесів на деталі і складальні одиниці для будь-яких виробів. У основі методу синтезу лежать локальні типові рішення. Метод синтезу можна використовувати як під час автоматизованого, так і ручного проектування технологічних процесів механічної обробки. При цьому якість проектування мало залежить від кваліфікації інженера, а визначається вмістом бази знань на основі маршрутів обробки елементарних поверхонь.

Ключові слова: технологічний процес, метод синтезу, маршрут обробки.

Y.V. SAVITSKY
Khmelnytsky National University

DESIGN OF TECHNOLOGICAL PROCESSES BY SYNTHESIS

In the paper the basics of using synthesis method for automated design processes. The method is versatile synthesis method, appointed to design processes for parts and assembly units for all products. In the synthesis method are typical local solutions. The method of synthesis can be used both for automated and manual design with the technological processes of machining. The quality of the design was dependent on the skill of the engineer, as determined by the knowledge base content based on processing routes elementary surfaces.

Keywords: process, method of synthesis, processing route.

Постановка проблеми. Науково технічний прогрес в машинобудуванні в значній мірі визначає ступінь розвитку технології в цілому. Визначним фактором для прискорення технічного процесу є збільшення продуктивності праці, покращення ефективності загального виробництва та якості продукції [1].

Покращення технологічних методів виготовлення продукції стоїть на першому місці у цьому списку. Якість, надійність, довговічність і економічність у експлуатації залежать не тільки від удосконалення конструкції, але і від технології виготовлення. Застосування прогресивних високопродуктивних методів обробки забезпечують велику точність і якість поверхонь деталей машин, методів створення робочих поверхонь, які підвищують ресурс роботи деталі і машин в цілому. Ефективне використання сучасних автоматизованих ліній, верстатів з ЧПК, персональних комп'ютерів застосування прогресивних форм організації і економіки технологічних процесів – все це направлено не розв'язання головних задач: підвищення ефективності промисловості і якості продукції, зменшивши при цьому витрати.

Аналіз останніх досліджень. У розв'язанні таких задач приймають активну участь інженери технологічних та конструктивних підрозділів і керівники підприємств. За допомогою використання сучасних технологій [2] та нових методів у проектуванні технологічних процесів показники якості, економічності та надійності можливо підняти на новий рівень, тому використання технологій стоїть на першому місці в машинобудуванні як технологічного процесу (ТП), так і розроблення креслень, або технічної документації. При сучасних виробництвах виробництво паперової документації виходить на інший рівень – цифрової інформації, з використання ПК, який показує більш ефективне використання сучасної техніки для промисловості в цілому.

Виділення невирішеної раніше частини загальної проблеми. Актуальність проблеми автоматизованого проектування технологічних процесів залишається впродовж багатьох десятків років загальноприйнятою формою представлення результатів інтелектуальній діяльності людей і інструментом їх інформаційної взаємодії була паперова документація. Її створенням були зайняті (і зайняті до цього дня) мільйони інженерів, техніків, конструкторів, що служать на промислових підприємствах, в державних установах, комерційних структурах.

З появою комп'ютерів почали створюватися і широко впроваджувалися різноманітні засоби і системи автоматизації випуску паперової документації: системи автоматизованого проектування (САПР) – для виготовлення креслень, специфікацій, технологічної документації; системи автоматизованого управління виробництвом (АСУП) – для створення планів виробництва і звітів про його хід; офісні системи – для підготовки текстових і табличних документів і так далі. Проте до кінця XX століття стало ясно, що усі ці досить дорогі засоби не виправдовують надій, що покладаються на них: зрозуміло, деяке підвищення продуктивності праці відбувається, проте не в тих масштабах, які прогнозувалися. Річ у тому, що вони не вирішують проблем інформаційного обміну між різними учасниками життєвого циклу виробу (замовників, розробників, виробників, експлуатаційників і т. д.). При перенесенні даних з однієї автоматизованої системи в іншу потрібно великі витрати праці і часу для повторного кодування, що призводить до численних помилок. Виявилось, що різні системи «Говорять на різних мовах» і погано розуміють один одного.

Більше того, з'ясувалося, що паперова документація і способи представлення інформації на ній обмежують можливості використання сучасних інформаційних технологій. Так, тривимірна модель виробу, що створюється в сучасній САПР, взагалі не може бути адекватно представлена на папері.

В результаті різко знижується ефективність процесів розробки, виробництва, експлуатації, обслуговування, ремонту складних наукомістких виробів (рис. 1).

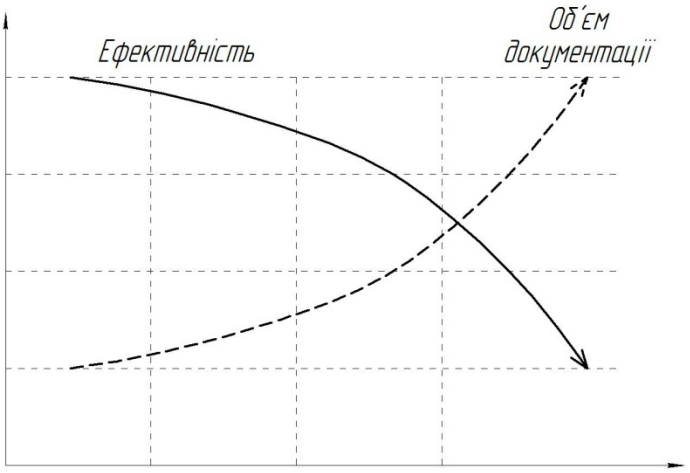


Рис. 1. Об'єми документації і ефективність інженерної діяльності

В ході проектування технологічних процесів у технолога є наступні сфери діяльності:

- оформлення технологічної документації (маршрутні, операційні карти і інші документи). Це не творча робота і може бути повністю автоматизована;
- пошук інформації (пошук інструменту, пристосувань, устаткування, заготівель, припусків, нормативів по режимах різання і нормах часу і так далі). Ця процедура автоматизується на основі використання інформаційно-пошукової системи (ІПС). При використанні ІПС умову пошуку технолог вводить в режимі діалогу. Умови пошуку, які є стабільними, можна зберігати у базі знань;
- стандартні розрахунки (розрахунок припусків, операційних заготівель, режимів різання і т. п.). Такі розрахунки можна повністю автоматизувати;
- ухвалення складних логічних рішень (вибір структури процесу і операцій, вибір баз і т. д.). Процес ухвалення таких рішень повністю автоматизувати не вдається.

Виклад основного матеріалу. Сучасна концепція застосування ЕОМ при проектуванні технології грунтується на створенні людино-машинних систем, в яких спілкування технолога з ЕОМ відбувається в режимі діалогу, який можливо забезпечити на основі синтезу конструкторської та технологічної інформації.

Метод синтезу є універсальним методом, призначеним для проектування технологічних процесів на деталі і складальні одиниці для будь-яких виробів.

У основі методу лежить положення про те, що процес проектування технологічних процесів є багаторівневим і ітераційним. Найбільш загальні рішення приймаються на першому рівні. Далі відбувається оцінка і відбір отриманих варіантів по якому або критерію. Отримані варіанти беруть участь в ухваленні рішення на другому рівні і так далі. При уточненні раніше прийнятих рішень може виявитися, що ці не можуть бути використані, тому потрібне повернення до попередніх рівнів, тобто виникає зворотний зв'язок, необхідний для здійснення ітераційних процесів.

Переваги методу синтезу:

- метод є універсальним і теоретично дозволяє проектувати технологічні процеси для будь-яких деталей;
- метод орієнтований на використання стратегії "спочатку вшир, а потім у глиб", тобто дозволяє виконувати спрямований пошук і досить швидко проектувати оптимальні технологічні процеси.

Недоліки методу синтезу: метод є складним і тому процес проектування ТП йде достатньо довго.

Чим вище рівень автоматизації, тим складніше налаштовувати систему проектування на умови підприємства і складніше її супроводжувати.

У основі методу синтезу лежать локальні типові рішення [3]. Алгоритми побудови САПР на основі методу синтезу істотно відрізняються один від одного. Причини цього полягають в наступному:

1. Процедури розробки (синтезу) технологічних процесів відносяться до розряду тяжко формалізованих.
2. Ряд САПР, побудованих по методу синтезу, орієнтовані на проектування технологічних процесів виготовлення деталей певного класу (наприклад, «тіл обертання»).
3. З метою виключення циклів при розробці технології і забезпечення лінійної стратегії проектування деякі розробники САПР відійшли від класичної схеми проектування технологічних процесів «маршрут – операція – перехід» і так далі.

Реалізація лінійної стратегії проектування методом синтезу в САПР технологічних процесів відбувається наступним чином. Спрощена схема цього методу.

1. Введення опису креслення деталі.
2. Синтез маршрутів (планів) обробки для усіх поверхонь деталі.
3. Синтез принципової схеми технологічного процесу.
4. Синтез маршруту обробки деталі.
5. Синтез складу і структури операцій технологічного процесу.
6. Доопрацювання технологічного процесу (розрахунок режимів різання, нормування).
7. Оформлення документації.

Введення опису креслення деталі і оформлення документації є загальними етапами для усіх методик

проектування технологічних процесів в САПР. Вони включені для повноти картини проектування технологічного процесу.

Синтез маршрутів обробки поверхонь. Маршрут обробки поверхні (МОП) – це послідовність методів (видів, переходів одного методу) обробки, необхідних для досягнення потрібних кресленням деталі параметрів поверхні. Такими параметрами є:

- геометричний тип поверхні;
- точність розміру;
- шорсткість;
- вид термообробки і так далі.

Між методами обробки і параметрами поверхні існує зв'язок, що описується функцією

$$\boldsymbol{M_i : P_i \rightarrow P_{i+1}} \quad (1)$$

Тобто поверхня P_i з параметрами нижчої якості перетвориться в поверхню P_{i+1} з параметрами більш високої якості за допомогою методу M_i .

Будь-яка послідовність дуг графа, що приводить з вершини, що характеризує (що характеризують) поверхню заготівлі, у вершину, що відповідає поверхні деталі, представляє варіант МОП (рис. 2).

Кількість можливих методів обробки і МОП дуже велике. На конкретному підприємстві воно обмежується можливостями існуючого устаткування. Це скорочує кількість альтернативних МОП, але проблема (завдання) вибору конкретного МОП для конкретної поверхні залишається.

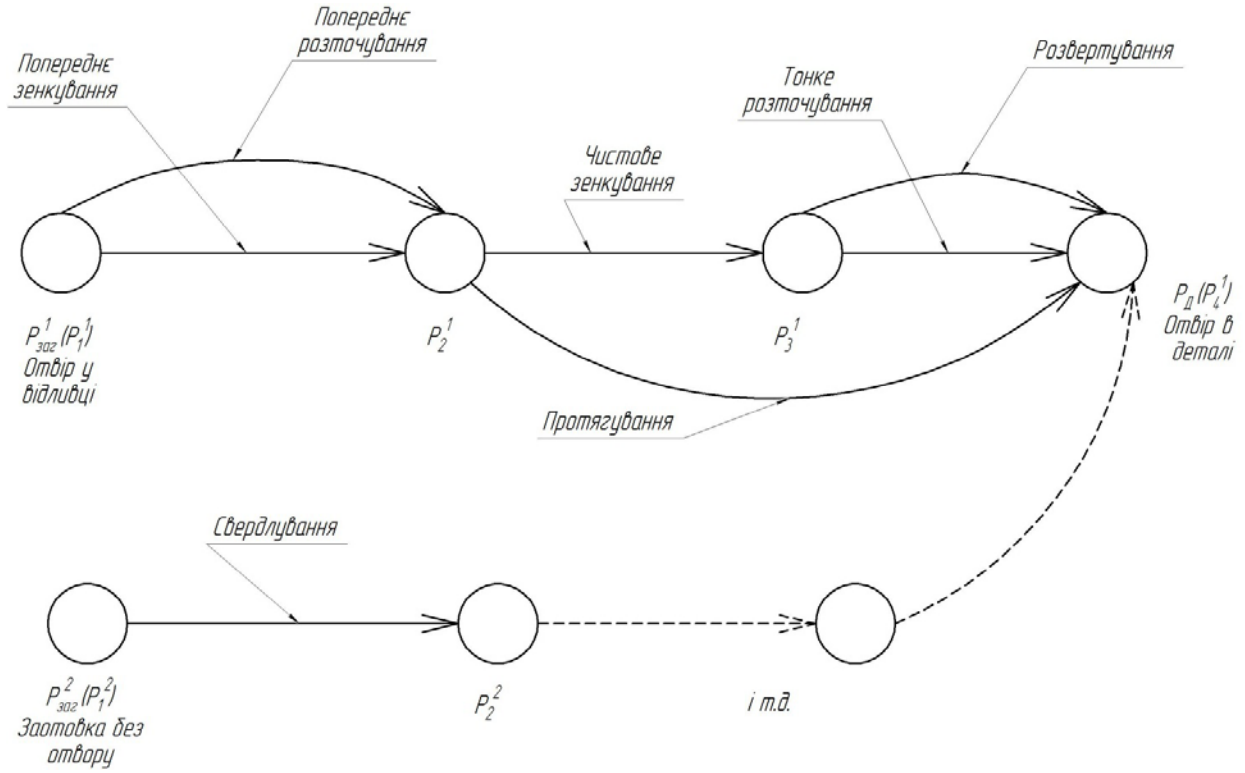


Рис. 2. Представлення варіантів обробки поверхні деталі

Більшість алгоритмів призначення можливих МОП в САПР технологічних процесів будується на основі таблиць відповідностей.

Приклад. Вибір можливих варіантів маршруту обробки торцевої поверхні деталі типу «Тіло обертання».

Можливі маршрути обробки поверхні і таблиця відповідностей для їх вибору показані в таблиці 1 [2].

Примітка: межі діапазонів(13...11; 11...8; 12,5...6,3) входять у відповідний діапазон.

Ліва частина таблиці відповідностей, що означає рядки, є безліччю типових рішень (тут множина МОП).

Верхня частина таблиці відповідностей, що означає стовпці, – умови вибору або застосовності типових рішень(тут МОП) і їх числові значення.

Центральна частина таблиці відповідностей – булева матриця, що означає зв'язки між умовами вибору типових рішень(тут МОП) і самими типовими рішеннями (1 – наявність зв'язку, 0 – відсутність зв'язку).

Таблиця 1

Маршрути обробки поверхонь деталей типу «тіл обертання» (фрагмент бази даних)

Код МОП	Код методу обробки	Вид обробки	Параметри поверхонь після обробки	
			Квалітет	Ra, мкм
12	100	Чорнове точіння	16	25
	101	Напівчистове точіння	14	12,5…6,3
13	100	Чорнове точіння	16	25
	101	Напівчистове точіння	14	12,5…6,3
	102	Чистове точіння	13…11	3,2
14	100	Чорнове точіння	16	25
	101	Напівчистове точіння	14	12,5…6,3
	102	Чистове точіння	13…11	3,2
	103	Тонке точіння	11…8	1,6
15	100	Чорнове точіння	16	25
	101	Напівчистове точіння	14	12,5…6,3
	502	Напівчистове шліфування	13…11	3,2

При проектуванні технологічного процесу шляхом синтезу конструктивної та технологічної інформації було використано метод представлення знань параметричного синтезу.

Найпростішим способом представлення знань параметричного синтезу є використання продуктивних систем штучного інтелекту. У таких системах знання представляються у вигляді правил продукції, що є аналогами умовного речення природної мови: ЯКЩО <умова>, ТО <дія>

Такі правила будуються на базі словника технічної мови, що містить терміни, і їх умовні позначення (ідентифікатори). Як дії використовуються обрахунки за формулами, вибір даних з багаторівневих таблиць, які можуть містити як константи, так і формули, вибір інформації з баз даних, генерацію графічних зображенні і так далі.

Проектування нового ТП з її допомогою займає лічені хвилини. Технологові за допомогою простого інтерфейсу необхідно описати деталь, а потім спостерігати за генерацією технологічного процесу, відповідаючи на рідкісні запити комп'ютера по вибору з допустимого набору тих рішень, які неможливо формалізувати. На закінчення проводиться автоматична генерація технологічної документації з використанням форм документів, прийнятих на підприємстві.

Висновки і перспективи розвитку напрямку.

Проаналізовано метод прийняття технологічних рішень при формуванні переліку технологічних операцій механообробки поверхонь деталей машин в процесі проектування, що дозволяє технологові автоматизовано або вручну вибрати методи обробки, які забезпечують задану конструктором точність і якість поверхні при істотному зниженні термінів проектування техпроцесів, а також технологічної підготовки виробництва в цілому.

Якість спроектованого ТП практично не залежить від кваліфікації технолога, а визначається вмістом баз знань, тому цей ТП зменшує вірогідність похибки людського фактору.

При складанні ТП якщо програмно не можливе вирішення методу обробки, то програма запропонує декілька можливих технологічних процесів, а оператор ПК (персональний комп’ютер) власноруч вирішить та прийме більш досконаліший ТП для свого підприємства.

Цей метод синтезу є універсальним і теоретично дозволяє проектувати технологічні процеси для будь-яких деталей та будь-якої складності? забезпечуючи економічні та якісні показники ТП завдяки вкладеному в основу метода синтезу технологічної та конструкторської інформації.

Література

1. Маталин А.А. Технология машиностроения : учебник для машиностроительных вузов / Маталин А.А. – Л. : Машиностроение, 1985. – 496 с.

2. Норенков И.П.Системы автоматизированиго проектирования : учебное пособие для вузов : в 9 кн. / И.П. Норенков. – М. : Высш. шк., 1986.

3. Системы автоматизированого проектирования технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов : учебник для вузов по спец. «Технология машиностроения», «Металорежущие станки и инструменты» / [С.Н. Корчак и др.] ; под общ. ред. С.Н. Корчака. – М. :Машиностроение, 1988. – 352 с. : ил.

Рецензія/Peer review : 12.1.2017 р. Надрукована/Printed :1.2.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Гордеєв А.І.

УДК 621.825.5/.7

В.О. ПРОЦЕНКО, О.Ю. КЛЕМЕНТЬЄВА
Херсонська державна морська академія

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАПОБІЖНИХ КАНАТНИХ МУФТ ДЛЯ ЗАХИСТУ МАШИН ВІД ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПЕРЕВАНТАЖЕНЬ

В статті запропоновано конструкцію та описано процес спрацьовування запобіжної муфти з канатними елементами. Встановлені умови можливості виконання муфтою запобіжних функцій залежно від того, яка з напівмуфт є ведучою. Отримані залежності для визначення часу удару суміжних втулок ведучої та веденої напівмуфт та часу екстракції пальця. Отримано також вираз для визначення граничної кутової швидкості, за якої муфта з відомими конструктивними параметрами здатна виконувати запобіжні функції. Отримані результати дозволяють оцінити геометричні та кінематичні можливості роботи муфти з канатами тангенціального розташування як запобіжної, та можуть стать основою методики проектування нових муфт.

Ключові слова: муфта, канат, швидкодія, перевантаження, експлуатація.

V.O. PROTSENKO, O.YU. KLEMENTYEVA
Kherson State Maritime Academy

JUSTIFICATION PARAMETRES OF SAFETY ROPE CLUTCHES FOR GUARD MACHINES FROM OPERATION OVERLOADS

It is offered the construction and described operation process of a safety clutch with rope elements in the article. Conditions of possibility execution by a clutch safety functions depending on what of semiclutches is the leader are fixed. Dependences for definition of time blow adjacent sleeves of leading and led semiclutches and extraction time of finger are received. Expression for definition of a limiting angular velocity is received also at which clutch with known design data is capable to execute safety functions. The received results allow to evaluate geometrical and kinematic possibilities of operation clutch with ropes of a tangential arrangement as safety, and can become the fundamentals of a technique projection new clutches.

Keywords: clutch, rope, speed, overload, maintenance.

Вступ. Від ефективності роботи та швидкодії запобіжних пристроїв машин напряму залежить їх довговічність. В той же час, ускладнення конструкції цих пристроїв призводить до підвищення вартості машин та зниження їх конкурентоспроможності на ринку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У випадку одиничних або епізодичних перевантажень приводи машин обладнують запобіжними пристроями якнайпростішої конструкції. Але для зниження динамічних навантажень та компенсації неспіввісності їх нерідко комбінують з пружними муфти, які в цьому випадку передають комбінованій конструкції свої недоліки, до яких належить низька ремонтопридатність та висока складність конструкції [1–3].

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. З огляду на вищевикладене, створення та обгрунтування параметрів простих за конструкцією та ефективних запобіжних пристроїв є актуальною задачею для сучасного машинознавства та галузевого машинобудування.

Формулювання мети роботи. Авторами розроблена та запатентована муфта з канатними пружними елементами, що здатна реалізувати запобіжні функції. Устрій цієї муфти зрозумілий з рис. 1.

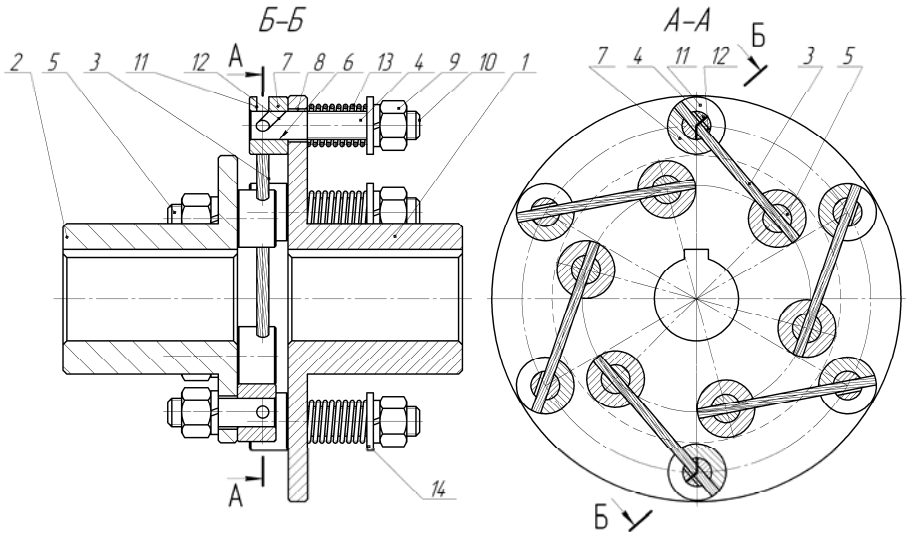


Рис. 1. Загальний вид пружно-запобіжної муфти з торцевою установкою канатів тангенціального розташування

Пружно-запобіжна муфта з тангенціальними канатами складається з двох напівмуфт ведучої 1 і веденої 2, що сполучені за рахунок пружних елементів, якими є канати 3, кожен з яких закріплений одним

кінцем в пальці 4 встановленому у ведучій напівмуфті 1, а іншим кінцем в пальці 5 встановленому у веденій напівмуфті 2. Пальці 4 і 5 пропущені в осьові отвори 6 втулок 7 та отвори 8 фланців ведучої і веденої напівмуфт 1 і 2 та затягнуті гайками 9, що встановлені на їх різьбові кінці 10. Канати 3 пропущені в пази 11 втулок 7 і пази 12 пальців 4 і 5. Гайки пальців 4 встановлені з упором на пружини 13 через шайби 14. Пальці 4 і 5 встановлені у своїх напівмуфтах на різних діаметрах.

Для цієї муфти характерні основні геометричні, компоновочні та силові співвідношення отримані раніше для постійної муфти з тангенціально розташованими канатами [5, 6], але функціональне призначення та конструкція цієї муфти обумовлює деякі особливості її розрахунку, зокрема оцінки параметрів пружин які затискають канати. Розкриття механізму спрацьовування роботи муфти та оцінка параметрів швидкодії її роботи становить мету даної роботи.

Основний матеріал і результати. Для розкриття механізму спрацьовування муфти розглянемо її розрахункову схему, показану на рис. 2 та рис. 3.

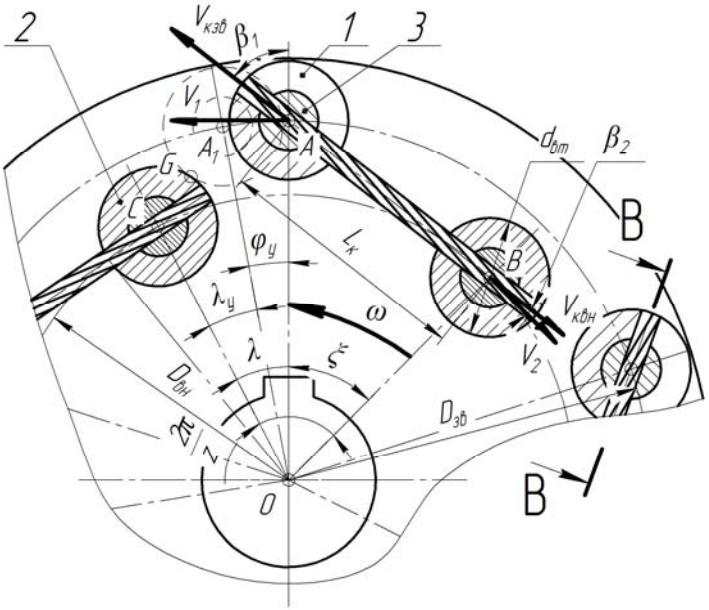


Рис. 2. Розрахункова схема муфти

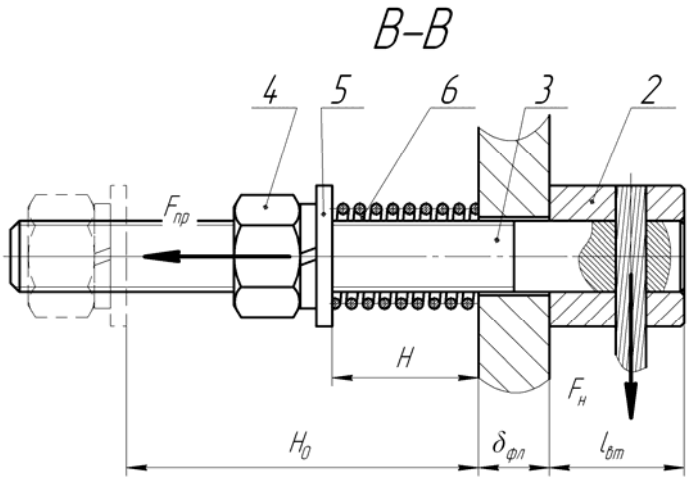


Рис. 3. Розрахункова схема пальця

При роботі муфти в стопорному режимі (найбільш небезпечний варіант) втулки 2, що належать веденій напівмуфті (в даному прикладі це напівмуфта меншого діаметру, або внутрішня) залишаються нерухомими, а втулки 1, що належать ведучій напівмуфті (в даному випадку зовнішній), рухаються ним назустріч. Для виконання муфтою запобіжних функцій, за час удару t_y, коли втулки 1 і 2 зустрінуться в точці G (а центр втулки 1 переміститься при цьому в положення A_1) палець 3 втулки 1 повинен бути екстрагований (за час t_e) з її осьового отвору та отвору фланця ведучої напівмуфти разом із шайбами та гайкою за рахунок стисненої при складанні муфти пружини 6. Таким чином можна записати рівняння можливості виконання муфтою своїх функцій (рівняння швидкодії муфти):

$$t_y \geq t_к + t_e . \quad (1)$$

Для отримання подальших викладок приймемо наступні припущення:

1) Ведена муфта нерухома, а ведуча обертається з постійною кутовою швидкістю ω;

2) Пальці та втулки встановлені з однаковим кутовим кроком;

3) Між пальцями, отворами фланців та отворами втулок наявні гарантовані зазори;

4) Всі z канатів мають однакову довжину;

5) Деталі муфти абсолютно жорсткі;

6) Осі напівмуфт співпадають;

7) Спрацьовування муфти відбувається настільки швидко, що можна вважати рух деталей при цьому рівномірним.

Тоді можна записати для часу удару:

$$t_y = \frac{\varphi_y}{\omega}, \tag{2}$$

де φ_y – кут на який повернеться ведуча напівмуфта до удару (кут удару).

Для визначення кута удару розглянемо спершу чотирикутник $OCAB$, для якого:

$$\frac{2\pi}{z} = \xi + \lambda, \tag{3}$$

де ξ – кут монтажного зміщення напівмуфт (забезпечується при складанні муфти).

$$\lambda = \varphi_y + \lambda_y, \tag{4}$$

$$\varphi_y = \lambda - \lambda_y = \frac{2\pi}{z} - \xi - \lambda_y. \tag{5}$$

З трикутника OCA_1 отримаємо за теоремою косинусів:

$$\begin{aligned} CA_1^2 &= OA_1^2 + OC^2 - 2OA_1 \times OC \times \cos\lambda_y, \\ d_{вт}^2 &= 0,25(D_{зв}{}^2 + D_{вн}{}^2) - 0,5 D_{зв} D_{вн} \cos\lambda_y. \end{aligned} \tag{6}$$

Звідки:

$$\lambda_y = \arccos\frac{0,25(D_{зв}{}^2 + D_{вн}{}^2) - d_{вт}^2}{0,5 D_{зв} D_{вн}}. \tag{7}$$

$$\varphi_y = \frac{2\pi}{z} - \xi - \arccos\frac{0,25(D_{зв}{}^2 + D_{вн}{}^2) - d_{вт}^2}{0,5 D_{зв} D_{вн}}. \tag{8}$$

$$t_y = \frac{\frac{2\pi}{z} - \xi - \arccos\frac{0,25(D_{зв}{}^2 + D_{вн}{}^2) - d_{вт}^2}{0,5 D_{зв} D_{вн}}}{\omega}. \tag{9}$$

До екстракції пальця та сполучених з ним деталей канат 3 повинен повністю вийти з контакту зі втулкою 2 та пальцем 3, на це витрачається час $t_к$:

$$t_к = \frac{d_{вт}}{V_к}, \tag{10}$$

де $d_{вт}$ – діаметр втулки;

$V_к$ – швидкість руху каната.

Швидкість каната і відповідно швидкодія муфти буде відрізнятися в залежності від того, яка з напівмуфт буде ведучою. Коли ведучою є зовнішня напівмуфта, швидкість каната $V_{к1}$ буде рівною:

$$V_{кзв} = \frac{V_1}{\sin\beta_1} = \frac{0,5 D_{зв}\omega}{\sin\beta_1}. \tag{11}$$

При ведучій внутрішній напівмуфті швидкість каната $V_{к2}$ становитиме:

$$V_{квн} = \frac{V_2}{\cos\beta_2} = \frac{0,5 D_{вн}\omega}{\cos\beta_2}. \tag{12}$$

З роботи [5] відомо, що:

$$\sin\beta_1 = \frac{D_{вн}\sin\xi}{2L_к}. \tag{13}$$

$$\cos\beta_2 = \frac{D_{зв}\sin\xi}{2L_к}. \tag{14}$$

Тоді можна записати:

$$V_{кзв} = \omega \frac{D_{зв} L_к}{D_{вн} \sin \xi} = \omega \frac{D_{зв} \sqrt{0,25(D_{зв}{}^2 + D_{вн}{}^2) - 0,5 D_{зв} D_{вн} \cos \xi}}{D_{вн} \sin \xi}. \quad (15)$$

$$V_{квн} = \omega \frac{D_{вн} L_к}{D_{зв} \sin \xi} = \omega \frac{D_{вн} \sqrt{0,25(D_{зв}{}^2 + D_{вн}{}^2) - 0,5 D_{зв} D_{вн} \cos \xi}}{D_{зв} \sin \xi}. \quad (16)$$

Звідки час екстракції каната у випадку ведучої зовнішньої напівмуфти (17) та внутрішньої (18):

$$t_{кзв} = \frac{d_{вт} D_{вн} \sin \xi}{\omega D_{зв} L_к} = \frac{d_{вт} D_{вн} \sin \xi}{\omega D_{зв} \sqrt{0,25(D_{зв}{}^2 + D_{вн}{}^2) - 0,5 D_{зв} D_{вн} \cos \xi}}, \quad (17)$$

$$t_{квн} = \frac{d_{вт} D_{зв} \sin \xi}{\omega D_{вн} L_к} = \frac{d_{вт} D_{зв} \sin \xi}{\omega D_{вн} \sqrt{0,25(D_{зв}{}^2 + D_{вн}{}^2) - 0,5 D_{зв} D_{вн} \cos \xi}}. \quad (18)$$

З (1) потрібний час екстракції пальця:

$$t_e^{потр} \le t_y - t_к. \quad (19)$$

У випадку ведучої зовнішньої напівмуфти формула (19) матиме вигляд (20), а внутрішньої – (21):

$$t_{езв}^{потр} \le \frac{\frac{2\pi}{z} - \xi - \arccos \frac{0,25(D_{зв}{}^2 + D_{вн}{}^2) - d_{вт}^2}{0,5 D_{зв} D_{вн}}}{\omega} - \rightarrow$$
$$\rightarrow - \frac{d_{вт} D_{вн} \sin \xi}{\omega D_{зв} \sqrt{0,25(D_{зв}{}^2 + D_{вн}{}^2) - 0,5 D_{зв} D_{вн} \cos \xi}}. \quad (20)$$

$$t_{евн}^{потр} \le \frac{\frac{2\pi}{z} - \xi - \arccos \frac{0,25(D_{зв}{}^2 + D_{вн}{}^2) - d_{вт}^2}{0,5 D_{зв} D_{вн}}}{\omega} - \rightarrow$$
$$\rightarrow - \frac{d_{вт} D_{зв} \sin \xi}{\omega D_{вн} \sqrt{0,25(D_{зв}{}^2 + D_{вн}{}^2) - 0,5 D_{зв} D_{вн} \cos \xi}}. \quad (21)$$

Для визначення дійсного часу екстракції пальця і сполучених з ним деталей розглянемо його рух, використавши теорему про зміну кінетичної енергії [7]. Згідно цієї теореми зміну кінетичної енергії рухомих деталей спричиняють роботи сил стисненої пружини та сил тертя рухомих деталей, що відображає рівняння (22).

$$0,5 m_{пг} V_n^2 = 0,5 c (H_0 - H)^2 - gf(m_{вт} l_{вт} + m_{пг} \delta_{фл}), \quad (22)$$

де $m_{пг}$ – маса рухомих деталей;
V_n – швидкість пальця;
c – швидкість пружини;
$(H_0 – H)$ – деформація пружини;
g – прискорення вільного падіння;
f – коефіцієнт тертя між пальцем та сполученими з ним деталями;
$m_{вт}$ – маса втулки;
$l_{вт}$ – довжина втулки;
$\delta_{фл}$ – товщина фланця.

Тоді швидкість пальця під час екстракції:

$$V_n = \sqrt{\frac{c(H_0 - H)^2 - 2gf(m_{вт} l_{вт} + m_{пг} \delta_{фл})}{m_{пг}}}. \quad (23)$$

Далі отримаємо вираз для обчислення розрахункового часу екстракції:

$$t_e^{розр} = \frac{l_{вт} + \delta_{фл}}{V_n} = \frac{l_{вт} + \delta_{фл}}{\sqrt{\frac{c(H_0 - H)^2 - 2gf(m_{вт} l_{вт} + m_{пг} \delta_{фл})}{m_{пг}}}}. \quad (24)$$

Слід відзначити, що екстракція пальця зі фланця та втулки може бути гарантовано забезпечена коли деформація пружини $(H_0 - H)$ більше або дорівнює сумі товщин втулки та фланця $(l_{вт} + \delta_{фл})$.

Тоді формула (24) набуде вигляду (25):

$$t_e^{розр} = \frac{l_{вт} + \delta_{фл}}{\sqrt{\frac{c(l_{вт} + \delta_{фл})^2 - 2gf(m_{вт}l_{вт} + m_{пг}\delta_{фл})}{m_{пг}}}}. \quad (25)$$

Чисельний розрахунок для натурного зразка муфти у якої z = 5, $m_{вт}$ = 0,043 кг, $m_{пг}$ = 0,112 кг , $l_{вт}$ = 0,016 м, $\delta_{фл}$ = 0,008 м, $d_{вт}$ = 0,024 м, $D_{зв}$ = 0,145 м, $D_{вн}$ = 0,125 м c = 31250 Н/м, f = 0,15, показав, що у формулі (25) складова пов'язана з роботою сили тертя складає лише 0,03% від складової енергії стисненої пружини, тому якщо знехтувати тертям, формулу (25) можна перетворити до компактного вигляду (26).

$$t_e^{розр} = \frac{l_{вт} + \delta_{фл}}{\sqrt{\frac{c(l_{вт} + \delta_{фл})^2}{m_{пг}}}} = \sqrt{\frac{m_{пг}}{c}}. \quad (26)$$

Підставляючи вираз (26) у (20) та (21) можна отримати формули для розрахунку граничної частоти обертання при якій муфта здатна виконувати свої запобіжні функції:

У випадку ведучої зовнішньої напівмуфти:

$$\omega_{зв} \le \sqrt{\frac{c}{m_{пг}}}\left[\frac{2\pi}{z} - \xi - \arccos\frac{0,25(D_{зв}^{\ 2} + D_{вн}^{\ 2}) - d_{вт}^2}{0,5D_{зв}D_{вн}} - \rightarrow \right.$$
$$\left. \rightarrow \frac{d_{вт}D_{вн}\sin\xi}{D_{зв}\sqrt{0,25(D_{зв}^{\ 2} + D_{вн}^{\ 2}) - 0,5D_{зв}D_{вн}\cos\xi}}\right]. \quad (27)$$

У випадку ведучої внутрішньої напівмуфти:

$$\omega_{вн} \le \sqrt{\frac{c}{m_{пг}}}\left[\frac{2\pi}{z} - \xi - \arccos\frac{0,25(D_{зв}^{\ 2} + D_{вн}^{\ 2}) - d_{вт}^2}{0,5D_{зв}D_{вн}} - \rightarrow \right.$$
$$\left. \rightarrow \frac{d_{вт}D_{зв}\sin\xi}{D_{вн}\sqrt{0,25(D_{зв}^{\ 2} + D_{вн}^{\ 2}) - 0,5D_{зв}D_{вн}\cos\xi}}\right]. \quad (28)$$

Користування отриманими виразами може виконуватись в наступним чином:

а) при відомих з виконаного розрахунку на міцність розмірах та частоті обертання муфти можна перевіряти можливість її роботи як запобіжної, обчислюючи розрахунковий час екстракції пальця за формулою (26) та порівнювати його з потрібним часом екстракції (20) чи (21);

б) при тих же умовах, обчислення допустимої кутової швидкості муфти за формулами (27) чи (28) та порівняння її з проектною кутовою швидкістю також дасть можливість відповісти на запитання чи здатна муфта виконувати свої запобіжні функції.

За отриманими формулами (17), (18), (26) для модельної муфти при кутовій швидкості обертання ω = 50 рад/с, побудований графік залежності часу її спрацювання від кута монтажного зміщення ξ (рис. 4). На рис. 5 показано графік залежності критичної частоти обертання від кута монтажного зміщення. Штриховою лінією на рис. 4 і 5 показані графіки при ведучій зовнішній напівмуфті, а осьовою – при ведучій внутрішній напівмуфті.

З графіка рис. 4 видно, що умова (1) виконується у випадку ведучої зовнішньої напівмуфти при кутах ξ менше 28º, при ведучій внутрішній напівмуфті – при кутах ξ менше 23º.

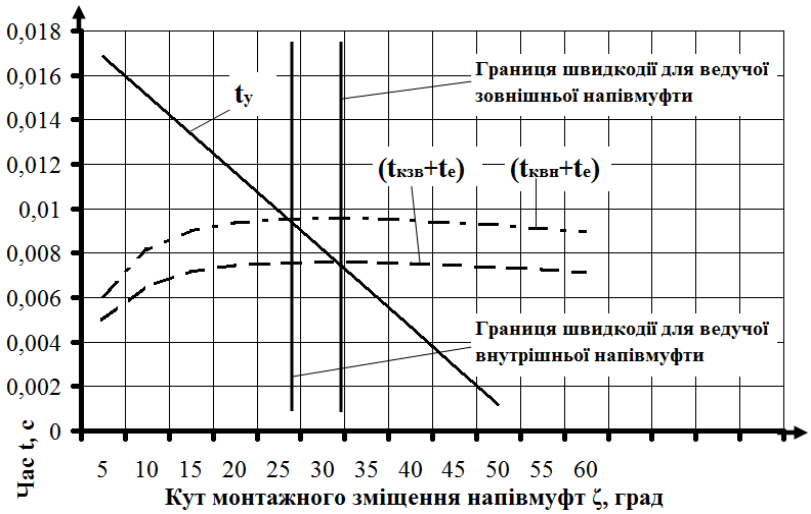


Рис. 4. Графік впливу кута монтажного зміщення напівмуфт ξ на параметри швидкодії муфти

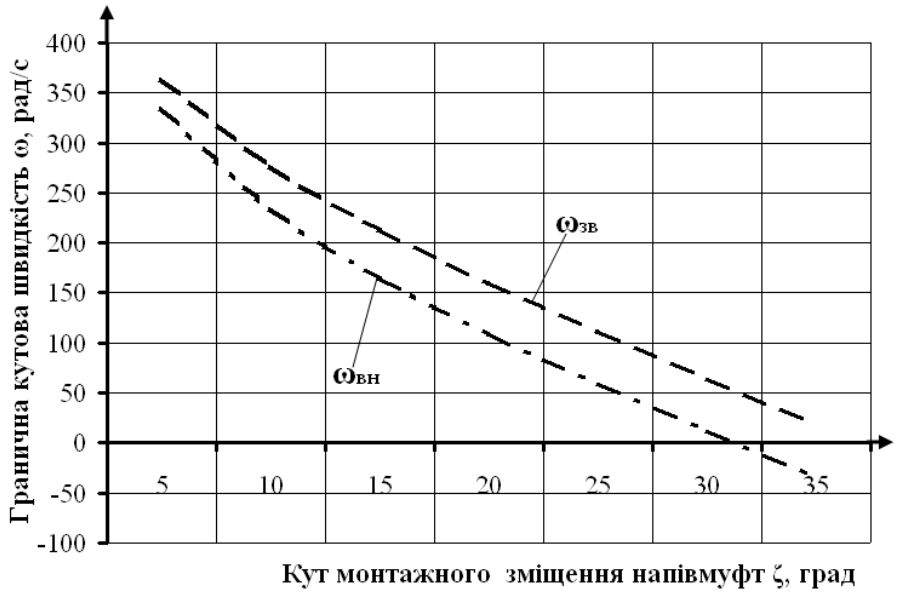


Рис. 5. Графік впливу кута монтажного зміщення напівмуфт ξ на граничну кутову швидкість обертання муфти

В результаті виконаних досліджень можна зробити наступні **висновки:**

1. Отримані залежності, що дозволяють оцінити геометричні та кінематичні можливості роботи муфти з канатами тангенціального розташування як запобіжної у випадку ведучої зовнішньої та внутрішньої напівмуфт. Для цих же варіантів отримані формули для обчислення часу спрацьовування муфти та критичної частоти обертання при якій муфта здатна виконувати свої запобіжні функції.

2. Показано, що під час розрахунку часу екстракції пальця впливом тертя на швидкість та час екстракції можна знехтувати.

Література

1. Малащенко В.О. Навантажувальна здатність приводів великомасових систем : монографія / Малащенко В.О., Куновський Г.П. – Лівів : «Новий світ-2000», 2016. – 150 с.

2. Артюх В.Г. Розвиток теоретичних основ і практика захисту металургійних машин від поломок : автореферат дис. На здобуття наук. ступеня докт. техн. Наук : 05.05.08 / В.Г. Артюх ; Донецьк. нац. техн. ун-т. – Донецьк: ДонНТУ, 2012. – 34 с.

3. Малащенко В.О. Муфти приводів. Конструкції та приклади розрахунків / В.О. Малащенко. – Львів : Видавництво національного університету «Львівська політехніка», 2009. – 208 с.

4. Есипенко Я.И. Муфты повышенной точности ограничения нагрузки / Я.И. Есипенко, А.З. Паламаренко, М.К. Афанасьев. − К. : Техніка, 1972. − 168 с.

5. Проценко В.О. Геометричні та силові параметри муфти з торцевою установкою канатів тангенціального розташування / В.О. Проценко, В.О. Настасенко, О.Ю. Клементьєва // Підйомно-транспортна техніка. Науково-технічний та виробничий журнал. – Одеса : ІНТЕРПРІНТ, 2015. – № 4. – С. 53–59.

6. Проценко В.О. Особливості компоновки муфт з торцевою установкою канатів тангенціального розташування / В.О. Проценко, О.Ю. Клементьєва // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Тем вип.: Проблеми механічного приводу. – Харків : НТУ «ХПІ». – 2016. – № 23 (1195). – С. 134–137.

7. Павловський М.А. Теоретична механіка / Павловський М.А. – К. : Техніка, 2002. – 510 с.

Рецензія/Peer review : 27.12.2016 р. Надрукована/Printed :1.2.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Букетов А.В.

УДК 621.74.045

Ю.В. САВИЦЬКИЙ , В.П. ТКАЧУК
Хмельницький національний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЛИТТЯ ПО ВИПАЛЮВАНІЙ ГАЗИФІКОВАНІЙ МОДЕЛІ

В роботі розглянуті теоретичні основи процесу лиття по випалюваних газифікованих моделях. Представлена математична модель процесу лиття по випалюваних моделях. На основі даної моделі отримані значення величини тиску, швидкості течії металу залежно від технологічних параметрів газопроникності форми. Порівняння експериментальних і теоретичних даних зміни тисків і величини зазору δ показують їх задовільний збіг, що дозволяє рекомендувати запропоновану математичну модель для інженерних розрахунків під час проектування технологічного процесу лиття по випалюваних моделях.

Ключові слова: лиття, тиск, течія металу, газ.

Y.V. SAVITSKY, V.P.TKACHUK
Khmelnytsky National University

MATHEMATICAL MODEL CASTING GASIFIED MODELS

In this work the theoretical bases of casting on gasified models. A mathematical model of the casting gasified models. Based on this model the values of the pressure, speed metal flow depending on the technical parameters of gas permeability of shape. Comparison of experimental and theoretical data changes in pressure and the magnitude of the gap show their satisfactory coincidence that can recommend the proposed mathematical model for engineering calculations in the design process casting gasified models.

Keywords: molding, pressure, flow metal gas.

Постановка проблеми. Отримання заготовок деталей машин методом лиття по випалюваним газифікованим моделям є високоефективним процесом виготовлення деталей і широко використовується в світовому машинобудуванні. Це відносно дорогий, але точний метод отримання заготовок деталей машин. В умовах вільної економічної зони з ЄС основні критерії конкурентоздатності продукції – її ціна і якість, що досягаються впровадженням нових і вдосконаленням існуючих технологій.

Аналіз останніх досліджень. Математична модель процесу лиття по випалюваних (газифікованих) моделях заснована на фізичній моделі взаємодії розплавленого металу з моделлю з пінополістиролу в порожнині ливарної форми і встановлює залежність між теплофізичними властивостями моделі, металу і форми і технологічними параметрами процесу лиття. Під час виведення математичної моделі були зроблені наступні припущення [1]:

• ливарна форма є однорідним ізотропним пористим тілом;

• фільтрація парогазової фази здійснюється тільки через зазор δ між дзеркалом металу і фронтом термодеструкції моделі при їх взаємному переміщенні;

• у формі має місце одномірна паралельна ламінарна фільтрація парогазової фази;

• газопроникність форми залишається постійною в процесі її заповнення металом;

• температурне поле форми залишається постійним в період фільтрації парогазової фази та її температура дорівнює температурі форми;

• температура парогазової фази в зазорі δ залишається постійною в процесі заливання форми металом;

• між розрахунковою і фактичною швидкостями підйому металу в порожнині форми дотримується лінійна залежність.

Виклад основного матеріалу. Масове прирощення парогазової фази (надалі – газу) dG_1 в об'ємі зазору δ за проміжок часу $d\tau$ визначається різницею між кількістю газу, який утворюється в процесі термодеструкції моделі dG_M за час $d\tau$, і кількістю газу, який видаляється із зазору δ за той же самий час:

$$dG_1 = dG_M - dG_Г, \tag{1}$$

Об'ємне прирощення газу в зазорі δ згідно рівняння (1) можна записати так:

$$dQ_1 = dQ_M - dQ_Г, \quad dQ_M = \frac{dG_M}{\gamma_M}; \quad dQ_Г = \frac{dG_Г}{\gamma_H}, \tag{2}$$

де γ_H – об'ємна маса газу при нормальних умовах (P = 0,1 МПа і T = 15 ° С).

Кількість газу , яка видаляється з зазору δ за час $d\tau$, визначається рівнянням

$$dG_Г = \gamma_Г V_Г \delta \Pi d\tau, \tag{3}$$

де $\gamma_Г$ – об'ємна маса газу; $V_Г$ – швидкість фільтрації газу; П – периметр моделі в зоні взаємодії її з металом.

Швидкість фільтрації газу $V_Г$ визначається рівнянням Дарсі:

$$V_Г = \frac{c\partial P_ф}{\eta \partial y}, \tag{4}$$

де $P_ф$ – тиск газу в зазорі δ; *c* – проникність форми в одиницях Дарсі; η – кінематична в'язкість газу; *y* – направлення фільтрації газу, перпендикулярне до границі форма – зазор δ.

Щільність газу визначається за формулою:

$$\gamma_Г = \frac{P_ф}{T_ф R}, \tag{5}$$

де $T_ф$ – температура форми, К; *R* – газова постійна.

З урахуванням (4) і (5) рівняння (3) прийме вигляд:

$$dG_Г = -\frac{c\delta\Pi}{2\eta T_ф R} \cdot \frac{\partial P_Ф}{\partial y}. \tag{6}$$

В умовах одновимірної фільтрації газу в ливарній формі можна прийняти, що

$$\frac{\partial P_ф^2}{\partial y} = \frac{P_ф^2 - P_0^2}{l}, \tag{7}$$

де *l* – довжина шляху фільтрації;

P_0 – початковий тиск газу у формі, який дорівнює атмосферному тиску.

Після підстановки (7) в (6) рівняння виходу газу з обсягу в зазорі δ запишеться:

$$dQ_1 = \frac{dG_Г}{\gamma_н} = \frac{273c\delta\Pi(P_ф^2 - P_0^2)}{2\eta T_ф P_Н l}, \tag{8}$$

де $P_Н$ = 1,0 кг/см^2– нормальний тиск.

Обсяг газу, який виділяється при термодеструкції моделі за час $d\tau$, визначається рівнянням

$$dQ_M = maF_M \tau^{m-1} d\tau. \tag{9}$$

З урахуванням (7) і (8) рівняння (2) прийме остаточний вигляд:

$$dQ_1 = \left[maF_M \tau^{m-1} - \frac{273c\delta\Pi(P_ф^2 - P_0^2)}{2\eta T_ф P_Н l} \right] d\tau. \tag{10}$$

Об'ємне прирощення газу в зазорі δ можна визначити за збільшенню маси газу за проміжок часу $d\tau$:

$$dQ_2 = \frac{\delta F\gamma_2 - \delta F\gamma_1}{\gamma_Н}, \tag{11}$$

враховуючи, що

$$\gamma_2 = \frac{P_2}{RT_Г}, \quad \gamma_1 = \frac{P_1}{RT_Г},$$

де γ_1, γ_2 – об'ємна маса газу в зазорі δ в моменти часу τ і $\tau + d\tau$;

P_1 і P_2 – тиск газу в той же самий час; $T_Г$ – температуру газу, К, а також що зміна тиску газу в зазорі δ за час $d\tau$ рівне $dP_ф = P_2 - P_1$, рівняння (11) можна записати:

$$dQ_2 = \frac{273\delta F}{T_Г} dP_ф. \tag{12}$$

Так як $dQ_1 = dQ_2$ за умовою, то, прирівнявши рівняння (10) і (12), після перетворення отримаємо диференціальне рівняння газового режиму ливарної форми, яке характеризує динаміку газового тиску в зазорі δ під час заливки форми металом:

$$\frac{dP_\phi}{d\tau}=\frac{T_\Gamma}{273\delta F_{OT}}\left[maF\tau^{m-1}-\frac{273c\delta\prod\left(P_\phi^2-P_0^2\right)}{2\eta P_0 T_\phi l}\right]. \quad (13)$$

Рішення рівняння (13) за допомогою рядів Тейлора дає формулу для визначення величини газового тиску в зазорі δ в будь-який проміжок часу заливки форми металом:

$$P_\phi=\frac{amFT_\phi l\eta}{273\delta c\prod}\left(1-e^{\frac{cT_\Gamma\prod}{FT_\phi l\eta}\tau}\right)\tau^{m-1}. \quad (14)$$

При оптимальної швидкості підйому металу в порожнині форми в межах 1–5 см/с показник ступеня *m* дорівнює: для сталі 1, чавуну 0,5 та алюмінію 0,75. У цьому випадку при одержанні виливків зі сталі P_ϕ (кг/см^2) визначається за формулою

$$P_\phi=\frac{aFT_\phi l\eta}{273\delta c\prod}\left(1-e^{\frac{cT_\Gamma\prod}{FT_\phi l\eta}\tau}\right), \quad (14a)$$

з чавуну:

$$P_\phi=\frac{0{,}5aFT_\phi l\eta}{273\delta c\prod}\left(1-e^{\frac{cT_\Gamma\prod}{FT_\phi l\eta}\tau}\right)\tau^{-0{,}5}, \quad (14б)$$

з алюмінієвих сплавів:

$$P_\phi=\frac{0{,}75aFT_\phi l\eta}{273\delta c\prod}\left(1-e^{\frac{cT_\Gamma\prod}{FT_\phi l\eta}\tau}\right)\tau^{-0{,}25}. \quad (14в)$$

Відносний коефіцієнт газовиділення можна визначити з рівності

$$aF\tau_з^m=Fh\gamma_M q_M \quad \text{або} \quad a=\frac{h\gamma_M q_M}{\tau_з^m}, \quad (15)$$

де h – висота моделі за положенням у формі, см; γ_M – об'ємна щільність моделі, г/см^3; q_M – відносна газотвірність пінополістиролу для заданої температури і швидкості заливання форми металом, см^3/г; $\tau_з$ – час заливки форми металом, яке визначається за формулою

$$\tau_з=\frac{h}{V_{ОП}}. \quad (16)$$

В ході виведення рівняння (14) величина зазору δ була прийнята постійною. Фактично вона змінна і залежить від тих же параметрів, що і величина тиску P_ϕ. По своїй фізичній природі величина зазору δ є різниця між просуванням фронту термодеструкції моделі і дзеркалом металу при заповненні форми:

$$d\delta=\left(V_M-V_{MET}\right)d\tau. \quad (17)$$

Лінійна швидкість термодеструкції моделі визначається з рівняння (9):

$$\frac{dQ_\Gamma}{d\tau}=mb\tau^{m-1}, \quad (18)$$

де $b=\frac{h}{\tau_з^m}$.

Час заливки форми визначається за формулою (16), причому для сталі $b=\frac{h}{\tau_з}$, чавуну $b=\frac{h}{\sqrt{\tau_з}}$ і алюмінієвого сплаву $b=\frac{h}{\sqrt[4]{\tau_з^3}}$.

Швидкість підйому металу в порожнині форми визначається рівнянням гідравліки:

$$V_{МЕТ} = \mu \frac{F_{ж}}{F_{м}} \sqrt{2gH_{P}}, \tag{19}$$

де μ – коефіцієнт витрати, який враховує місцеві опори руху металу в каналах ливникової системи і в площині форми; $F_{ж}$, $F_{м}$ – площа перерізу живильників і моделі, см^2.

Розрахунковий гідростатичний напір металу H_P визначається з урахуванням протитиску продуктів термодеструкції моделі $P_{ф}$ за формулою

$$H_P = H_P^{'} - \frac{P_{ф}}{\gamma_{МЕТ}}. \tag{20}$$

Для нижнього підведення металу $H_P^{'}$ визначається за формулою

$$H_P^{'} = \frac{H_{max} + 2\sqrt{H_{max} H_{min}} + H_{min}}{4}, \tag{21}$$

де H_{max} і H_{min} – гідравлічний напір металу на початку і в кінці заливання форми металом.

Якщо підставити у формулу (17) значення величин які до неї входять, які визначаються формулами (18) і (19), то величину зазору δ можна визначити за рівнянням

$$\delta = b\tau^{m} - \mu \frac{F_{П}}{F_{M}} \sqrt{2gH_{P}}\tau. \tag{22}$$

Для розрахунку тиску $P_{ф}$ можна використовувати середню величину зазору δ:

$$\delta_{ср} = \frac{1}{\tau_{з}} \int_{0}^{\tau_{з}} \delta d\tau = \frac{b\tau_{з}^{m}}{m+1} - \mu \frac{F_{П}}{2F_{M}} \sqrt{2gH_{P}}\tau_{з}. \tag{23}$$

Рівняння (14), (19) і (22) визначають основні технологічні параметри процесу лиття залежно від теплофізичних властивостей моделі, гідравлічних властивостей форми і гідродинамічних властивостей металу і, по суті, є математичною моделлю процесу лиття по випалюваних моделях.

Джерело[2] на підставі математичної обробки результатів експериментів запропоновано рівняння для визначення максимального $P_{ф}^{max}$ (кПа) і усталеного тиску в $P_{ф}$ зазорі δ:

$$P_{ф}^{max} = 6,7 + 0,04 \frac{W_1}{0,008K_{П} + 1,4\theta_{з} - 1} + 8\theta_{з} - 0,13K_{П}; \tag{24}$$

$$P_{ф} = 0,4K_{П} + \left(0,8 - 0,5K_{П}\right)\theta_{з} - \left(0,26 + 0,3\theta_{з}\right) \cdot \frac{W_{Г}}{\left(1,4\theta_{з} + 0,008K_{П} - 1\right)} + 3,65, \tag{25}$$

де $K_{П}$ – газопроникність покриття в інтервалі від 1 до 31 см^4 (г • с);

$\theta_{з}$ – відносна температура заливки:

$$\theta_{з} = \frac{T_{з} - T_{с}}{T_{л} - T_{с}},$$

де $T_{з}$, $T_{с}$, $T_{л}$ – відповідно температура заливки, середовища та ліквідусу сплаву.

В експериментах відносна температура сплаву, який заливається варіювалася в межах 1,05–1,15.

Фактична швидкість підйому металу в порожнині форми W_1 визначалася за рівнянням

$$W_1 = \left(-1 + 0,008K_{П} + 1,4\theta_{з}\right)W_{P}, \tag{25,а}$$

де W_{P} – розрахункова швидкість; W_1 – фактична швидкість , яка змінювалася в експериментах в межах 10–50 мм / с.

При швидкості підйому металу в порожнині форми більш 50 мм/с рівняння (24) і (25) застосовувати не можна.

Тиск $P_ф$ надає безпосередній вплив на фактичну швидкість заливання форми металом , і його величина при інших рівних умовах істотно залежить від сумарної газопроникності протипригарного покриття і матеріалу форми.

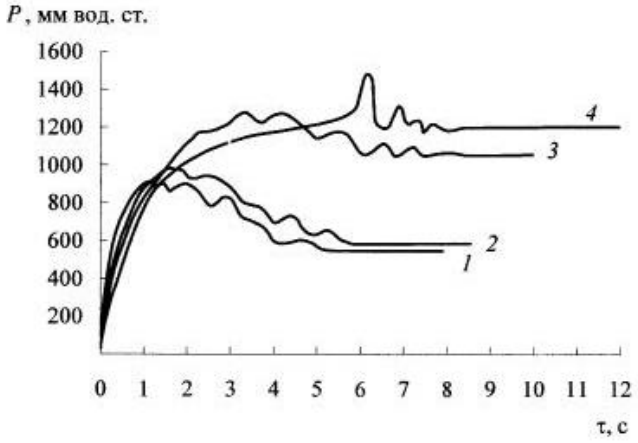


Рис. 1. Кінетика тиску $P_ф$ в зоні взаємодії моделі з металом залежно від газопроникності форми
1 – 55 см^4/ (г •с); 2 – 50 см^4 / (г • с); 3 – 20 см^4 / (г• с); 4 – 10,5 см^4 / (г • с)

На рис. 1 представлені залежності газового тиску в обсязі зазору δ від сумарної газопроникності форми при постійних параметрах технології лиття (гідростатичний напір 32,5 см; площа перерізу живильників 3,0 см^2; температура металу 1550 ° С; габаритні розміри моделі : висота 250 мм, ширина 100 мм, товщина 40 мм; щільність моделі з пінополістиролу 20 кг/м^3). Зниження сумарної газопроникності збільшує газовий тиск $P_ф$ в зазорі δ, що призводить до подовження часу заливки форми металом або до зупинки потоку металу в порожнині (рис. 1 , К = 10,3).

Пульсуючий характер тиску $P_ф$ пов'язаний з краплеутворенням рідкої фази при термодеструкції моделі і її падінням на дзеркало рідкого металу [3]. На рис. 2 представлена залежність швидкості підйому металу в порожнині форми від її сумарної газопроникності. Залежність зміни тиску у формі $P_ф$ і величини зазору δ від сумарної газопроникності показана на рис. 3.

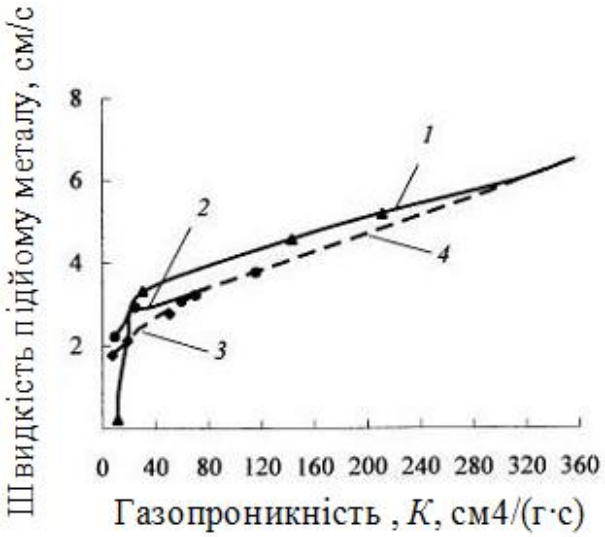


Рис. 2. Залежність швидкості підйому металу в порожнині форми від її газопроникності
Форми моделі з протипригарним покриттям:
1 **– з сталевого дробу ДСК-0,5;** ***2*** **– з кварцового піску марки 1 КОБ,**
3 **– з рідкоскляної формувальної суміші;** ***4*** **– форма моделі без покриття з ДСК-05**

На рис. 4 наведені експериментальні (*1* , *2*) і розрахункові (*1а* , *2а*) за рівнянням (14) значення кінетики газового тиску $P_ф$ в зазорі δ і розрахункові значення величини зазору δ (*1б* , *2б*) при заливці чавуном (1350 ° С) форми, в якій знаходився зразок з пінополістиролу щільністю 20 кг/м^3 і розміром 250 ^{x}

100 x 40 мм. Сумарна газопроникність форми становила 350 од. (крива *1*) і 130 од. (крива *2*).

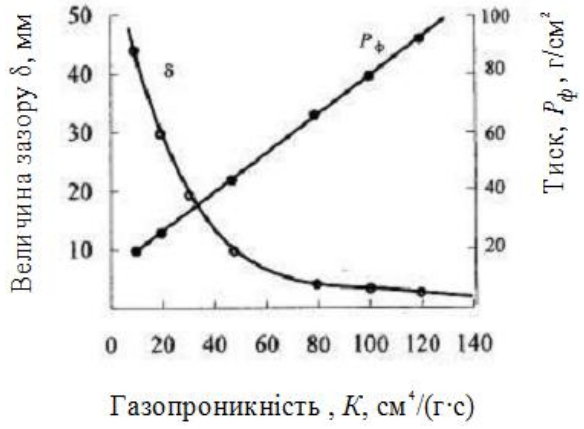


Рис. 3. Залежність тиску $P_ф$ і величини зазору δ від газопроникності форми

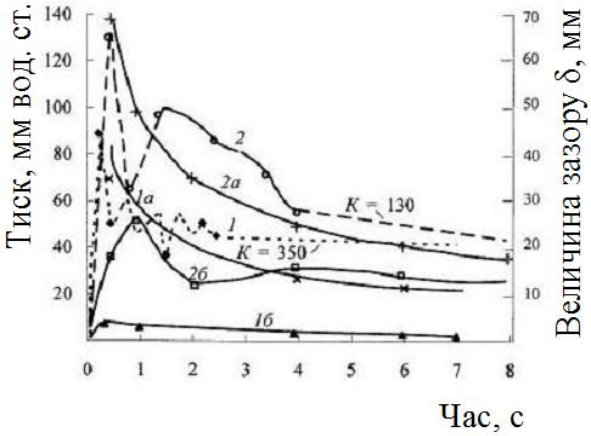


Рис. 4. Кінетика тиску і величини зазору δ

***1,2* – експериментальні тиски $P_ф$, *1а* , *2а* – розрахункові $P_ф$;**

***1б,2б* – розрахункова величина зазору δ**

Висновки і перспективи розвитку напрямку.

Наведені результати експериментальних і розрахункових даних зміни тисків і величини зазору δ показують їх задовільний збіг , що дозволяє рекомендувати рівняння (14)–(22) для застосування їх в інженерних розрахунках в ході проектування технологічного процесу лиття по випалюваних (газифікованих) моделях.

Література

1. Шуляк В. С. Исследование метода литья по газифицируемым моделям из пенополистирола : дис. на соискание науч. степени к.т.н. : 05.16.04 / Шуляк В. С. – М. : МАМИ, 1967. – 242 с.

2. Куликов И. С. Термическая диссоциация соединений / Куликов И. С. – М. : Металлургия, 1966.

3. Шуляк В.С. Литье по газифицируемым моделям / Шуляк В.С. – СПб : НПО «Профессионал», 2007. – 408 с.

Рецензія/Peer review : 25.1.2017 р. Надрукована/Printed :1.2.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Гордеєв А.І.

УДК 677.055

О.В. ЧАБАН, Б.Ф. ПІПА
Київський національний університет технологій та дизайну

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРИСТРОЮ ЗНИЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ ПРИВОДА РУКАВИЧНОГО АВТОМАТУ

В результаті виконаних досліджень розроблено експериментальну установку та проведено експериментальні дослідження впливу пристрою зниження динамічних навантажень з дротяною спіральною пружиною кручення на динамічні навантаження, що виникають під час пуску рукавичного автомату ПА-8-33. Встановлено, що використання пристрою зниження динамічних навантажень з дротяною спіральною пружиною кручення в приводі рукавичного автомату ПА-8-33 дозволяє знизити пускові динамічні навантаження привода майже в 2 рази, що позитивно впливає як на підвищення надійності і довговічності роботи автомата, так і на підвищення якості рукавичних виробів. Експериментальні дослідження підтвердили правомірність припущень, прийнятих при розробці математичних моделей динаміки рукавичних автоматів. Результати досліджень можуть бути використані в ході розробки нових моделей рукавичних автоматів.

Ключові слова: рукавичний автомат, привід рукавичного автомата, експериментальні дослідження динаміки рукавичних автоматів, динамічні навантаження привода рукавичного автомату, пристрій зниження динамічних навантажень.

A.V. CHABAN, B.F. PIPA
Kyiv National University of Technologies and Design

EXPERIMENTAL STUDIES OF THE EFFECT OF THE REDUCE DEVICE OF DYNAMIC LOADS ON THE DYNAMIC FORCES OF DRIVING GLOVE MACHINE

As a result of the research developed experimental setup and experimental studies of the effect of reducing the dynamic loads device with a wire spiral torsion spring on the dynamic loads that occur during start-up glove machine PA-8-33. It was found that the use of reduction of dynamic loads the device with a wire spiral torsion spring in the drive-PA 8-33 glove machine reduces inrush dynamic forces driving almost 2 times that positively influences both to improve the reliability and durability of the machine, and to improve the quality glove products. Experimental studies have confirmed the validity of the assumptions made in the development of mathematical models of the dynamics of glove machines. The research results can be used to develop new models of glove machines.

Keywords: glove machine, glove machine drive, the experimental study of the dynamics of glove machines, dynamic forces driving glove machine, the device reduce the dynamic loads.

Особливістю обладнання легкої промисловості є значні динамічні навантаження, що виникають в період несталих режимів роботи [1–3] і є однією з основних причин зниження надійності та довговічності його роботи. Тому в ході проектування в'язальних машин та автоматів слід приділяти увагу зниженню динамічних навантажень в приводі. Вирішення цієї проблеми без використання пристроїв зниження динамічних навантажень (ПЗДН) та експериментальних досліджень перевірки ефективності їх роботи неможливе.

Об'єкт та методи дослідження

Об'єктом досліджень обрано експериментальні дослідження впливу пристрою зниження динамічних навантажень з дротяною спіральною пружиною кручення на динамічні навантаження привода рукавичного автомату. Під час розв'язання поставлених задач були використані сучасні методи досліджень, що базуються на теорії динамічних процесів в механічних системах та статистичних методах обробки результатів експериментальних досліджень.

Постановка завдання

Завданням роботи є експериментальні дослідження впливу ПЗДН з дротяною спіральною пружиною кручення на динамічні навантаження, що виникають в приводі рукавичного автомату ПА-8-33 під час пуску.

Результати та їх обговорення

З метою зниження динамічних навантажень в приводі рукавичного автомату автори пропонують [4] ПЗДН з дротяною спіральною пружиною кручення. Для оцінки ефективності використання такого пристрою в приводі рукавичного автомату необхідна експериментальна перевірка його роботи. З цією метою авторами розроблена спеціальна установка та вибрана сучасна апаратура.

В якості експериментальної установки був використаний рукавичний автомат ПА-8-33, встановлений на кафедрі прикладної механіки та машин Київського національного університету технологій та дизайну.

Для проведення експериментальних досліджень

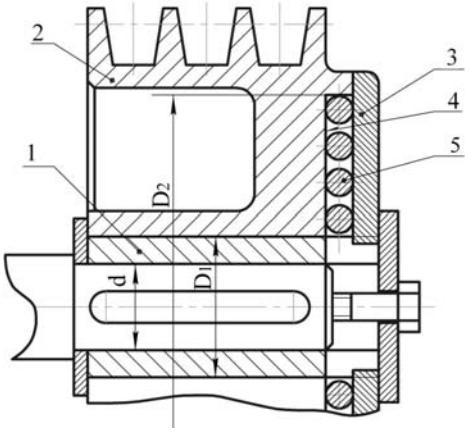


Рис. 1. Схема ПЗДН з дротяною спіральною пружиною кручення:
1 – втулка; 2 – шків; 3 – шайба;
4 – опорна поверхня; 5 – пружина

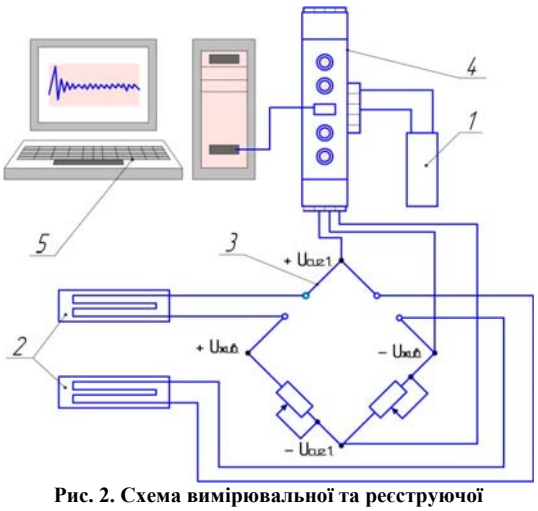


Рис. 2. Схема вимірювальної та реєструючої апаратури експериментальної установки

привід рукавичного автомату був модернізований – додатково обладнаний ПЗДН з дротяною спіральною пружиною кручення (рис. 1). Обладнання приводу круглов'язальної машини ПЗДН дозволяє здійснювати пуск машини при попередньо напружених в'язях привода та обмеженому пусковому моменті електродвигуна, що позитивно впливає на зниження динамічних навантажень [1, 3].

Запропонований ПЗДН було встановлено на валу електродвигуна привода рукавичного автомату. Конструкція ПЗДН, вибір його параметрів та принцип роботи детально розглянуті в публікації авторів [5].

Згідно з розрахунками авторів [5] робочими параметрами ПЗДН було вибрано: внутрішній діаметр пружини $D_1 = 40$ мм; зовнішній діаметр пружини $D_2 = 120$ мм; діаметр дроту, з якого виготовлена пружина $d = 3$ мм; необхідна робоча довжина дроту $L = 1684$ мм; кількість витків пружини $i = 8$; жорсткість пружини $C = 0{,}508$ Нм/рад.

Вимір динамічних навантажень, що виникають в приводі круглов'язальної машини, виконувався за допомогою спеціального пристрою, що містить натяжний ролик, встановлений з можливістю взаємодії з ведучою віткою пасової передачі привода. Пристрій забезпечує одержання результатів вимірів динамічних навантажень без використання рухомих контактів в зоні взаємодії тензодатчиків з вимірювальною апаратурою, що дає можливість підвищити точність вимірів.

Вимірювання досліджуваних параметрів проводилось за допомогою перетворюючої та реєструючої апаратури (рис. 2).

В якості перетворювачів деформації в електричний сигнал, використовувались дротяні тензодатчики 2 з базою 20 мм КФ 5 П1-20-200А, підключені до мостової вимірювальної схеми 3, що забезпечує максимальну чутливість та лінійність вихідних параметрів. Сигнал з датчиків 2 поступає на вимірювальну плату WAD-AIK-BUS 4 через екранований дріт, де сигнал підсилюється, перетворюється в цифрову форму та через USB інтерфейс надходить на обчислювальну мережу (персональний комп'ютер) 5, де відбувається збір показань датчиків та остаточна обробка отриманих значень. Вимірювальна плату WAD-AIK-BUS 4 підключена до джерела живлення 1.

При виконанні експериментальних досліджень були прийняті наступні умови:

- при проведенні досліджень динамічних навантажень привода як існуючого рукавичного автомату ПА-8-33, так і модернізованого (установка в приводі ПЗДН) згідно з рекомендаціями [6, 7] заплановано виконати по 20 дослідів;
- у всіх дослідах режим роботи рукавичного автомату залишався однаковим;
- прийнята вірогідність результатів експерименту $\alpha = 0{,}95$.

Для кількісної оцінки діючих навантажень, що виникають в приводі рукавичного автомату тензодатчики тарувалися. За результатами тарування датчиків визначено масштаб запису навантажень (тиску паса на натяжний ролик), що виникають в пасовій передачі привода: $\mu = 125$ Н/мВ.

Приклади осцилограм динамічних навантажень, що виникають при пуску рукавичного автомату ПА-8-33, показані на рис. 3, 4.

Результати експериментальних досліджень динамічних навантажень привода рукавичного автомату приведені в табл. 1, 2.

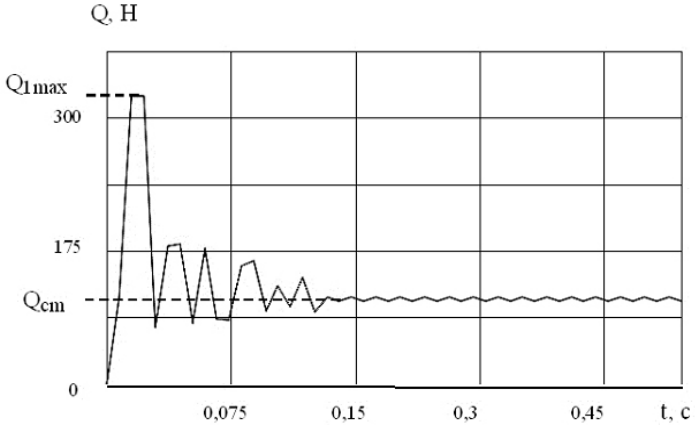


Рис. 3. Осцилограма динамічних навантажень привода рукавичного автомату ПА-8-33 при пуску без ПЗДН

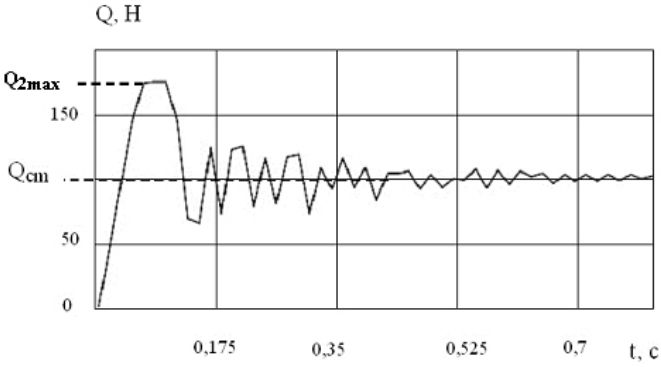


Рис. 4. Осцилограма динамічних навантажень привода рукавичного автомату ПА-8-33 при пуску з ПЗДН з дротяною спіральною пружиною кручення

Таблиця 1

Результати експериментальних досліджень динамічних навантажень привода рукавичного автомату ПА-8-33 без ПЗДН

Максимальне динамічне навантаження приводу $Q_{1i\,max}$, Н	Кількість повторень результатів n_i	$n_i Q_{1i\,max}$	Похибка окремих вимірів $\Delta Q_{1i\,max}$	$n_i (Q_{1i\,max})^2$
335,2	1	335,2	13,26	175,83
336,4	2	672,8	12,06	290,88
338,2	2	676,4	10,6	224,72
339,6	2	679,2	8,86	157,0
340,8	1	340,8	7,66	58,67
345,6	2	691,2	2,86	16,36
350,0	1	350,0	-1,54	2,37
353,2	2	706,4	-4,74	44,93
357,2	3	1071,6	-8,74	229,16
359,1	2	718,2	-10,64	226,42
362,3	1	362,3	-13,84	191,54
365,1	1	365,1	-16,64	276,89
368,3	$n = 20$	$\sum 6969{,}2$		$\sum 1894{,}77$

Таблиця 2

Результати експериментальних досліджень динамічних навантажень привода рукавичного автомату ПА-8-33 з ПЗДН

Максимальне динамічне навантаження приводу $Q_{2i\,max}$, Н	Кількість повторень результатів n_i	$n_i Q_{2i\,max}$	Похибка окремих вимірів $\Delta Q_{2i\,max}$	$n_i (Q_{2i\,max})^2$
169,1	1	169,1	11,9	141,61
171,4	1	171,4	9,6	92,16
173,1	2	346,2	7,9	124,82
175,2	1	175,2	5,8	33,64
176,3	2	352,6	4,7	44,18
177,6	1	177,6	3,4	11,56
178,5	2	357,0	2,5	12,5
180,2	1	180,2	0,8	0,64
183,4	1	183,4	-2,4	5,76
184,1	2	368,2	-3,1	19,22
186,0	1	186,0	-5,0	25,0
188,3	2	376,2	-7,3	106,58
190,5	1	190,5	-9,5	90,25
193,2	2	386,4	-12,2	297,68
	$n = 20$	$\sum 3620$		$\sum 1005{,}6$

В результаті обробки даних експерименту [6, 7] були одержані наступні результати:

$$Q_{1\,max} = \overline{Q}_{1\,max} \pm \Delta Q_{1\,max} = (348{,}46 \pm 6{,}51)\,\text{Н}; \quad (1)$$

$$Q_{2\,max} = \overline{Q}_{2\,max} \pm \Delta Q_{2\,max} = (181 \pm 5{,}98)\,\text{Н}, \quad (2)$$

де $Q_{1\,max}$; $Q_{2\,max}$ – максимальне динамічне навантаження приводу рукавичного автомату в період пуску без ПЗДН та з ПЗДН відповідно;

$\overline{Q}_{1\,max}$; $\overline{Q}_{2\,max}$ – середня величина максимального динамічного навантаження приводу рукавичного автомату в період пуску без ПЗДН та з ПЗДН відповідно;

$\Delta Q_{1\,max}$; $\Delta Q_{2\,max}$ – границі довірчого інтервалу динамічних навантажень приводу рукавичного автомату в період пуску без ПЗДН та з ПЗДН відповідно.

Ефективність використання ПЗДН з дротяною спіральною пружиною кручення в приводі рукавичного автомату ПА-8-33 оцінювалась коефіцієнтом впливу ПЗДН на зниження динамічних навантажень n_∂ (коефіцієнтом динамічності):

$$n_{\partial} = \frac{\overline{Q}_{1max}}{\overline{Q}_{2max}} = \frac{348{,}46}{181} = 1{,}93 . \quad (3)$$

Як видно із результатів досліджень, використання ПЗДН з дротяною спіральною пружиною кручення в приводі рукавичного автомата ПА-8-33 дозволяє знизити пускові динамічні навантаження майже в 2 рази, що позитивно впливає як на підвищення надійності та довговічності роботи рукавичного автомата, так і на підвищення якості рукавичних виробів.

Виконані експериментальні дослідження дозволяють також оцінити правомірність припущень, прийнятих при розробці математичних моделей динаміки рукавичних автоматів [3].

Так, як показують розрахунки [3], коефіцієнт динамічних навантажень клинопасової передачі привода рукавичного автомата ПА-8-33 становить $K_{(12)1} = 3{,}32$. При наявності ПЗДН – $K_{(12)2} = 1{,}8$.

При цьому розрахунковий коефіцієнт динамічності n'_{∂} привода становить:

$$n'_{\partial} = \frac{K_{(12)1}}{K_{(12)2}} = \frac{3{,}32}{1{,}8} = 1{,}84 . \quad (4)$$

Оскільки коефіцієнт динамічності n_{∂} привода рукавичного автомата знайдений експериментальним шляхом $n_{\partial} = 1{,}93$, розбіжність результатів буде:

$$\Delta n_{\partial} = \frac{n_{\partial} - n'_{\partial}}{n_{\partial}} \cdot 100\% = \frac{1{,}93 - 1{,}84}{1{,}93} \cdot 100\% = 4{,}7\% , \quad (5)$$

що свідчить про допустимість прийнятих припущень при розробці математичної моделі динаміки рукавичного автомата ПА-8-33.

Висновки

Виконані дослідження показують наступне:

- використання ПЗДН з дротяною спіральною пружиною кручення в приводі рукавичного автомату ПА-8-33 дозволяє знизити пускові динамічні навантаження привода майже в 2 рази, що позитивно впливає як на підвищення довговічності роботи рукавичного автомата, так і на підвищення якості рукавичних виробів;
- експериментальні дослідження дозволяють оцінити правомірність припущень, прийнятих при розробці математичних моделей динаміки рукавичних автоматі – розбіжність результатів аналітичних розрахунків динамічних навантажень привода рукавичного автомату ПА-8-33 в порівнянні з результатами експерименту не перевищує 5%.

Література

1. Піпа Б.Ф. Динаміка круглов'язальних машин / Б.Ф. Піпа, О.М. Хомяк, Г.І. Павленко. – К. : КНУТД, 2005. – 294 с.

2. Піпа Б.Ф. Приводи в'язальних машин і автоматів з пристроями зниження динамічних навантажень (наукові основи і інженерні методи проектування) / Б.Ф. Піпа, О.В. Чабан, С.В. Музичишин. – К. : КНУТД, 2015. – 280 с.

3. Чабан В.В. Приводи в'язальних машин (нові розробки та елементи розрахунків) / В.В. Чабан, Б.Ф. Піпа, О.В. Чабан. – К. : КНУТД, 2016. – 452 с.

4. Пат. України на корисну модель № 98328, МПК: D04 B 15/16, D04 B 15/96. Привід рукавичного автомата / Б.Ф. Піпа, С.В. Музичишин, О.В. Чабан. – опубл. 27.04.2015, Бюл. № 8, 3 с.

5. Музичишин С.В. Вибір параметрів пристрою зниження динамічних навантажень з дротяною спіральною пружиною / С.В. Музичишин, О.В. Чабан, Б.Ф. Піпа // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2015. – № 2. – С. 7–10.

6. Румшиский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента / Румшиский Л.З. – М. : Наука, 1971. – 192 с.

7. Касандрова О.Н. Обработка результатов наблюдений / О.Н. Касандрова, В.В. Лебедев. – М. : Наука, 1970. – 104 с.

Рецензія/Peer review : 10.1.2017 р. Надрукована/Printed :1.2.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Місяць В.П.

УДК 621.787.6

В.В. СТРЕЛЬБИЦКИЙ
Одесский национальный политехнический университет

ВЛИЯНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАБОЧЕЙ СРЕДЫ НА ФОРМИРОВАНИЕ ШЕРОХОВАТОСТИ ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ВИБРОУДАРНОЙ ОБРАБОТКЕ

Изложены результаты экспериментальных исследований по изучению влияния геометрических размеров стальных шариков на шероховатость поверхностей деталей при обработке в вибрирующем контейнере.

Установлено, что шероховатость поверхности детали зависит от диаметра шарика и продолжительности обработки, с увеличением времени обработки и уменьшением диаметра шара шероховатость поверхности снижается.

Ключевые слова: шероховатость, диаметр шара, воброобработка.

V.V. STRELBITSKIY
Odessa national polytechnic university, Odessa

IINFLUENCE OF GEOMETRICAL DESCRIPTIONS OF WORKING ENVIRONMENT ON FORMING OF ROUGHNESS OF SURFACE OF DETAILS AT VIBRATORY FINISHING

The results of experimental researches are expounded on the study of influence of geometrical sizes of steel marbles on the roughness of surfaces of details at treatment in a vibrating container.

Research of roughness of surface of Ra conducted on flat standards from the aluminium of Д16.

The dependence of roughness of Ra got as a result of experiments on the diameter of ball and time of treatment is nonlinear.

Duration of vibrotreatment is a basic factor, qualificatory the samples depending on vibratory finishing duration, at the reasonable choice of sizes of ball.

With the increase of duration the vibratory finishing falls the roughness to the certain limit.

The positive change of quality parameters of roughness of surface after application of vibratory finishing to creation of new of microrelief of surface of detail, that can favourably affect on operating descriptions of detail.

Keywords: roughness, diameter of ball, vibratory finishing.

Постановка проблемы

В мировой практике современного машиностроения все большее внимание уделяется развитию и совершенствованию методов обработки со съемом незначительных слоев металла и создание на поверхности необходимой шероховатости [1-9]. Это можно объяснить постоянным совершенствованием методов получения заготовок из новых конструкционных материалов, с последующим уменьшением припусков на механическую обработку, повышением требований к качеству обработанных поверхностей.

Благодаря широким технологическим возможностям на финишных операциях получили широкое применение объемные методы обработки гранулированными рабочими средами.

Следует отметить, что условия ее применения при разработке технологических процессов обработки деталей в каждом конкретном случае требуют проведения дополнительных исследований [10].

Таким образом, проведение исследований по разработке и внедрению вибрационных технологий упрочнения деталей является важной задачей.

Анализ последних публикаций

Проведенный анализ публикаций [1-9] показал, что в машиностроении используется более тридцати методов поверхностного пластического деформирования. Для конкретных деталей подбирают тот или иной технологический процесс, в наибольшей мере удовлетворяющий требованию их характеристик с учетом экономической целесообразности, условий труда [11-16].

Целью исследования является изучение влияния геометрических параметров среды на качество поверхности деталей.

Изложение основного материала

Исследование шероховатости поверхности Ra проводились на плоских образцах (100х150х2 мм) из сплава алюминия Д16 (на фото не показаны), которые погружались в контейнер 1 и крепились неподвижно с помощью подвесов 3 (рис.1).

Контейнер загружают стальными полированными шариками 2 (диаметром 4, 5, 6 или 8 мм) одного диаметра (рис.1) до 75% его объема.

Далее, камера, установленная на подвесах 4, приводилась в колебательное движение с амплитудой 4 мм. и частотой 21 Гц.

До загрузки в камеру измеряли шероховатость поверхности, после установки в бункер они подвергались виброобработке в течение времени 30, 60, 90, 120, 15, 180, 210 и 240 мин., по три образца каждого вида.

После обработки на поверхности образцов измеряли шероховатость, с помощью профилометра Surtronic 10 Surface Tester, в 3…5 различных местах, результаты усредняли.

Полученные зависимости шероховатости Ra поверхности детали из алюминия Д16 от диаметра шарика и времени обработки t представлены на рис.2.

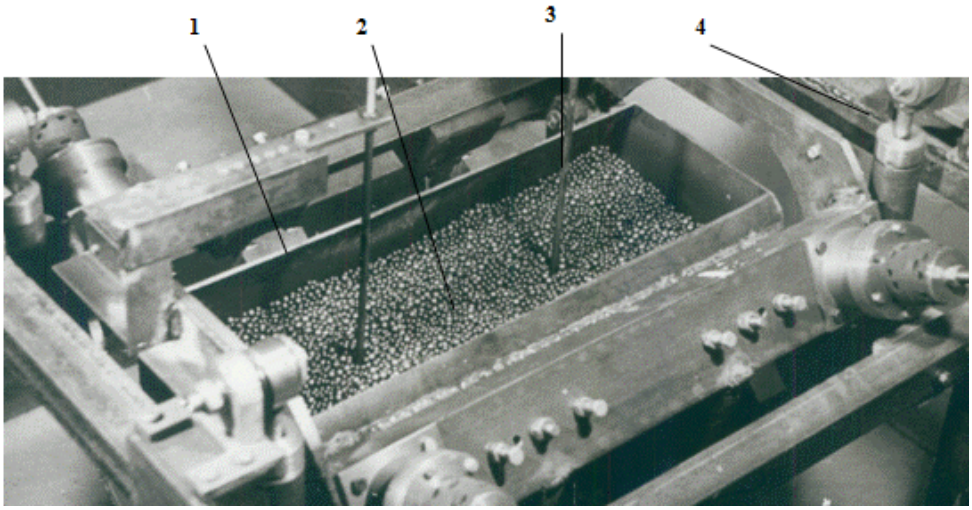


Рис.1. Общая схема экспериментальной установки:
1- контейнер; 2- полированные шары; 3- подвес детали; 4 – подвес бункера.

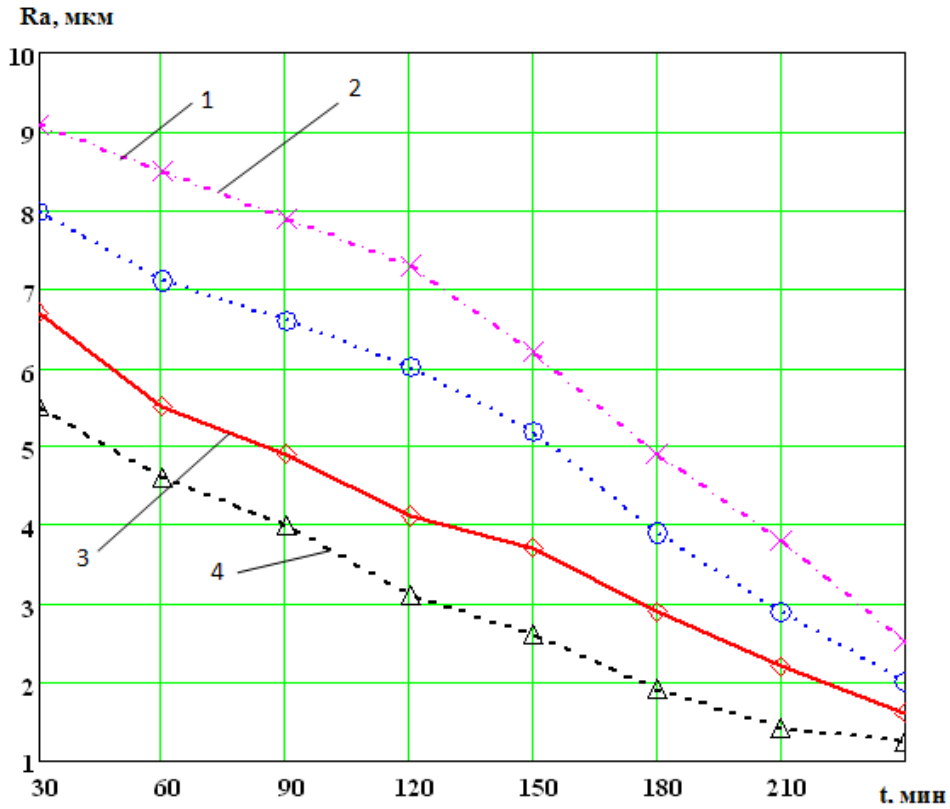


Рис. 2. Зависимость шероховатости Ra поверхности детали из алюминия Д16 от диаметра шарика: 1-8 мм; 2- 6 мм; 3 – 5 мм; 4- 4 мм.

Анализ полученных результатов показывает, что:

1) полученная в результате экспериментов зависимость (рис.2) шероховатости Ra от диаметра шара и времени обработки является нелинейной.

2) с увеличением времени обработки шероховатость обработанной поверхности спадает (рис. 2), наибольшее изменение исследуемого параметра наблюдается у образцов, обработанных шариками диаметром 4 мм., что объясняется более интенсивным характером взаимодействия с рабочей средой;

3) наиболее значительное снижение шероховатости наблюдалось в образцах после 90-120 мин. обработки;

4) 4) при увеличении времени виброобработки до 240 мин шероховатость достигает своего минимума - 1,25 мкм и 2,5мкм, для шаров диаметром 4 и 8 мм соответственно.

На некоторых образцах обработанных шариками 8 мм наблюдались микротрещины и отдельные вмятины, что может свидетельствовать о высоких внутренних напряжениях возникших после обработки или низком качестве изготовления образцов.

Положительное изменение качественных параметров шероховатости поверхности после применения вибрационной обработки свидетельствует о создании нового микрорельефа поверхности детали, что благоприятно сказывается на эксплуатационных характеристиках детали.

Выводы

Продолжительность виброобработки является основным фактором, определяющим качество обработки, при обоснованном выборе размеров шариков.

С увеличением продолжительности обработки и уменьшением диаметра шарика значение шероховатости спадает до определенного предела.

Литература

1. Бабичев А.П. Применение вибрационных технологий для повышения качества поверхности и эксплуатационных свойств деталей / А.П. Бабичев, П.Д. Мотренкои др. - Ростов на Д: Издательский центр ДГТУ, 2006. – 215 с.

2. .Бабичев А.П. Основы вибрационной технологии / А.П. Бабичев. – Ростов на Д: Издательский центр ДГТУ, 2003. – 191с

3. .Каледин Б.А. Повышение долговечности деталей поверхностным деформированием / Б.А. Каледін, П.А. Чепа. – Минск: Наука и техника, 1974. – 230 с.

4. Копылов Ю.Р. Виброударное упрочнение: Монография / Ю.Р. Копылов – Воронеж: Воронежский институт МВД России, 1999. – 386 с.

5. Смелянский В.М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием / В.М Смелянский. - М.: Машиностроение, 2002. - 299 с.

6. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняюшая обработка поверхностным пластическим деформированием / Д.Д. Папшев - М.: Машиностроение, 1978. - 152 с.

7. Рыковский Б.П. Местное упрочнение деталей поверхностным наклепом / Б.П. Рыковский, В.А. Смирнов, Г.М. Щетинин - М. : Машиностроение, 1985. - 152 с.

8. Шнейдер, Ю. Г. Технология финишной обработки давлением: справ. / Ю. Г. Шнейдер. – СПб. : Политехника, 1998. – 416 с.

9. Одинцов, Л. Г. Упрочнение и отделка деталей поверхностным пластическим деформированием [Текст] : Справочник / Л. Г. Одинцов. – М. : Машиностроение, 1987. – 328 с.

10. Стрельбицкий В.В. Исследование влияния геометрических параметров среды на шероховатость поверхности при виброобработке / В.В. Стрельбицкий // Матеріали XV міжнародної науково-практичної конференції “Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах” (ВОТТП-15-2015): сб. наук. пр. – Одеса, 10-14 вересня 2015 р. – С.35.

11. Стрельбицкий В.В. Некоторые результаты исследования демпфирующей способности составных балок / В.В Стрельбицкий // Вісник Хмельницького національного університету, серія Технічні науки. – 2013 – № 6 – С.50-53.

12. Стрельбицкий В.В. Экспериментальное исследование влияния амплитуды колебаний на износ резиновых элементов гидравлических опор вибрационного оборудования / В.В. Стрельбицкий // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015 – № 3 – С.34-37.

13. Стрельбицкий В.В. Влияние частоты колебаний вибрационного оборудования на износ резиновых элементов гидравлических опор / В.В. Стрельбицкий // Вісник Хмельницького національного університету, серія Технічні науки. – 2011 – № 2 – С.45-48.

14. Стрельбицкий В.В. Некоторые результаты исследования демпфирующей способности составных рам / В.В. Стрельбицкий // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процессах. – 2014 – № 3 – С.170-172.

15. Стрельбицкий В.В. Результаты исследования демпфирующей способности слоистых балок / В.В. Стрельбицкий // Вісник Хмельницького національного університету, серія Технічні науки. – 2013. – № 1. –С. 41-43.

16. Стрельбицкий В.В. Экспериментальное исследование демпфирующей способности рамы виброупрочняющей установки / В.В. Стрельбицкий, С.Л. Горященко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процессах. – 2016. - №1. – С. 27-30.

Рецензія/Peer review : 17.1.2017 р. Надрукована/Printed :7.2.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Троцишин І.В.

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

UDK 539.371

T.I. KULIK, B.M. ZLOTENKO
Kyiv National University of Technology and Design

STRESS AND DEFORMATION IN ROD AND TUBE POLYMERIC SHOE PARTS AT TORSION AND BENDING

The article deals with the mathematical modelling of torsion and bending of rod and tubular bottom parts of athletic shoes during operation. Modern athletic shoe soles contain rod and tubular parts which increase sportsperson's performance by playing active role in transferring energy to the direction of locomotion. As the rod or tubular elements are parts of the sole and serve to absorb dynamic loads their design should be based on the relationships between stresses deformations which has not been established yet. For successful design of sport shoe soles it is needed to determine the dependencies of stresses and deformation that occur in the rod and tubular elements on the values of torsional and bending loads. It has been established that during operation upon the tubular elements act two opposing torques applied in parallel to its axis planes, which leads to their torsion. Rod elements whose axes are perpendicular to the surface of the sole bend under the action of the force which occurs as a result of interaction with the ground when the athlete pushes back to accelerate. The difficulty of mathematical modelling lies in the fact that in the shoe industry different polymer materials are widely used: rubber, polyurethane, polyethylene and polystyrene. And all of these materials are characterized by non-linear relationship between the stress and strain arising under the applied load, which complicates the calculations. So the study was undertaken to determine the dependencies of stresses and deformation that occur in the rod and tubular elements on the values of torsional and bending loads. As a result of the study the analytical expressions are obtained that determine dependencies of the stress and strain on the values of operating loads. The research results can be used to design the soles of sports shoes and other plastic parts, working at torsion and bending.

Keywords: Sports shoes, sole, torsion, bending, polymer beam.

Т.І. КУЛІК, Б.М. ЗЛОТЕНКО
Київський національний університет технологій та дизайну

НАПРУЖЕННЯ ТА ДЕФОРМАЦІЇ У СТРИЖНЕВИХ ТА ТРУБЧАСТИХ ПОЛІМЕРНИХ ДЕТАЛЯХ ВЗУТТЯ ПІД ЧАС КРУЧЕННЯ ТА ЗГИНУ

У статті представлені результати математичного моделювання кручення та згину стрижневих і трубчастих деталей низу спортивного взуття в процесі експлуатації. Отримані аналітичні вирази, які встановлюють залежності напружень та деформацій від величини експлуатаційних навантажень. Результати досліджень можуть бути використані для проектування підошов спортивного взуття та інших полімерних деталей, які працюють на кручення та згин.

Ключові слова: спортивне взуття, підошва, кручення, згин, полімерна балка.

Introduction

Sports footwear has constantly changed, with new designs and materials being developed by sporting goods manufacturers to meet players' demands. It has been showed that in sprinting performance improvements were possible by changing the mechanical properties of the shoe [1]. Bending stiffness has been demonstrated as an important performance parameter in running and football footwear [2]. In football players' movements tend to be low intensity actions, such as walking, with short bursts of high intensity movements types such as sprinting [3]. The effect of the different designs and the materials used in ski-boot construction on the final performances and the prevention of injuries is emphasized in [4].

Analysis of published data and problem definition

The modern day boots consist of two major components; the outsole and the upper, designed to protect the foot and enhance performance [5]. In sports footwear outsoles production the principle of directional energy transfer is used where energy applied to the sole by the athlete is returned as force acting in a direction other than the direction in which energy was put into the system [6]. The energy transfer was realized by reciprocal rotation of the tubes in the process of running [7]. Directional energy transfer in running shoes increases athletic performance as running speed by transferring energy to the direction of locomotion. The concept was applied to the Adidas Bounce style shoe. The shoe uses tubes incorporated into the shoe sole. Directional energy transfer was optimized by rotation of the tubes of Adidas shoes and the overall stiffness changed by altering the tube length [8]. But any theoretical prediction of the tubes' strength and deformation has not been made.

The purpose and objectives of the research

As the rod or tubular elements are parts of the sole and serve to absorb dynamic loads their design should be based on the relationships between stresses deformations which are not established yet.

The purpose of this research is to develop a mathematical model to predict the behaviour of the footwear sole elements under loads that occur during walking and running.

When upon the element act two opposing torques applied in parallel to its axis planes, it is subjected to torsion. Rod elements whose axes are perpendicular to the surface of the foot, they bend under the action of the force which occurs as a result of interaction with the ground.

Tasks of the study are to determine the dependencies of stresses and deformation that occur in the rod and tubular elements on the values of torsional and bending loads.

Materials for soles and methods of describing their mechanical properties

In the shoe industry different polymer materials are widely used: rubber, polyurethane, polyethylene and polystyrene. All of these materials are characterized by non-linear relationship between the stress and strain arising under the applied load that can be represented as a power law.

In the case of torsion, this dependence has the form:

$$\tau^m = \gamma G, \tag{1}$$

where τ – shear stress;

m – exponent which varies from 0.6 to 1 (when $m=1$ the body has the elastic properties);

γ – relative shear deformation;

G – shear modulus.

The analogous relationship between the bending normal stresses and strains is expressed as:

$$\sigma^m = E\varepsilon, \tag{2}$$

where σ – normal tension in cross-section;

E – modulus of elasticity of the material sample;

ε – relative elongation of the sample.

Results of analytical research of torsion and bending of rod and tubular elements of polymeric soles

Consider torsion of a polymer beam one end of which is fixed and the other loaded with torque.

Relative shear deformation of the beam is given by [9]:

$$\gamma = \rho\frac{d\varphi}{dx}, \tag{3}$$

where ρ – the radius of an elementary cross-sectional area;

φ – the angle of beam's twist;

x – axial coordinate.

The greatest shear stress is acting on the surface of the beam was obtained as:

$$\tau = \frac{T}{I_{0m}}R^{\frac{1}{m}}. \tag{4}$$

The value I_{0m} for solid beams will be:

$$I_{0m} = \int_A \rho^{\frac{1}{m}+1}dA = \int_0^R \rho^{\frac{1}{m}+1}\rho d\rho = \int_0^R \rho^{\frac{1}{m}+2}d\rho = \frac{1}{\frac{1}{m}+3}\rho^{\frac{1}{m}+3}\Big|_0^R = \frac{1}{\frac{1}{m}+3}R^{\frac{1}{m}+3}. \tag{5}$$

In the case of hollow beams we get:

$$I_{0m} = I_{0m}(R) - I_{0m}(r) = \frac{1}{\frac{1}{m}+3}\left(R^{\frac{1}{m}+3} - r^{\frac{1}{m}+3}\right), \tag{6}$$

where $I_{0m}(R)$ and $I_{0m}(r)$ – the values defined for solid beams with the radii R and r respectively.

The angle of beam's twist will be:

$$\varphi = \frac{\left(\frac{T}{I_{0m}}\right)^m}{G}l. \tag{7}$$

Let us define stress in rod shoe element at bending:

$$\sigma = \frac{Mz^{\frac{1}{m}}}{I_m}, \tag{8}$$

where

$$I_m = \int_A z^{\frac{1}{m}+1}dA = \int_{-h/2}^{h/2} z^{\frac{1}{m}+1}bdz = \frac{b}{\frac{1}{m}+2}\left[z^{\frac{1}{m}+2}\right]\Big|_{-h/2}^{h/2} = \frac{2b}{\frac{1}{m}+2}\left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{1}{m}+2}. \tag{9}$$

For hollow beams we get:

$$I_m = I_m(B,H) - I_m(b,h) = \frac{2}{\frac{1}{m}+2}\left[B\left(\frac{H}{2}\right)^{\frac{1}{m}+2} - b\left(\frac{h}{2}\right)^{\frac{1}{m}+2}\right], \tag{10}$$

where $I_m(B,H)$ and $I_m(b,h)$ – the values defined for solid beams of cross-sections dimensions $B\times H$ and $b\times h$ respectively.

For a beam of round cross-section we have:

$$I_m=\int_A z^{\frac{1}{m}+1}dA=2\int_0^r z^{\frac{1}{m}+1}ydz=2\int_0^r z^{\frac{1}{m}+1}\sqrt{r^2-z^2}dz. \tag{11}$$

Then we get:

$$I_m=-2\int_{r^2}^0 x^{\frac{\frac{1}{m}+1}{2}}x^{\frac{1}{2}}\frac{dx}{2x^{\frac{1}{2}}}=\frac{2}{\frac{1}{m}+3}r^{\frac{1}{m}+3}. \tag{12}$$

For hollow beams we obtain:

$$I_m=I_m(R)-I_m(r)=\frac{2}{\frac{1}{m}+3}\left(R^{\frac{1}{m}+3}-r^{\frac{1}{m}+3}\right), \tag{13}$$

where $I_m(R)$ and $I_m(r)$ – the values defined for solid beams with radii R and r respectively.

Figures 1 and 2 show graphs calculated by the formula (26) taking into account (28).

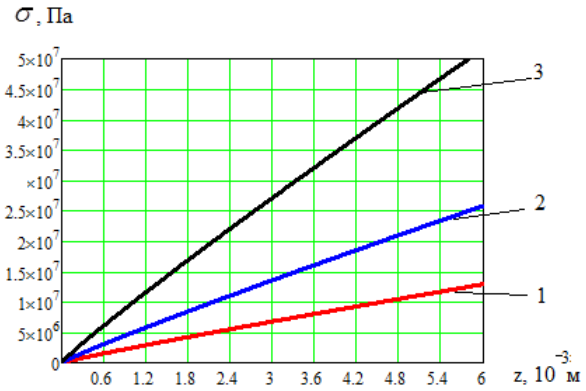


Fig. 1. The dependence of stress σ on the vertical coordinate z for the beam of square cross-section:
1 – $T=0{,}5$ **N·m**; *2* – $T=1$ **N·m**; *3* – $M=1{,}5$ **N·m**

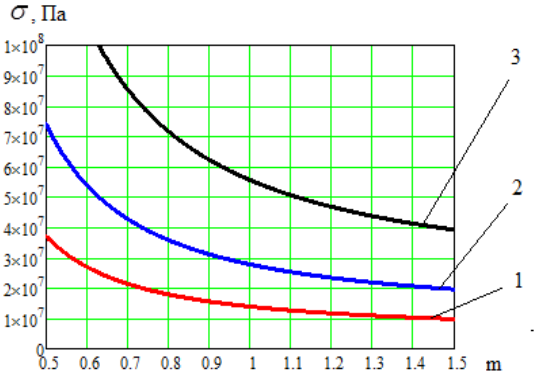


Fig. 2. The dependence of the stresses σ on the exponent m for beams of square cross-section:
1 – $T=0{,}5$ **N·m**; *2* – $T=1$ **N·m**; *3* – $M=1{,}5$ **N·m**

Let us define the parameters of deformation of the cantilever beam under the influence of concentrated efforts applied to its free end.

For the axis of the beam we can get [10]:

$$EI_m\frac{d^2y}{dx^2}=M^m. \tag{14}$$

Taking into account that positive growth of dx corresponds to negative growth of dy, the bending moment can be expressed by the dependence:

$$M=-P(l-x). \tag{15}$$

For the free end of the cantilever beam with concentrated force we have:

$$\theta_{\max}=-\frac{P^m l^{m+1}}{(m+1)EI_m};$$
$$f=y_{\max}=-\frac{P^m l^{2m+1}}{(m+2)EI_m}. \tag{16}$$

Figures 3 and 4 show graphs calculated by the formulae (49) taking into account (28).

Let us consider the deformation of the cantilever beam under a uniformly distributed load. For this case the bending moment can be expressed by the dependence:

$$M=-q\frac{(l-x)^2}{2}. \tag{17}$$

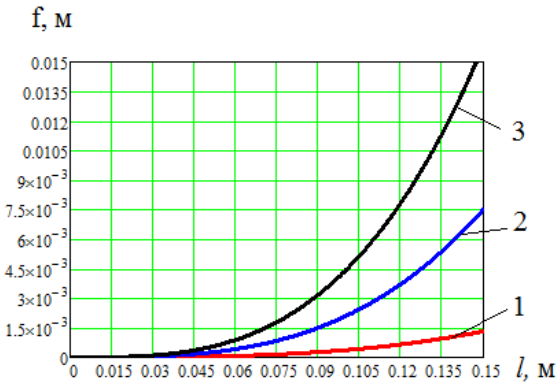


Fig. 3. The dependence of the maximum deflection of the cantilever beam on its length:
1 – $P=1$ N; *2* – $P=5$ N; *3* – $P=10$ N

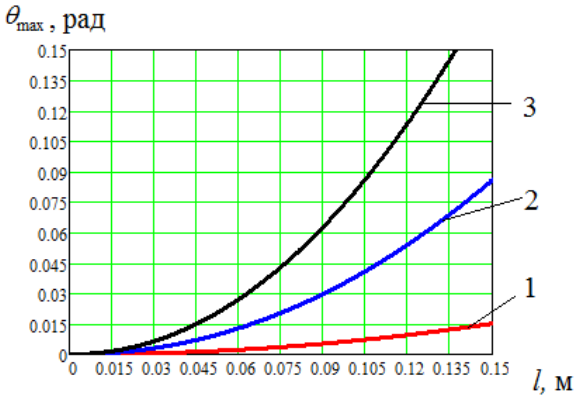


Fig. 4. The dependence of the maximum angle of rotation of the cantilever beam's axis on its length:
1 – $P=1$ N; *2* – $P=5$ N; *3* – $P=10$ N

For the free end of the cantilever beams with distributed load we obtain:

$$\theta_{\max}=-\frac{q^m l^{2m+1}}{2^m(2m+1)EI_m};$$
$$f=y_{\max}=-\frac{q^m l^{2m+2}}{2^m(2m+2)EI_m}. \quad (18)$$

Discussion of research results

As shown in the graph in Figure 2 increase of the exponent m corresponds to decrease of the stress in the surface fibers of the beam. In general, when values of the exponent m accede 1, the value of the shear stress is less than when it is less than 1. The rest of the graphs show that the character of the dependencies of stresses and deformations on the value of loads in a plastic beams is analogous to that in elastic beams.

Conclusions

The mathematical model of the work of rod and tubular elements polymeric the shoe bottom is evolved that establish dependencies of the stresses and deformations on the value of operating loads. Obtained analytical expressions can be used to design the soles of sports shoes and other plastic parts that work at twisting and bending.

References

1. D. Toon, A. Vinet, M. Pain and M. Caine, "A methodology to investigate the relationship between lower-limb dynamics and shoe stiffness using custom-built footwear", Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: Journal of Sports Engineering and Technology, vol. 225, no. 1, 2011 pp. 32–37.

2. S. Fraser, A. Harland, P. Smith and T. Lucas, "A Study of Football Footwear Bending Stiffness", Procedia Engineering, vol. 72, 2014 pp. 315–320.

3. E. Hennig and T. Sterzing, "The influence of soccer shoe design on playing performance: a series of biomechanical studies", Footwear Science, vol. 2, no. 1, 2010 pp. 3–11.

4. M. Colonna, M. Nicotra and M. Moncalero, "Materials, Designs and Standards Used in Ski-Boots for Alpine Skiing", Sports, vol. 1, no. 4, 2013 pp. 78–113.

5. M. Hilgers and M. Walther, "Evolution of Soccer Shoe Design", International Journal of Athletic Therapy and Training, vol. 16, no. 3, 2011 pp. 1–4.

6. F. Fuss, "Function or Fashion? Design of sports shoes and irectional energy return: Introducing a new concept of directional energy transfer", in 4th Asia Pacific congress on Sports Technology The Impact of Technology on Sport III, Melbourne, Australia, 21–23 September 2009 pp. 167–171.

7. M. Dickson and F. Fuss, "Optimization of directional energy transfer in Adidas bounce tubes", Procedia Engineering, vol. 2, no. 2, 2010 pp. 2795–2800.

8. M. Dickson and F. Fuss, "Effect of acceleration on optimization of Adidas Bounce shoes", Procedia Engineering, vol. 13, 2011 pp. 107–112.

9. N. M. Belyaev, Strength of materials, 1st ed. Moscow: Mir Publishers, 1979.

10. S. P. Timoshenko, Strength of materials, 1st ed. New York [u.a.]: Van Nostrand Reinhold, 1948.

Рецензія/Peer review : 9.1.2017 р. Надрукована/Printed :4.2.2017 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Місяць В. П.

УДК 677.11.021

А.В. СУХОВІЙ, Д.Г. КРУГЛИЙ
Херсонський національний технічний університет

ВПЛИВ ВИДІВ ОБРОБКИ НА ВИХІД ТА РОЗПОДІЛ ВОЛОКОН ЛЬОНУ ОЛІЙНОГО ЗА ДОВЖИНОЮ

В статті експериментально досліджено зміну якості волокна льону олійного в стеблах трести після різних видів обробки: механічної та хімічної (за допомогою варіння окислювальним способом). Після механічної обробки визначено вихід волокна (18,2%), що доводить високу цінність соломи льону олійного та доцільність її подальшої промислової переробки. Після різних видів обробок проведено розподіл волокон за довжиною та побудовано штапельні діаграми. На основі отриманих результатів розроблено рекомендації щодо подальшого практичного застосування отриманого волокна.

Ключові слова: стебла трести, солома, волокно льону олійного, обробка.

A.V. SUKHOVII, D.G. KRUGLYJ
Kherson National Technical University

INFLUENCE OF TYPES OF PROCESSING ON A QUANTITY AND DISTRIBUTION ON LENGTH OF FIBERS OF OIL FLAX

In article change of quality of fiber of flax olive in stalks trusts after different types of handling is experimentally researched: machining and chemical handling (by means of pulping by an oxidizing method). After machining the amount of fiber (18,2%) is determined that proves the high value of straw of flax olive and feasibility of its further industrial conversion. After different types of processing distribution of fibers on length is carried out and staple diagrams are made. On the basis of the received results recommendations about further practical use of the received fiber are developed.

Keywords: stalks trusts, straw, fiber of oil flax, processing.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Загальновідомо, що льон олійний – це цінна технічна культура багатостороннього використання. Посівні площі, відведені під льон олійний, у всьому світі зараз сягають 3,5 млн га, причому в Канаді та Індії вони становлять майже 1 млн га. Не є винятком і Україна. Якщо в 2002 році посівні площі цієї культури в Україні складали 9,3 тис. га, то в 2010 році – 60,22 тис. га, тобто кількість посівів збільшилась більше, ніж в 6 разів (рис. 1).

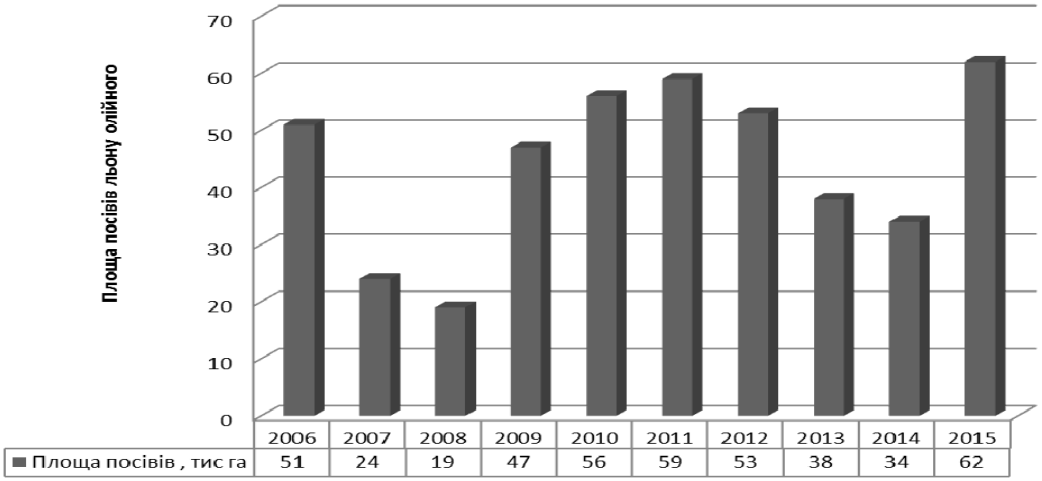


Рис. 1. Динаміка зміни посівних площ льону олійного у 2006–2015 рр. в Україні

Стрімке збільшення посівних площ, зайнятих під цією культурою, пов'язано з високою цінністю насіння льону олійного, в якому міститься до 48 % олії. Насіння цієї технічної культури є сировиною для харчової промисловості, медицини, косметології, лакофарбової промисловості.

Аналіз останніх досліджень чи публікацій, в яких започатковано розв'язання даної проблеми і на які спирається автор. Тим часом, світовий досвід використання соломи льону олійного свідчить про широкий спектр її застосування. Адже стебла льону олійного так само, як і льону-довгунця, містять цінне целюлозне волокно. Та, на превеликий жаль, солома льону олійного в Україні після збирання насіння не використовується. За такої значної кількості соломи льону олійного, щорічно майже 120 тис. тонн спалюється, що наносить велику шкоду навколишньому середовищу. Через це втрачається велика кількість цінної сировини для текстильної та целюлозно-паперової промисловості України – майже 24 тис. тонн волокна та 19,2 тис. тонн целюлози. Також з такої кількості соломи можна отримати 108 тис. тонн костриці для виготовлення біопалива, будівельних, композиційних матеріалів та ін.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена

стаття. Нераціональне використання соломи льону олійного в Україні, перш за все, пов'язано з відсутністю технологій поглибленої механічної обробки соломи та трести льону олійного, які потребують розроблення [1].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Мета роботи полягає у визначенні впливу різних видів обробки на вихід та розподіл волокон льону олійного за довжиною та розроблення рекомендацій щодо його подальшого практичного застосування.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів. Механічну обробку трести льону олійного проводили в лабораторних умовах на кафедрі товарознавства, стандартизації та сертифікації Херсонського національного технічного університету двома способами: на лабораторному м'яльному агрегаті та на станку СМТ. Для досліджень було взято 4 сорти: «Айсберг» (далі – 1), «Орфей» (2), «Південна Ніч» (3) та «Дебют» (4). Після механічної обробки трести льону олійного визначали вміст волокна за ДСТУ 4149:2003 «Треста лляна. Технічні умови» [2]».

Отримані результати свідчать, що в стеблах знаходиться від 17,1 до 20,2 % волокна (таблиця 1). Ці результати вказують на те, що стебла льону олійного являють собою цінну волокнисту сировину, яку недоцільно спалювати на полях.

Таблиця 1

Вміст волокна в тресті льону олійного

Номера зразків трести	Вміст волокна, %										
Номер досліду	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Середнє значення, %
1	15,80	16,08	17,20	19,30	19,20	18,10	17,93	19,20	18,70	17,50	17,10
2	14,40	15,60	14,50	15,60	18,50	15,40	18,50	16,90	16,10	15,20	16,50
3	22,60	19,60	20,20	17,90	19,10	21,60	19,40	18,00	19,70	18,86	19,10
4	21,60	22,60	18,90	15,10	18,40	21,90	21,40	12,70	23,8	23,70	20,20
Середнє значення, %											18,20

На основі отриманих результатів розподілу волокон за довжиною побудовані штапельні діаграми, які наведено на рис. 2, 3.

Аналіз розподілу волокон за довжиною в соломі льону олійного сорту «Південна ніч», який поданий на рисунку 2, показує, що найбільша кількість волокон за довжиною знаходиться в діапазоні від 30 до 70 мм. В цьому проміжку довжин знаходиться від 10 до 18% волокон. З цих даних можна зробити висновок, що волокна льону олійного придатні для застосування в текстильній промисловості.

Аналіз розподілу волокон за довжиною в тресті льону олійного сорту «Південна ніч», після обробки на станку СМТ, який поданий та рисунку 3, показує, що найбільша кількість волокон за довжиною знаходиться в діапазоні від 40 до 80 мм. В цьому проміжку довжин знаходиться від 9 до 18 % волокон. Таким чином, можна зробити висновок, що волокна льону олійного сорту «Південна ніч», після обробки на станку СМТ також придатні для застосування в текстильній промисловості.

На основі отриманих результатів розподілу волокон за довжиною стебел льону олійного сорту «Айсберг», побудовані діаграми, на рис. 4 та рис. 5. Аналіз визначення вмісту волокон в стеблах льону олійного сорту «Айсберг» показує, що в стеблах знаходиться від 15,8 до 19,27% волокна. Ці результати свідчать, що стебла льону олійного являють собою волокнисту сировину, яку можна використовувати в промисловості. Результати розподілу волокон за довжиною свідчать, що коротке волокно довжиною від 10

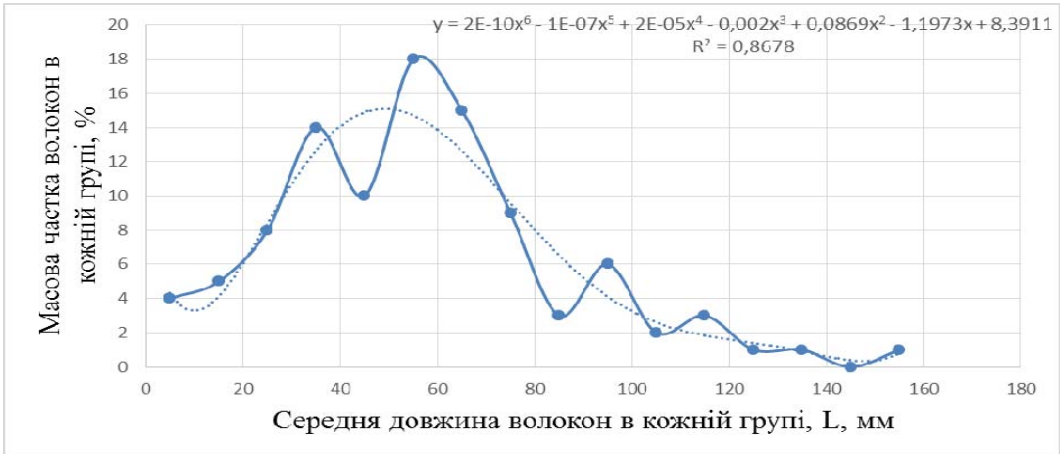


Рис. 2. Діаграма розподілу волокон за довжиною стебел трести льону олійного сорту «Південна ніч» після обробки на лабораторній м'ялці

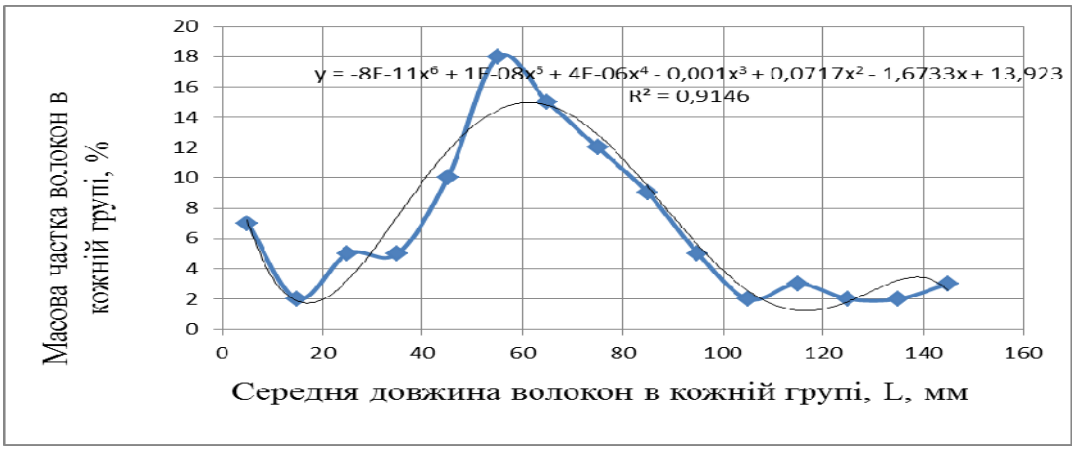


Рис. 3. Діаграма розподілу волокон за довжиною стебел трести льону олійного сорту «Південна ніч» після обробки на станку СМТ

до 30 мм має масову частку вмісту волокна від 4 до 11%. Найбільша частка волокна 13% міститься в довжинній групі 50 мм. Значна доля волокна від 8 до 13 %, заходиться в діапазоні груп 40–100 мм. Найменше значення масової частки вмісту волокна 0,1%, мають групи від 110 до 200 мм.

Рис. 4. Діаграма розподілу волокон за довжиною стебел льону олійного сорту «Айсберг» після механічної обробки на лабораторній м'ялці

Рис. 5. Діаграма розподілу волокон за довжиною трести льону олійного сорту "Айсберг" після механічної обробки на станку СМТ

За результатами розподілу волокон за довжиною в стеблах трести льону олійного сорту «Айсберг» після обробки на станку СМТ, коротке волокно довжиною від 10 до 30 мм має масову частку вмісту волокна від 3 до 6%. Найбільша частка волокна 17% міститься в довжинній групі 60 мм. Найбільша доля волокна від 12 до 17 %, знаходиться в діапазоні груп 40–70 мм. В довжинних групах 80–120 мм, міститься масова частка волокна від 3 до 8%.

Із рис. 6 наочно видно, що максимальна кількість волокон має довжину 10–50 мм, тобто ці волокна наближені за довжиною до бавовняного волокна, тоді як їх кількість дорівнює 46%. Таким чином, можна зробити висновок, що у сорті Орфей приблизно 50% волокон, які можливо використовувати в текстильному виробництві замість бавовняних волокон, при цьому не потрібно застосовувати процес котонізації.

Рис. 6. Діаграма розподілу волокон за довжиною в стеблах трести льону олійного сорту «Орфей» після обробки на лабораторній м'ялці

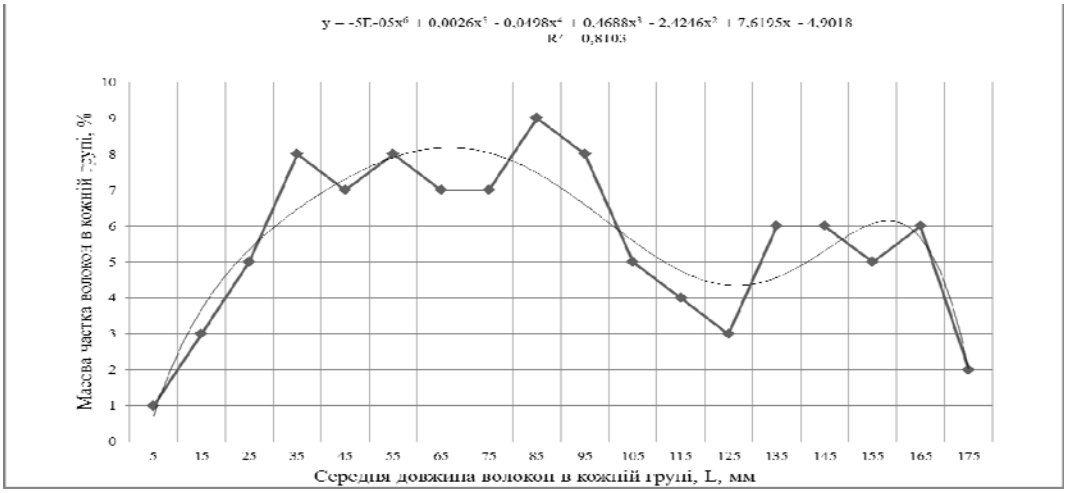


Рис. 7. Діаграма розподілу волокон за довжиною в стеблах трести льону олійного сорту «Орфей» після обробки на верстаті СМТ

На рис. 7 надані дані розподілу волокон за довжиною в групах від 10 мм до 180 мм, які свідчать, що після обробки на СМТ кількість волокон, яка відповідає за довжиною бавовняному волокну, зменшується, тобто не спостерігається чіткого розмежування волокна за довжиною. Під час обробки стебел трести на СМТ, скоріш за все, йде руйнування волокон за довжиною у зв'язку з тим, що волокно льону олійного має незначну міцність. Таким чином, при механічних діях тіпальної частини станку СМТ руйнування волокон за довжиною від 20 до 50 мм складає 46%, та після обробки цієї трести на станку частка волокон, які відповідають довжині бавовняного волокна, складає 28%.

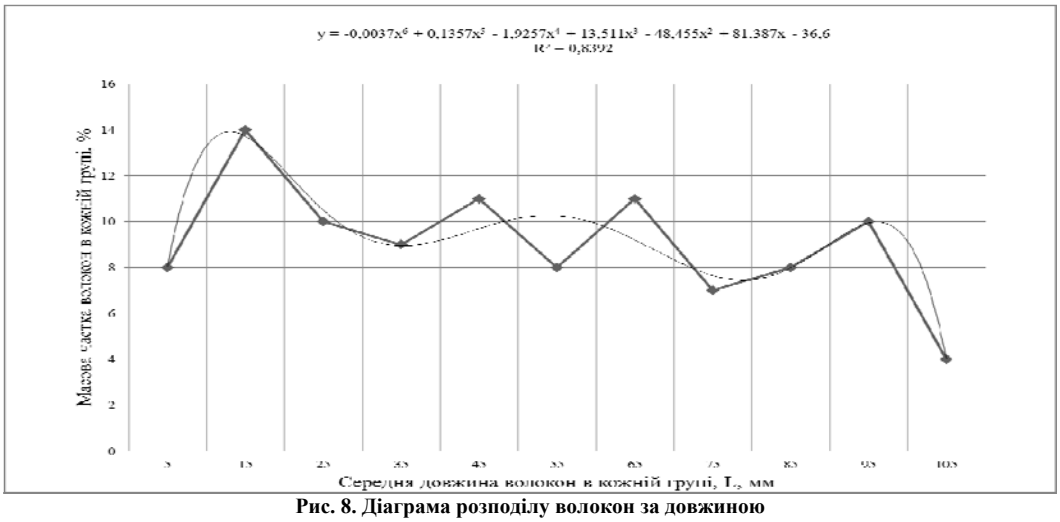


Рис. 8. Діаграма розподілу волокон за довжиною в стеблах трести льону олійного сорту «Орфей» після хімічної обробки

Також була проведена хімічна обробка волокна, одержаного на верстаті СМТ, за допомогою варіння у лабораторному варочному апараті окислювальним способом. Після такої хімічної обробки отримали волокно з максимальною довжиною від 5 до 25 мм (рис. 8), таке волокно не придатне для подальшого використання в текстильній промисловості, проте може бути використано у целюлозо-паперовому виробництві.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямку. За допомогою експериментальних досліджень доведено, що з соломи льону олійного можна отримати майже 20% цінного целюлозовмісного волокна. Встановлено, що стебла льону олійного сорту «Південна ніч» містять приблизно 20 % волокна, з яких до 18% волокна придатне для застосування в текстильній промисловості; 15% коротких волокон – для застосування у целюлозно-паперовій промисловості; 10 % волокон з довжиною > 80 мм, приблизно 10%, які придатні для переробки з вовною. На основі проведених досліджень розподілу волокна за довжиною, можна зробити висновки: 13% волокна містять довжинні групи 10–30 мм, які придатні для виділення целюлози і варіння з неї паперу; значну частину волокна довжиною від 40 до 110 мм, яке має масову частку 84%, раціонально використовувати для виготовлення льняних тканин з додаванням інших волокон і композиційних матеріалів. За результатами розподілу волокон за довжиною в стеблах трести сорту «Орфей» можна сказати, що після обробки на СМТ кількість волокон, яка відповідає за довжиною бавовняному волокну, зменшується з 46% до 28%, тобто відбувається руйнування волокон. Волокно, отримане після хімічної обробки, придатне для використання у целюлозно-паперовому виробництві.

Література

1. Живетин В. В. Масличный лён и его комплексное развитие / В. В. Живетин, Л. Н. Гинзбург. – М. : ЦНИИЛКА, 2000. – 389 с.

2. Треста лляна. Технічні умови : ДСТУ 4149:2003. – [Чинний від 2003-24-02]. – К. : Держспоживстандарт України, 2004. – 14 с. – (Національний стандарт України).

3. Котонізоване льоноволокно. Технічні умови : ТУ.У.05495816.005—2000. – [Чинні від 2000-25-02]. – Старий Самбір, 2000. – 6 с.

4. Котонин из короткого льняного волокна. Технические условия : ТУ 17 У 00306710.079—2000. – [Введен в действие 2000-01-08]. – Херсон, 2000. – 17 с.

Рецензія/Peer review : 11.1.2017 р. Надрукована/Printed :4.2.2017 р.
Рецензент : д. т. н., проф. Чурсіна Л. А.

УДК 677.8:83

О.В. ПАХОЛЮК, О.І. ПЕРЕДРІЙ
Луцький національний технічний університет

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЛЛЯНИХ ВОЛОКОН У ВИГОТОВЛЕННІ МЕДИЧНОГО ТЕКСТИЛЮ

У статті проаналізовано фактори швидкого розвитку виробництва і споживання медичного текстилю. Визначено вимоги до сучасних матеріалів, у тому числі і лляних, які використовуються у якості перев'язувальних засобів. Запропоновано характеристику фізико-механічних та гігієнічних властивостей лляної тканини залежно від технології вибілювання. Наведено основні асортиментні групи лляних медичних текстильних виробів, виготовлення яких освоєно у світовій практиці. Обґрунтовано необхідність розроблення нових перев'язувальних засобів на основі лляного волокна.

Ключові слова: медичний текстиль, медико-гігієнічні властивості льону, перев'язувальні засоби, нанотекстиль, лляні ватно-марлеві вироби.

O.V. PAKHOLIUK, O.I. PERDRIY
Lutsk National Technical University

USING THE FLAX FIBERS IN THE MANUFACTURE OF MEDICAL TEXTILES

The article analyzes the factors of the rapid development of production and consumption of medical textiles. The requirements to modern materials, including flax used as a dressing. A description of the physical and mechanical properties and hygienic linen fabric depending on the technology bleaching. The basic assortment of medical linen textiles, production of which is mastered in the world. The necessity of developing new dressing from flax fiber.

Keywords: medical textile, medical and hygienic properties of flax dressing, nanotextile, linen cotton-gauze products.

Вступ

Текстиль у медичній практиці традиційно використовували з метою виготовлення матеріалів для перев'язки і перекриття ран. За останні роки намітилась тенденція збільшення обсягів виробництва і розширення асортименту текстильних матеріалів медичного призначення.

Швидкий розвиток виробництва і споживання медичного текстилю в останні роки спричинили [1]:

- ріст популяції населення, особливо в країнах, що розвиваються та вирівнювання рівня і якості життя усіх прошарків населення у розвинених країнах;
- підвищення ризиків і статистики захворювань, пов'язаних з погіршенням екології і поширеності стресів;
- зміни вікової структури населення планети, особливо у розвинутих країнах (старіння населення);
- бурхливим розвитком фундаментальних досліджень в галузі хімії, фізики, біології, а також впровадженням в практику сучасного текстильного виробництва нових нано-, біо- і хімічних технологій.

Загальною властивістю всіх текстильних виробів медичного призначення є безумовна відсутність шкідливого впливу на організм людини при ефективному прояві своїх основних властивостей. Такими характеристиками володіють медичні текстильні вироби на основі лляного волокна.

Про медикаментозні властивості льону відомо давно. Тільки в останні роки XX ст. почали інтенсивно вивчати медико-гігієнічні властивості льону порівняно з іншими волокнами.

Лікарями, гігієністами, біологами протягом останнього часу встановлено, що лляні тканини пригнічують хвороботворні мікроорганізми та гриби, протистоять утворенню пролежнів, підвищують вміст імуноглобуліну в крові, швидше за інші зупиняють кровотечі, сприяють швидкому виділенню із під одягового простору вуглекислоти, знижують потовиділення при навантаженнях.

Лляний шовний матеріал вдало застосовується і при загоєнні ран після операцій, льон захищає від різних видів променевої енергії, досить гігієнічний – менше забруднюється, легше переться і стерилізується.

Хороша орієнтація макромолекул та високий ступінь полімеризації пояснюють високі фізико-механічні характеристики лляного волокна і його стійкість до руйнування під дією різного роду електромагнітних і світлових впливів. Унікальні медико-біологічні властивості, висока електропровідність, яка забезпечує на ньому відсутність зарядів статичної енергії пояснюється наявністю у волокнах льону ряду мікроелементів, в основному тяжких металів [2].

Як відомо, у склад крові людини входять 24 мікроелементи, в тому числі мідь, цинк, марганець, олово, кадмій, свинець тощо. Мікроелементи впливають на синтез і дію вітамінів. Недостача міді в організмі людини провокує зменшення вироблення гемоглобуліну і розвитку анемії. Марганець, кобальт, бор, кремній, мідь підвищують стійкість організму до грибкових захворювань. Вчені довели, що мікроелементи потрібні не тільки самим рослинам для росту, але й надають рослинам, а саме льону, де їх відносно багато, ряд важливих і корисних для людини властивостей.

Розроблені в останні роки технології модифікації короткого лляного волокна [3], дають можливість отримувати на його основі такі медичні вироби, як вату, ватоподібні волокнисті матеріали, атравматичні пов'язки, комбіновані перев'язувальні засоби, неткані санітарно-гігієнічні матеріали тощо.

Для отримання вищеназваних виробів застосовують різні способи облагородження лляної сировини: хімічну модифікацію та нові нехімічні способи. При хімічній модифікації технічні волокна льону

руйнуються на елементарні та напівкомплексні. У результаті цього, підвищується вміст целюлози більш ніж на 20 %, вміст лігніну – у 6 разів, а вміст вуглеводів не целюлозного характеру зменшується майже вдвічі. Отриманий продукт має певні переваги порівняно з бавовняною ватою: кращу шаруватість, підвищену капілярність та водопоглинання.

Розроблений у Херсонському національному технічному університеті спосіб інтенсивної фізико-хіміко-механічної обробки з попереднім емульсуванням короткого лляного волокна № 3 [3], дозволяє в умовах льонокомбінатів, встановивши невелику кількість допоміжного обладнання, одержувати волокнисту масу для виготовлення медичної вати з меншими матеріальними і енергетичними витратами.

Експериментальна частина

Вимоги до сучасних матеріалів, у тому числі і лляних, які використовуються у якості перев'язувальних засобів досить високі [4]. Перев'язувальні засоби повинні:

- мати високу механічну стійкість;
- бути стійкими до хімічної і мікробної біодеградації;
- характеризуватись мінімальною неспецифічною адсорбцією;
- бути здатними сполучатись з активними компонентами і не інгібувати дію активної речовини;
- не викликати механічного чи хімічного подразнення;
- здійснювати цитотоксичний і сенсибілізуючий вплив.

Залежно від призначення та місця аплікації виробу відрізняються вимоги до механічних властивостей матеріалу. За умови застосування на рановій, виразковій чи опіковій поверхні перевага надається тонкому атравматичному матеріалу. При застосуванні на поверхні тіла, що передбачає часту деформацію перев'язувального засобу (наприклад, кінцівки, ліктьові суглоби), важливим аспектом є наявність високих розривальних характеристик у вологому стані.

Важливою вимогою до перев'язувальних текстильних засобів є можливість газообміну кисню і вуглекислого газу та регулювання вологості.

При розробці перев'язувальних засобів для лікування гнійно-запальних уражень, необхідно враховувати гігроскопічні характеристики текстильного матеріалу (капілярність, швидкість змочування). Капілярність є критерієм здатності матеріалу ефективно вбирати гнійні виділення та осушувати рану.

Змочуваність має велике значення для швидкої зупинки кровотечі чи швидкої адсорбції ранового ексудату.

Лляні текстильні матеріали медичного призначення, добре сумісні з тканинами організму, і на відміну від бавовни мають ряд унікальних медикаментозних властивостей.

Вченими була встановлена активна властивість лляних волокон пригнічувати життєдіяльність мікроорганізмів [5]. Так, лляна сирова тканина повністю затримує ріст і розвиток колоній грибків у порівнянні з бавовняною тканиною (табл. 1).

Таблиця 1

Біологічна активність лляної і бавовняної тканин

№ з/п	Вид тканини	Загальна кількість бактерій (ЗКБ)	Загальна кількість грибів (ЗКГ)
1	Лляна сирова	13500	0
2	Лляна вибілена	1725	0
3	Бавовняна сирова	87500	26000
4	Бавовняна вибілена	22335	0

Вибілена лляна тканина має аналогічних бактерій у 13 разів менше. Проте, відомо, що вибілювання лляних волокон хлоровмісними препаратами, призводить до зниження міцності та бактерицидних властивостей лляної продукції. Тому, запропоновані, у тому числі, і нами [6] технології «холодного» вибілювання пероксидом водню та натрію гіпохлоритом дозволяють зберегти існуючі фізико-механічні властивості лляного волокна і підвищити його біологічну активність (табл. 2).

Також, вченими були проведені дослідження антимікробної активності перев'язочних засобів на основі льоноволокна. Встановлено, що зона затримки росту грибів у льоновмісних перев'язочних засобах у 2 рази вища, ніж у бавовни.

Лляні ватно-марлеві вироби володіють підвищеним гемостатичним ефектом, що було підтверджено клінічними дослідженнями, вони швидко зупиняють кровотечу (у порівнянні з аналогічними виробами з інших текстильних матеріалів), не сорбують мікрофлору, не прилипають до поверхні рани та не темніють під час стерилізації.

Хірургічні лляні нитки витримують стерилізацію кип'ятінням і автоклавом без суттєвої втрати міцності (не більше 1-1,5 %), а у вологому стані, міцність лляних ниток підвищується до 13%. Враховуючи, що в хірургічній практиці вузли в'яжуться у вологому стані, то міцність на розрив лляних хірургічних ниток є найбільш цінним показником, який характеризує надійність накладеного хірургічного шва. Під час операцій лляні нитки використовуються для накладання швів на внутрішні органи, кістки, сухожилля, м'язи, шкіру, для легування кровоносних судин.

Відповідними клінічними дослідженнями підтверджена ефективність обгортання тіла вологою лляною тканиною для очищення організму від шлаків, шляхом їх витягування через пори шкіри. Волога лляна тканина легко відкриває пори на поверхні контакту і витягує забруднення і слиз.

Таблиця 2

Характеристика фізико-механічних та гігієнічних властивостей лляної тканини залежно від технології вибілювання

№ з/п	Досліджувані показники	Спосіб оброблення лляної тканини			
		сирова	хлором	пероксидом водню	натрію гіпохлоритом
1	Ступінь білості, %	13,0	67,0	118,0	115,0
2	Розривальне навантаження 25х50 мм, Н а) за основою б) за утоком	 331,0 258,0	 225,0 188,0	 235,0 196,0	 233,0 202,0
3	Капілярність, мм/год	73,0	77,0	104,0	100,0
4	Ступінь повітропроникності при 50 мм вод. стоп., мл/см^2*с	215,	180,0	185,0	189,0

Значні дослідження з метою визначення ефективності використання лляної білизни для попередження появи пролежнів були проведені в Інституті натуральних волокон Польщі, у клініках Польщі та Японії. Результати досліджень показали, що при контакті пролежня з лляною тканиною відбувається підсушування поверхні шкіри та витягування продуктів некротичного розкладу. Проведені у Росії дослідження зі створення протипролежневих серветок із чисто лляної тканини з нанесенням на неї протипролежневого засобу рослинного походження показали, що в разі нанесення такої серветки на пролежень розщеплюються омертвілі, нежиттєздатні тканини, а лляна серветка поглинає їх.

В Інституті натуральних волокон також досліджувався стан хворих, які використовували лляну, бавовняну та синтетичну постільну білизну. В результаті досліджень виявлені значні зміни температури тіла хворого під час сну, що пов'язано з динамікою зміни вмісту імуноглобуліну.

Також відомі дані позитивного впливу лляного волокна на шкіру людини і її імунітет. У хворих на нейродерміт та атипічний діатез шкіри спостерігається алергія на вовну, бавовну, синтетичні волокна. Роль збудника у всіх випадках відіграє текстильний матеріал та хімічні речовини, які використовувалися у його виготовленні та обробленні.

Ще однією унікальною властивістю лляних матеріалів є поглинання «м'якого» іонізуючого випромінювання. Дослідження в цій галузі показали, що текстильне полотно з лляного сирового волокна здатне послаблювати інтенсивність слабкого іонізуючого випромінювання на 10–30 % і після спеціальних обробок майже повністю придушувати його.

Відповідними науковими дослідженнями встановлено, що при деформації і руйнуванні текстильні матеріали, особливо луб'яні, виділяють слабкі електромагнітні випромінювання. Особливістю лляного одягу є можливість для людини додатково отримати заряд енергії, підсилити імунітет та підвищити працездатність. Передаючи свою енергію людині лляні волокна пом'якшують, а інколи і нейтралізують наслідки негативного впливу навколишнього середовища на організм.

В результаті досліджень встановлено позитивний вплив льону і волокон бівіскози, практично на всі органи людини (крім суглобів, на які позитивно впливають вовняні волокна), в той час як волокна бавовни ніякого позитивного впливу на органи і тканини людини не надають.

Нажаль, вітчизняна медицина практично позбавлена лляних текстильних матеріалів медичного призначення, які б виготовлялися українськими підприємствами, і були б доступні за вартістю лікувальним установам та громадянам. Проте слід зазначити, що асортимент медичного текстилю дуже широкий. У табл. 3 наведено основні асортиментні групи лляних медичних текстильних виробів, виготовлення яких освоєно у світовій практиці.

В останні роки, як свідчить аналіз зарубіжних наукових публікацій, новим напрямом є використання нанотехнологій для виробництва та оброблення текстильних матеріалів і виробів медичного призначення [7]. При цьому найбільш перспективним є застосування у текстильному виробництві тих нанотехнологій, які забезпечують одночасне отримання на матеріалах і виробах декількох корисних ефектів: лікувальних, бактерицидних, антимікробних тощо.

Льон у поєднанні з нанокомпонентами може застосовуватись не тільки у медицині, але й в косметології. Позитивний досвід успішного використання лляного нанотекстилю в медицині мають російські вчені.

Виявилось, що на текстильній основі, за допомогою полімерних нанокомпозицій – гелів, які можуть включати в себе широкий асортимент ліків, можна створити композиційний лікувальний текстиль, у тому числі і для допомоги в лікуванні онкохворих. Такі нанокомпозити на текстильній основі дозволяють адресно підводити необхідні ліки до ракової пухлини. Ці нанокомпозити є своєрідним депо, куди можна розміщувати необхідні ліки. Нова продукція уже пройшла необхідні клінічні дослідження і рекомендована для використання у лікарських закладах Росії, Казахстану та Республіки Білорусь.

Таблиця 3

Основні асортиментні групи лляних виробів медичного призначення

Група	Підгрупа
Медична вата: - гігієнічна - хірургічна - очна	- ватні адсорбуючі прокладки - підв'язки - ватні аплікатори - ватні кульки - ватні наконечники на палички
Ватно-марлеві напівфабрикати: - медичного призначення - санітарно-гігієнічного	- стоматологічні ватні вироби; - вироби для косметики та макіяжу (диски, кульки)
Бінтова марля	- медичні марлеві бинти - марлеві тампони (серветки) - гіпсові бинти - марлеві хірургічні серветки з прошарками вати - хірургічні нитки
Перев'язувальні матеріали	- серветки медичні гігроскопічні антибактеріальні - пов'язки лікувальні - післяопікові пов'язки - гемостатичні пов'язки
Компресійні вироби	- еластичний бинт - гіпсовий бинт - бандажі: післяопераційні - лікувально-профілактичні - спортивні - панчохи, напівпанчохи, колготи
Захисний медичний одяг і вироби одноразового використання	- білизна одноразова - спецодяг для операційних - головні убори - чохли для крісел під голову пацієнта - нагрудники для стоматології - пелюшки, підгузки, бахіли - комплекти для новонароджених
Постільна білизна	- простирадла - наволочки - пелюшки

Висновки

Отже, лляні текстильні матеріали, завдяки високій міцності, гігроскопічності та повітропроникності можуть широко застосовуватись в медицині для виготовлення різноманітних виробів медико-гігієнічного призначення. Дослідження показали, що лляний медичний текстиль не тільки захищає рани від зовнішнього середовища, але й забезпечує надходження в них ліків потрібної концентрації.

Створення «розумного» текстилю з використанням волокон льону, дозволяє використовувати широкий спектр можливостей волокна, для створення різноманітних «ефектів» в залежності від їх призначення.

Література

1. Кричевский Г.Е. Нано-, био-, химические технологии в производстве нового поколения волокон, текстиля и одежды / Г.Е. Кричевський. – М., 2011. – 528 с.

2. Пахолюк О.В. Товарознавчі аспекти формування асортименту та якості лляних тканин : монографія / О.В. Пахолюк. – Луцьк : Ред.-вид. відділ ЛНТУ, 2011. – 186 с.

3. Кузьміна Т.О. Якість і стандартизація модифікованих лляних волокон : монографія / Т.О. Кузьміна, Л.А. Чурсіна, Г.А. Тіхосова. – Херсон : Олді-плюс, 2009. – 416 с.

4. Хохленкова Н.В. Розробка методичних підходів до створення фармакологічно активних перев'язувальних засобів / Н.В. Хохленкова // Запорожский медицинский журнал. – 2012. – № 5 (74). – С. 105–109.

5. Живетин В.В. Лен и его комплесное использование : учеб. пособ. / В.В. Живетин, Л.Н. Гинзбург, О.М. Ольшанская. – М. : Информ-знание, 2002. – 400 с.

6. Демкович О.В. Ресурсозберігаюча технологія вибілювання лляних платтяно-сорочкових тканин / О.В. Демкович, С.О. Поліщук // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. – 2009. – № 2. – С. 104–108.

7. Юданова Т.Н. Современные раневые покрытия: получение и свойства (обзор) / Т.Н. Юданова, И.В. Решетов // Химико-фармацевтический журнал. – 2006. – Том 40, № 2. – С. 24–31.

Рецензія/Peer review : 15.12.2016 р. Надрукована/Printed :4.2.2017 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Байдакова Л.І.

УДК 685.31

Г.В. МЕЛЬНИК
Київський національний університет технологій та дизайну

МАТЕМАТИЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОЕКТУВАННЯ ФОРМИ ПРУЖНОЇ СИСТЕМИ ЗАПРАВКИ ТРИКОТАЖНИХ МАШИН

В роботі наведені результати досліджень з вирішення важливого технологічного завдання – мінімізації натягу ниток на технологічному обладнанні на основі розробки САПР пружної системи заправки. Недосконалість структури пружної системи заправки не дозволяє здійснювати мінімізацію натягу в процесі роботи технологічного устаткування і призводить до порушення технологічного режиму, обривів. Отримані результати використовувалися для удосконалення технологічних процесів трикотажної промисловості.

Ключові слова: нитка, натяг, тертя, система ниткоподачі, пружна система заправки нитки, трикотажна машина.

G.V. MELNIK
Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

MATHEMATICAL AND PROGRAMMATIC PROVIDING OF PLANNING OF FORM OF RESILIENT SYSTEM OF PRIMING OF KNITTINGS MACHINES

Work is devoted the decision of important technological task are minimizations of pull of filaments on technological equipment on the basis of development CADD of the resilient system of priming. Imperfection of construction of the resilient system of priming and system of serve of filament does not allow to carry out minimization of pull in the process of work of knittings round knittings machines. The rapid increase of pull on the depth of the resilient system of priming is explained guiders of filament, by the large corners of scope a filament sending, by an unevenness on the diameter of cross-sectional of filament. Objects and research methods. The resilient system of priming is component part of the system of serve of filament of technological equipment of knitting industry. Imperfection of structure of the resilient system of priming does not allow to carry out minimization of pull in the process of work of technological equipment and results in violation of the technological mode, precipices. Above all things, the defect of form of the resilient system of priming influences on it, sending motions of filament, by the large corners of scope a filament sending, unevenness of filament on a diameter, that predefined by its structure and material, by the specific of making of filament, length of separate elements and their mutual location in relation to each other, and also unevenness of entrance pull. A theoretical basis at the solution of a scientific and technical problem are works of leading scientists in branches of production engineering of textile and knitted manufactures, textile materials technology, mechanics of a filament, theory of elasticity, mathematical modelling. In theoretical researches methods of theoretical mechanics, a strength of materials, design of experiments and statistical machining of results of researches are used. Practical value. The improvement of form of the resilient system of priming of filaments of knittings machines allows to minimize their pull, decrease the precipices of filament, that has an important value for the improvement of technological processes of knitting industry from position of increase of the productivity of technological equipment and quality of the produced products.

Keywords: filament, pull, friction, system of serve of filament, resilient system of priming of filament, knitting machine.

Вступ

Актуальність. Робота присвячена вирішенню важливого технологічного завдання – мінімізації натягу ниток на технологічному обладнання на основі розробки САПР пружної системи заправки. Недосконаліть конструкції пружної системи заправки та системи ниткоподачі загалом не дозволяє здійснювати мінімізацію натягу в процесі роботи трикотажних круглов'язальних машини [1]. Стрибкове зростання натягу по глибині пружної системи заправки пояснюється недоліками конструкції компенсаторів, ниткоспрямовувачів, великими кутами охоплення ниткою напрямних, нерівномірністю по діаметру поперечного перетину нитки [2]. Вирішення цієї задачі має важливе значення для удосконалення технологічних процесів трикотажної промисловості з позиції підвищення продуктивності технологічного устаткування та якості готової продукції.

Об'єкти і методи дослідження. Пружна система заправки є складовою частиною системи ниткоподачі технологічного устаткування трикотажної промисловості. Недосконаліть структури пружної системи заправки не дозволяє здійснювати мінімізацію натягу в процесі роботи технологічного устаткування і призводить до порушення технологічного режиму, обривам. В першу чергу, на це впливає недосконаліть форми пружної системи заправки, нитконапрямних елементів, великими кутами охоплення ниткою напрямних, нерівномірність нитки по діаметру, що зумовлено її структурою і матеріалом, специфікою виготовлення нитки, довжиною окремих філаментів та їх взаємним розташуванням відносно один до одного, а також нерівномірність вхідного натягу [1]. Теоретичною основою при вирішенні науково-технічної проблеми є праці провідних вчених в галузях технології текстильного та трикотажного виробництв, текстильного матеріалознавства, механіки нитки, теорії пружності, математичного моделювання. У теоретичних дослідженнях використано методи теоретичної механіки, опору матеріалів, планування експерименту та статистичної обробки результатів досліджень.

Практичне значення. Удосконалення форми пружної системи заправки ниток трикотажних машин дозволяє мінімізувати їх натяг, зменшити обриви нитки, що має важливе значення для удосконалення технологічних процесів трикотажної промисловості з позиції підвищення продуктивності технологічного устаткування та якості готової продукції [1, 2].

Постановка завдання

Визначити вхідні дані для проектування, до яких необхідно віднести: величину натягу нитки перед

зоною в’язання, довжину нитки в зоні ниткоподачі, координати точок входу та виходу з робочої зони трикотажної машини.

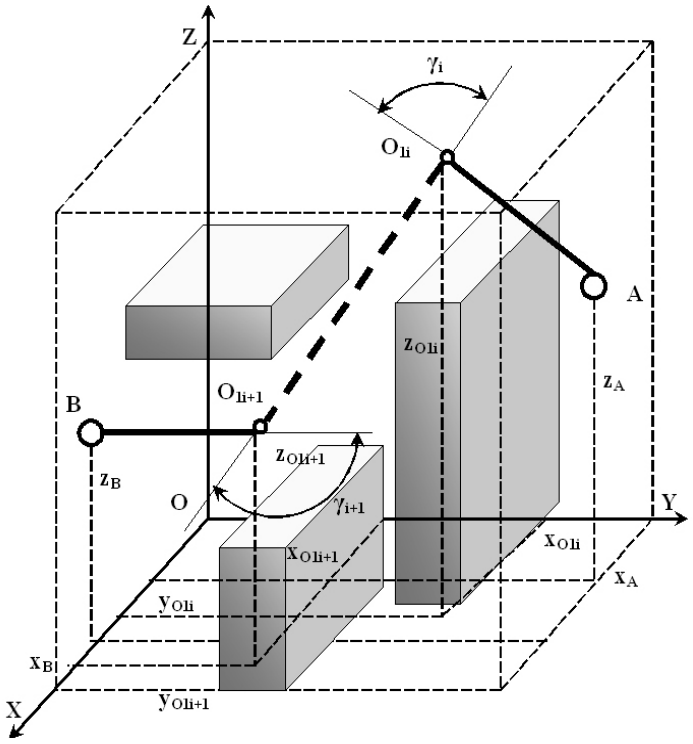


Рис. 1. Графічна схема робочої зони трикотажної машини

Розробити алгоритм та відповідне програмне забезпечення для побудови форми ниткотракту пружної системи заправки для трьох типів круглов’язальних трикотажних машин та отримати значення відносного натягу бавовняної 27,6 текс, вовняної 29 текс та віскозної 28,8 текс пряжі по конструктивним зонам до та після модернізації на основі мінімізації натягу в робочій зоні.

Основна частина

Розробка оптимальної форми пружної системи заправки трикотажних машин можна ефективно здійснювати з використанням ЕОМ. На рис.1 представлена загальна графічна схема робочої зони трикотажної машини. Її розміри визначаються як її конструкцією, так і функціональним призначенням. Розробка програмного забезпечення, блок-схема якого представлена на рис. 2, необхідно з визначення габаритних розмірів проектованої пружної системи заправки. Її розміри визначаються як її конструкцією, так і функціональним призначенням.

Наступним етапом буде визначення координат закритих зон. Під цим терміном будемо мати на увазі ті ділянки, через які нитка не може проходити. Це різні елементи станини трикотажної машини, допоміжні механізми. До цих зон можна віднести ділянки загального простору робочої зони трикотажної машини, де необхідно забезпечити нормальні умови обслуговування трикотажної машини.

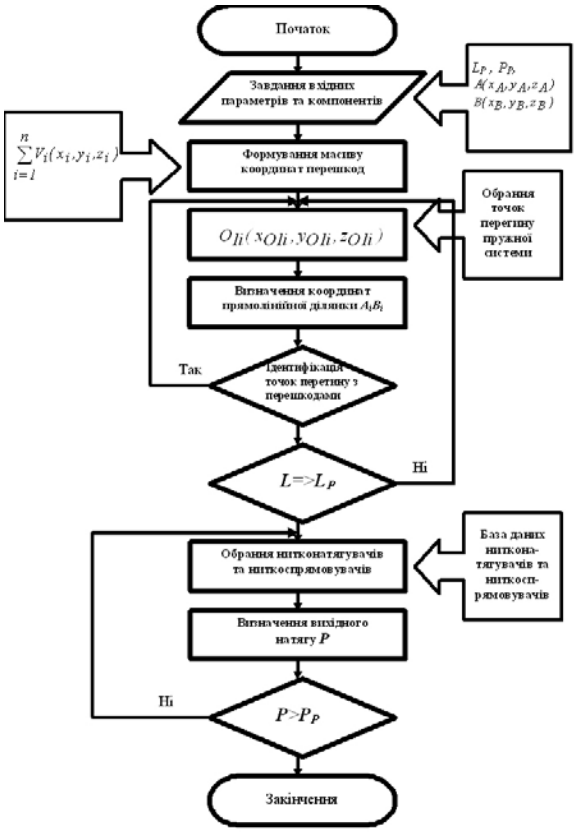


Рис. 2. Блок-схема алгоритму побудови форми пружної системи заправки

До вхідних даних, при розробці основ математичного та програмного забезпечення САПР форми пружної системи заправки трикотажних машин, необхідно віднести величину натягу нитки перед зоною в’язання, довжину нитки в зоні ниткоподачі, координати точок входу та виходу з робочої зони трикотажної машини.

При побудові форми пружної системи заправки трикотажних машин, на початковому етапі, приймаємо нульовий варіант, коли нитка після вихідного глазка А (після балону) не має точок перегину і потрапляє в точку В (зона в’язання). У випадку, коли пряма АВ перетинає закриті зони, програма обирає із сформованого масиву першу точку перегину. Після цього знову будується нова пряма, яка єднає останню точку з точкою виходу В. Знову виконується перевірочний розрахунок. Коли умова не виконується, обирається наступна точка перегину. Отримана форма пружної системи заправки трикотажних машин перевіряється на предмет заданої довжини нитки. Цю вимогу необхідно виконати для забезпечення необхідної жорсткості нитки при розтягненні.

Після формування пружної системи заправки обираються нитконапрямні та нитконатягувальні елементи системи ниткоподачі. Для цього використовуються підпрограми визначення вихідного натягу для нитконатягувачів.

Далі, згідно з наведеною блок-схемою (рис. 2), здійснюється перевірка отриманого значення

вихідного натягу в точці В з заданим. У випадку його підвищеного значення необхідно зменшити величину кута охоплення глазків нитконатягувача чи змінити форму пружної системи заправки трикотажної машини. Число нитконатягувачів в розрахунках приймалося рівним одному. Це пояснюється тим, що існуючі нитконатягувачі можуть змінять величину натягу в досить широких межах. На рис.3 представлена розрахункова схема для визначення кута охоплення для *i*-направляючої в точці перегину. Система рівнянь для його визначення має вигляд

$$O_{1i}E_i = z_{O1i} - z_{Bi},\ O_{1i}K_i = z_{O1i} - z_{Ai},\ \beta_i = \beta_{1i} + \beta_{2i},\ \alpha_i = \alpha_{1i} + \alpha_{2i},\ \gamma_i = \alpha_i + \beta_i,$$

$$E_iB_i = \sqrt{(x_{O1i} - x_{Bi})^2 + (y_{Bi} - y_{O1i})^2},\ K_iA_i = \sqrt{(x_{Ai} - x_{O1i})^2 + (y_{O1i} - y_{Ai})^2},$$

$$O_{1i}B_i = \sqrt{(x_{O1i} - x_{Bi})^2 + (y_{Bi} - y_{O1i})^2 + (z_{O1i} - z_{Bi})^2},$$

$$O_{1i}A_i = \sqrt{(x_{O1i} - x_{Ai})^2 + (y_{Ai} - y_{O1i})^2 + (z_{O1i} - z_{Ai})^2}, \quad (1)$$

$$O_{1i}B_i = \frac{R_i}{\sin\beta_{1i}} = \frac{O_{1i}E_i}{\sin\beta_{2i}},\quad O_{1i}A_i = \frac{R_i}{\sin\alpha_{1i}} = \frac{O_{1i}K_i}{\sin\alpha_{2i}}, \alpha_{1i} = \arcsin(\frac{R_i}{O_{1i}A_i}),$$

$$\alpha_{2i} = \arcsin(\frac{O_{1i}K_i}{O_{1i}A_i}),\ \beta_{1i} = \arcsin(\frac{R_i}{O_{1i}B_i}),\ \beta_{2i} = \arcsin(\frac{O_{1i}E_i}{O_{1i}B_i}),$$

x_{O1i}, y_{O1i}, z_{O1i} – координати *i*-циліндричної напрямної; x_{Ai}, y_{Ai}, z_{Ai} – координати *i* – точки перегину; x_{Bi}, y_{Bi}, z_{Bi} – координати *i+1* – точки перегину; R_i – радіус *i*-циліндричної напрямної; γ_i – сумарний кут охоплення ниткою *i*-циліндричного ниткоспрямовувача.

Система (1) використовується для реалізації алгоритму при побудові точок перегину. Реалізація алгоритму дозволила удосконалити форму пружної системи заправки для трьох трикотажних машин. В таблицях позначення Д – відповідає результатам до удосконалення, а позначення П – після удосконалення форми пружної системи заправки.

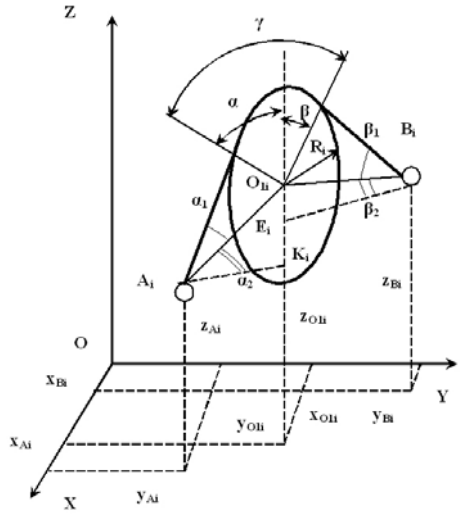


Рис. 3. Розрахункова схема

Кругло панчішний автомат 34 класу Dana–8 має 8 систем і використовується для виготовлення жіночих панчіх. Пружна система заправки круглопанчішного автомату складається з наступних ділянок: 1 – нитка з

бобіни проходить скрізь глазок Г1 і потрапляє в нитконатягувач Н з вантажними шайбами; 2 – після нитконатягувача Н потрапляє в глазок Г2; 3 – після направляючого глазка Г2 потрапляє в направляючий глазок Г3; 4 – після глазка Г3 потрапляє в нитковід НВ; 5 – після нитковіда НВ потрапляє в зону в'язання.

Глазок Г1 розташовується на вісі бобіни на відстані 240 мм від її нижньої основи. Нитконатягувач Н розташований нижче глазка Г1 на відстані 330 мм. Глазок Г2 знаходиться нижче вихідного отвору нитконатягувача Н на відстані 300 мм. Глазки Г2 та Г3 віддалені між собою на 70 мм. Глазок Г3 розташований на 35 мм нижче глазка Г2. Відстань між точкою входу нитки в нитковід НВ та глазком Г3 становить 60 мм. Результати розрахунку зміни відносного натягу наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Зміна відносного натягу для круглопанчішного автомату 34 класу Dana–8

Зона	Відносний натяг по зонам P/Po					
	Бавовняна пряжа, 27,6 текс		Вовняна пряжа, 29 текс		Віскозна пряжа, 28,8 текс	
	Д	П	Д	П	Д	П
В	1	1	1	1	1	1
Г1Н	1,35	1	1,16	1	1,28	1
НГ2	1,97	1,44	1,54	1,21	1,68	1,36
Г2Г3	2,59	1,73	1,98	1,46	2,31	1,55
Г3НВ	2,87	2,01	2,39	1,87	2,59	1,91
НВ	3,02	2,34	2,74	2,18	2,89	2,21

Кругло шкарпетковий автомат НОР-18 має наступну структуру пружної системи заправки. Нитка з бобіни потрапляє у вхідний отвір пальцевого нитконатягувача Н1. Після пальцевого нитконатягувача Н1 потрапляє в стійковий нитконатягувач Н2. Скрізь глазок Г1 нитка потрапляє скрізь глазок Г2 в нитковід НВ.

Відстані відповідних ділянок між елементами пружної системи заправки дорівнювали: Н1Н2 – 205

мм; Н2Г1 – 280 мм; Г1Г2 – 275 мм; Г2НВ – 70 мм. Результати розрахунку зміни відносного натягу наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Зміна відносного натягу для круглошкарпеткового автомату НОР-18

Зона	Відносний натяг по зонам Р/Ро					
	Бавовняна пряжа, 27,6 текс		Вовняна пряжа, 29 текс		Віскозна пряжа, 28,8 текс	
	Д	П	Д	П	Д	П
В	1	1	1	1	1	1
Н1Н2	1,75	1,26	1,43	1,19	1,55	1,22
Н2Г1	3,77		3,26		3,54	
Г1Г2	4,09	1,89	3,51	1,56	3,82	1,74
Г2НВ	4,53	2,22	3,89	1,93	4,06	2,01
НВ	5,12	2,61	4,54	2,37	4,91	2,47

Пружна система заправки двофонтурної в'язальної інтерлок машини ODVI виглядає наступним чином. Нитка скрізь спрямовувач П1 потрапляє в глазки Г1 та Г2. Огинаючи спрямовувач П2 скрізь отвір глазка Г3 потрапляє в спрямовувач П3. Після спрямовувача П3 нитка скрізь отвори глазків Г4 та Г5, нитковід НВ потрапляє в зону в'язання. Відстані відповідних ділянок між елементами пружної системи заправки дорівнювали: П1Г1 – 190 мм; Г1Г2 – 50 мм; Г2П2 – 75 мм; П2Г3 – 255 мм; Г3П3 – 230 мм; П3Г4 – 645 мм; Г4Г5 – 65 мм. Результати розрахунку зміни відносного натягу наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

Зміна відносного натягу для двофонтурної в'язальної інтерлок машини ODVI

Зона	Відносний натяг по зонам Р/Ро					
	Бавовняна пряжа, 27,6 текс		Вовняна пряжа, 29 текс		Віскозна пряжа, 28,8 текс	
	Д	П	Д	П	Д	П
В	1	1	1	1	1	1
П1Г1	1,32	1,30	1,25	1,19	1,27	1,26
Г1Г2	1,41		1,34		1,34	
Г2П2	1,48		1,37		1,39	
П2Г3	1,97	1,68	1,59	1,37	1,72	1,49
Г3П3	2,47	2,32	2,01	2,23	2,27	2,27
П3Г4	2,93		2,60		2,77	
Г4Г5	3,05	2,42	2,82	2,35	2,89	2,39
Г5НВ	3,48	2,71	3,21	2,55	3,32	2,63

Висновки

Визначені вхідні дані для проектування, до яких необхідно віднести величину натягу нитки перед зоною в'язання, довжину нитки в зоні ниткоподачі, координати точок входу та виходу з робочої зони трикотажної машини. Розроблено алгоритм та відповідне програмне забезпечення для побудови форми ниткотракту пружної системи заправки круглов'язальних трикотажних машин на основі мінімізації натягу в робочій зоні. Для трьох типів круглов'язальних трикотажних машин отримані значення зміни відносного натягу бавовняної 27,6 текс, вовняної 29 текс та віскозної 28,8 текс пряжі по конструктивним зонам до та після модернізації.

Література

1. Щербань В.Ю. Механика нити / В.Ю. Щербань, О.Н. Хомяк, Ю.Ю. Щербань. – К. : Бібліотека офіційних видань, 2002. – 196 с.

2. Щербань В.Ю. Оптимізація процесу взаємодії нитки з напрямними з урахуванням анізотропії фрикційних властивостей / В.Ю. Щербань, М.І. Шолудько, О.З. Колиско, В.Ю. Калашник // Вісник ХНУ. – 2015. – № 3. – С. 30–33.

Рецензія/Peer review : 26.12.2016 р. Надрукована/Printed :4.2.2017 р.
Рецензент : д.т.н., професор В.Г. Здоренко

УДК 677.075.4

Т.А. ДЗИКОВИЧ, І.С. МИНТУС
Київський національний університет технологій та дизайну

РОЗРОБКА ТРИКОТАЖНИХ ВИРОБІВ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Для реалізації поставленої мети розроблено структуру трикотажу комбінованого переплетення із вмістом бамбукової та вовняної пряжі для виробів спеціального призначення. Трикотажні полотна досліджені на деформаційні властивості. Розроблено комплект виробів спеціального призначення з ортопедичним ефектом на базі трикотажу комбінованого переплетення.

Ключові слова: кулірний трикотаж, бамбук, комбіновані переплетення, ортопедичний ефект, деформаційні властивості.

T.A. DZYKOVYCH, I.S. MYNTUS
Kyiv National University of Technologies and Design, Kyiv, Ukraine

DEVELOPMENT SPECIAL KNITWEAR

The aim of the article – the development of the structure of combined interlooping knitwear of bamboo and wool yarn for special-purpose products and the fabrics research on deformation properties. Combined interlooping knitwear, bamboo and wool yarn is in which structure, has been developed that allows to emphasise advantages of fabrics and to correct defects. Fabric with hygienic, hypoallergic properties has been obtained due to entering of wool yarn to the knitwear structure. Deformation properties of combined interlooping knitwear have been examined, because interior textile products are subjected to heavy loads during use. As a result of work the structure of combined interlooping knitwear for knitting products for special purposes has been developed. Double hypoallergic fabric with interlace of hollow tubes has been obtained on the basis of the developed interlooping pattern. Fabric for special purposes with orthopaedic effect has been obtained after filling of knitting hollow tubes of fabrics with eco-material. Based on the structure of combined interlooping knitwear the school set of knitted products for special purposes with orthopaedic effect has been developed.

Keywords: weft knitting, bamboo, combined interlooping, orthopaedic effect, deformation properties.

Вступ

Сучасний ринок виробів інтер'єрного текстилю в Україні став дуже розвиненим. Його динамічність, конкурентоспроможність, потреби споживачів впливають на розвиток, оновлення та розширення асортименту виробів інтер'єрного призначення. Виробництвом даних товарів займаються текстильні підприємства, такі як: виробничо-збутова компанія "ТК-Домтекс", концерн "Ярослав", ВАТ "Богуславська суконна фабрика", ВАТ "Стеблівська бавовняно-паперова прядильно-ткацька фабрика", "Черкаський шовковий комбінат", "Тернопільський бавовняний комбінат", будинок моди "RITO", ПАТ Софія, ТМ Bravadi. Вироби інтер'єрного текстилю та екологічний текстиль є одним з самих модних направлень дизайну інтер'єру. Інтер'єрний текстиль застосовується у самих різних видах при декоруванні сучасних приміщень. Сучасна дизайнерська думка знайшла безліч застосувань трикотажним полотнам при облаштуванні житла – килимки, доріжки, оригінальні чохли для меблів, шпалери, картини, декоративні подушки, які наповнять приміщення теплом. Різні кольори та фактура, стабільність форми додають кімнаті відчуття затишку, тепла й красоти. До основних функціональних властивостей даних виробів відносять наступні ознаки: здатність створювати затишок та забезпечувати художньо-естетичне оформлення житлових приміщень. На сьогодні текстиль інтер'єрного призначення з покращеними екологічними характеристиками набуває активного розвитку. Еко-стиль в інтер'єрному дизайні передає відчуття єдності з природою, приносить в дім природність і гармонію. Еко-текстиль в оформленні інтер'єру для дітей набуває все більшого розвитку і йому притаманна прихильність до всього натурального. Еко-стиль в дитячій кімнаті – це не просто вибір стильового рішення, в першу чергу це здоров'я дитини. Усі вироби та предмети декору, які знаходяться в дитячих кімнатах і оточують дітей повинні виготовлятися виключно з натуральної сировини, такі як бавовна, льон, бамбук, тому що до них приділяються підвищені гігієнічні вимоги. Еко-текстиль виробляється з волокон, які вирощуються без використання хімічних добрив, пестицидів та генетично модифікованих речовин. Органічний текстиль складається з природних волокон, не містить хімічних домісив, гіпоалергенний і добре підходить для людей з підвищеною чутливістю шкіри [1].

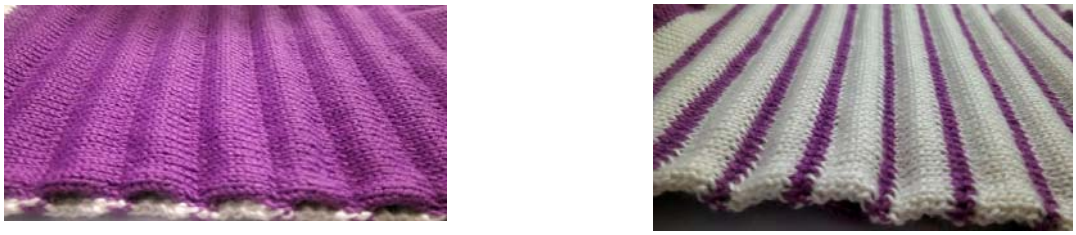
З кожним роком розширюється і вдосконалюється асортимент продукції інтер'єрного призначення, що використовується в профілактичних або в лікувальних цілях. Існує безліч ортопедичних виробів для дітей такі, як: ортопедичні матраци, подушки під голову, для сидіння, під ноги, під спину. Органічні продукти та матеріали набирають популярність вже протягом останніх кількох років. Вироби з природними наповнювачами корисні для дихання, шкіри та не містять різні шкідливі хімікати. Крім того, наповнювач у виробах забезпечує ортопедичний ефект. Багато захворювань опорно-рухового апарату починають розвиватися ще в ранньому дитинстві, це і плоскостопість, порушення постави, сколіоз. Продукція призначена, щоб запобігати захворюванню і лікувати хвороби суглобів і хребців. Адже завжди краще запобігти хворобі, ніж потім лікувати її.

Експериментальна частина

Для розширення асортименту трикотажних виробів спеціального призначення з ортопедичним ефектом було розроблено структуру полотна на базі трикотажу комбінованого переплетення [2] з бамбукової та вовняної пряжі. Бамбук – це новітній матеріал, що володіє унікальними властивостями, а

саме: захист від ультрафіолетових променів, антисептичний, антибактеріальний, гіпоалергенний, стійкий до механічних пошкоджень, має високу повітропроникність та гігроскопічність. Недоліками пряжі з бамбука є висока розтяжність та втрата формостійкості після прання. Для зменшення негативних властивостей трикотажу з бамбукової пряжі в структурі полотна бамбук поєднується з таким видом сировини, як вовна. Вовна у всі часи цінувалася за свої цілющі властивості. Попередні дослідження показали, що поєднання у структурі трикотажу бамбукової та вовняної пряжі дозволяє при зберіганні позитивних властивостей бамбуку зменшити такий недолік даної сировини, як зміна лінійних розмірів після вологої обробки.

Розроблено структуру комбінованого трикотажу, в якому рапорт переплетення включає два ряди ластику з бамбукової пряжі (31х8 текс), вісім рядів гладі на одній стороні з вовняної пряжі (14х2х9 текс) та вісім рядів гладі на другій стороні з бамбукової пряжі в результаті чого утворюється порожниста трубка (рис. 1). Одна сторона отриманого полотна виготовлена з бамбукової пряжі показано на рис. 1а, а на другій стороні чергуються ряди гладі з вовняної пряжі та рядами ластику з бамбукової пряжі показано на рис. 1б, в результаті чого отримано формостійке та антибактеріальне трикотажне полотно. Позитивний фактор двостороннього полотна полягає в тому, що влітку можна користуватися бамбуковою стороною, оскільки вироби надають відчуття прохолоди та комфорту спекотним літом, а взимку – вовняною. Діти в яких алергія на вовну можуть використовувати виріб лише з бамбукової сторони [3].



а **б**

Рис. 1. Зовнішній вигляд трикотажу комбінованого переплетення

В залежності від призначення виробу трубки заповнюються наповнювачем. Для наповнення можна використати натуральні наповнювачі, а саме гречане лушпиння, пшеницю, рис, сіль, каштани, квасоля тощо показано на рис. 2а.

В процесі експлуатації вироби піддаються навантаженню, тому досліджено їх деформаційні властивості. На плосков'язальній машині «Brother» 6 класу виготовлено зразки комбінованим переплетенням 25х20 см (в повздовжньому та поперечному напрямках). Технологічні параметри в'язання – глибина кулірування, сила відтяжки полотна, натяг нитки, кількість голок в заправці та кількість рядів не змінювались. Графічний запис трикотажу комбінованого переплетення показано на рис. 2б.

а **б**

Рис. 2. Полотна трикотажу (а) та графічний запис комбінованого переплетення (б), (Б – бамбук, В – вовна)

Дослідження релаксаційних характеристик полотна при розтяжності проведене за стандартом [4]. Час випробування: навантаження 60 хв, відпочинок після розвантаження 120 хв. Експериментальні дослідження релаксаційних характеристик отриманого полотна показали, що велика доля пружної та еластичної деформації вказує на те, що полотно добре зберігає розміри та форму під час експлуатації показано на рис. 3, 4.

Рис. 3. Деформація зразків по довжині, %

Рис. 4. Деформація зразків по ширині, %

Вироби для дітей піддаються постійним навантаженням, то таке комбіноване переплетення буде добре забезпечувати формостійкість трикотажних полотен. Таким чином, розроблене комбіноване переплетення можна застосовувати для виробів спеціального призначення з ортопедичним ефектом.

За статистикою більш ніж половина дітей виходять зі стін школи з порушеннями постави. За партою дитина проводить майже по 10 годин кожного дня. В разі неправильного положення тіла за партою навантаження на окремі групи м'язів дитини може призвести до розвитку сколіозу. Для формування правильної постави дитина повинна рівно сидіти за партою, що значно зніме частину навантаження на м'язи спини. Аналізуючи ряд проблем, що виникають при неправильному положенні тіла дитини за партою, щоб дитині легше було зберігати або відновити поставу та для правильного обладнання робочого місця дитини розроблено комплект трикотажних виробів спеціального призначення з ортопедичним ефектом на базі трикотажу комбінованого переплетення з бамбукової та вовняної пряжі. Шкільний трикотажний комплект складається з подушки для сидіння (32 см х 32 см), килимка для постави (10 см х 17 см), масажного килимка для ніг (40 см х 54 см), показано на рис. 5.

Рис. 5. Шкільний комплект трикотажних виробів спеціального призначення з ортопедичним ефектом (авторська розробка)

Подушка для сидіння покращує кровообіг в області тазу, сідниць, попереку, полегшує концентрацію уваги, зменшує напругу в м'язах ніг при тривалому сидінні, стимулює біологічно активні точки. Подушка для сидіння дає комфорт при сидячій роботі, також володіє «ефектом пам'яті» – приймає індивідуальну форму, м'яко і рівномірно розподіляє тиск тіла, знижує напругу в м'язах шиї та спини. Ребриста поверхня призначена для поліпшеного повітрообміну. Для дітей, які проводять багато часу за партою, це незамінна річ. Килимок для постави необхідний для того, щоб легше було зберігати чи відновити правильну поставу. Сидячи за партою чи при ходьбі по кімнаті в момент коли постава виявиться неправильною, килимок впаде з голови. При використанні його, дитина звикає до правильного положення тіла, не горбитись та симетрично тримати плечі й лопатки. Масажний килимок для профілактики плоскостопості дозволяє нормалізувати кровообіг, забезпечує стимуляцію рефлекторних точок, а також стимулювати зони, які відповідають за працездатність внутрішніх органів. Щоденні заняття по 5–10 хвилин дозволяють зміцнити м'язовий апарат ступні дитини, а також придбати заряд бадьорості на весь день. Як відомо, на стопах ніг розташовується велика кількість нервових закінчень, які передають імпульси по всьому тілу і до головного мозку. Завдяки використанню ортопедичного килимка проводиться масаж стоп, а значить і посилюється кровообіг в цій області. Крім того, завдяки ходінню по цьому килимку відбувається тренування м'язів, формується

гомілковостопний суглоб, особливо допомагає при втомі.

Для виготовлення комплекту спеціального призначення для дітей шкільного віку обираємо та застосовуємо тільки еко-сировину. Так, для наповнення подушки для сидіння можна використати рослині натуральні наповнювачі, а саме гречане лушпиння, шишки хмелю. Подушка з гречаним наповнювачем позитивно впливає і підвищує енергетику людини, також можна додавати ароматні трави. Наприклад, аромат ялівцю допоможе впоратися з втомою, депресією, запобігти простудним захворюванням та зміцнить імунну систему. Рисовий наповнювач має ароматерапевтичні властивості, допомагає швидше розслабитися, ідеально повторює контури тіла, не викликає алергії. В якості наповнювача масажного килимка для ніг можна використати різні крупи, а саме рис, пшеницю, гречку, а також каштани, морську гальку тощо. Наповнювач з квасолі створює масажний ефект, завдяки своїй нерівномірній структурі. Трубки полотна для килимка, який формує поставу постави можна заповнити сіллю. Відомо, що сіль сприятливо впливає на організм людини. Наповнювач у виробах завжди повинен бути якісним. При його виборі слід звертати увагу на: термоізолюючі та дихаючі властивості, вологопоглинання, екологічність і гігієнічність.

Таким чином, переваги отриманого комплекту – екологічність поверхні, натуральний наповнювач, профілактика плоскостопості, сколіозу, можливість виготовлення за індивідуальними розмірами, також не потребує великих витрат під час виготовлення.

Висновки

Розроблено структуру трикотажу комбінованого переплетення, у якому на одну сторону виходить тільки бамбукова пряжа, а на другій – ділянка з вовни чергується з двома рядами ластику бамбукової пряжі. На базі розробленої структури переплетення отримано двостороннє полотно з чергуванням порожнистих трубок. Позитивний фактор двостороннього полотна для трикотажних виробів спеціального призначення полягає в тому, що влітку можна користуватися бамбуковою стороною з гігієнічними, гіпоалергенними властивостями, а взимку – вовняною. Також, наповнивши порожнисті трикотажні трубки полотен еко-сировиною, отримано полотно спеціального призначення з ортопедичним ефектом. Досліджено деформаційні властивості полотен трикотажу комбінованого переплетення. Завдяки введенню в структуру трикотажу вовняної пряжі отримано формостійке полотно. На базі структури трикотажу комбінованого переплетення розроблено шкільний комплект трикотажних виробів спеціального призначення з ортопедичним ефектом.

Література

1. Галик І.С. Проблеми формування та оцінювання екологічної безпечності текстилю : монографія / І.С. Галик, Б.Д. Семак. – Львів : Видавництво Львівської комерційної академії, 2014. – 488 с.

2. Король В.П. Основи теорії в’язання візерункового трикотажу : підручник / В. П. Король, Л. Є. Галавська. – К. : Кафедра, 2014. – 498 с.

3. Минтус І.С. Розробка трикотажного полотна для виробів спеціального призначення з ортопедичним ефектом / І.С. Минтус, Т.А. Дзикович // Тези доп. XVI Всеукр. наукової конф. молодих вчених та студ. [“Наукові розробки молоді на сучасному етапі”], (Київ, 26–28 квітня 2016 р.) / Мін-во освіти і науки України, КНУТД. – К. : КНУТД, 2016. – С. 123.

4. ГОСТ 8847-85. Методы определения разрывных характеристик и растяжимости при нагрузках, меньше разрывных.

Рецензія/Peer review : 28.1.2017 р. Надрукована/Printed :4.2.2017 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Галавська Л.Є.

УДК 687.016.5:687.157

О.А. ЛАБЕНКО, Н.В. ОСТАПЕНКО, М.В. КОЛОСНІЧЕНКО, А.Ю. АНТОНЮЖЕНКО
Київський національний університет технологій та дизайну

ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННЯ СЦЕНІЧНОГО АНСАМБЛЮ З ВИКОРИСТАННЯМ БІСЕРУ

Мета *– розробка композиційно-гармонійного рішення ансамблю та його складових виробів з використанням бісеру в якості оздоблення. Для досягнення поставленої мети та вирішення завдань застосовано загальновідомий метод теоретично-аналітичного дослідження. Графічні матеріали виконано з використанням векторного редактору Xara X. На основі обраної стильової єдності, використання і застосування мережива як основного матеріалу та бісеру як оздоблення, морфологічного аналізу елементів, розроблена і виготовлена модель сценічного ансамблю. На основі теоретичних досліджень узагальнено і систематизовано різновиди бісеру в якості оздоблення виробів за різними класифікаційними угрупованнями. Запропоновано підхід до дизайн-проектування ансамблю та його складових з використанням мережива та бісеру. Запропоновано творчий ескіз і матрицю варіантів моделей виробів ансамблю із використанням бісеру. Розроблено та виготовлено сценічний ансамбль з використання мережива та бісеру як високого рівня естетичності.*

Ключові слова: *бісер, ансамбль, оздоблення, аксесуари, формоутворення сучасного одягу, дизайн-проектування, фактура.*

O.A. LABENKO, N.V. OSTAPENKO, M.V. KOLOSNICHENKO, A.Y. ANTONYUZHENKO
Kyiv National University of Technology and Design

DESIGN-PLANNING SCENIC ENSEMBLE WITH BEADS

Objective – development compositional and harmonic ensemble decision and its component products using beads as decoration. Method: to achieve this goal and meet the challenges of applied method known theoretical and analytical research. Graphic materials made using computer editor Xara X. Results: Based on the chosen stylistic unity, the usage of lace as the main material and beads as decoration, morphological analysis elements, developed and manufactured model stage ensemble. Scientific novelty: Based on theoretical studies are summarized and systematized kinds of beads as decoration articles on different classification groups. The approach to the design of the design of the ensemble and its components using lace and beads. The practical significance: A sketch idea of ensemble-based design product design using beads. Developed by Ensemble through the use of beads and lace as decorative elements of clothes and high aesthetics.

Keywords: *research, beads, band, decoration accessories, shaping modern clothing design texture.*

Вступ

На початку своєї історії людина задовольняла свої потреби вкрай примітивними формами одягу, проте в міру ускладнення і диференціації видів її діяльності з'являлась потреба у нових видах виробів. Поєднання наукових знань, технічної творчості та художньо-образного мислення реалізовується через дизайн-проектування одягу і аксесуарів.

Постановка завдання

В умовах сьогодення фешн-індустрія диктує свій напрямок моди, формує незвичні та цікаві образи, які передають неординарність, особливість, креативність. Розробці композиційно-гармонійного образу ансамблю та його взаємопов'язаних виробів передує вибір стилістичного рішення, матеріалів, оздоблення та їх кольорової гами, врахування сучасних тенденцій тощо. Тому, дизайн-проектування складових ансамблю, їх стильової єдності, розкриття існуючих зв'язків між формою, матеріалом, оздобленням та розгляд їх у системі потребує проведення теоретичних та експериментальних досліджень і є актуальним науково-технічним завданням [1].

Результати дослідження

Робота над створенням ансамблю починається з визначення його основи, призначення і асортименту одягу, які розкривають його основне призначення. Кожен додатковий виріб спроектовано залежно від основного за принципом його логічної та естетичної необхідності в даній комбінації. Нами запропоновано сценічний ансамбль, складовими якого є поясний, корсетний, рукавичний вироби, головний убір та аксесуари, які об'єднані за призначенням, стильовим рішенням тощо. Основу ансамблю становлять корсетний виріб, виготовлений з шовкової тканини у поєднанні з мереживом та трикотажною сіткою, та спідниця з шифону.

При цьому творчим джерелом обрано вишукане та елегантне французьке мереживо типу «Шантильї», виділені ознаки якого характеризуються жіночністю та ніжністю образу. Так, особливого значення набуває візерунково-рельєфна фактура та витончена округла форма елементів означеного матеріалу тощо.

Концептуальною основою створення ансамблю є гармонійне поєднання і взаємоузгодженість мережива і бісеру за умов поєднання силуетних та геометричних форм виробів ансамблю, їх пропорційності та монохромності кольору. На основі теоретичних досліджень творчого джерела виявлено певні орнаментально-декоративні елементи та поєднання, виокремлено та застосовано при створенні моделі-образу.

Нами проаналізовано, узагальнено та систематизовано різновиди бісеру за різними класифікаційними угруповуваннями (рис. 1). Отже, бісер різниться за формою, розміром, покриттям,

матеріалом, кольором, країною-виробником, способом виготовлення тощо [2]. З метою створення завершеного гармонійного образу сценічного ансамблю перевагу надано скляному, круглому, матовому бісеру, рубаному стеклярусу та січці чорного кольору з глазурованим непрозорим покриттям, які використано при виготовленні виробів.

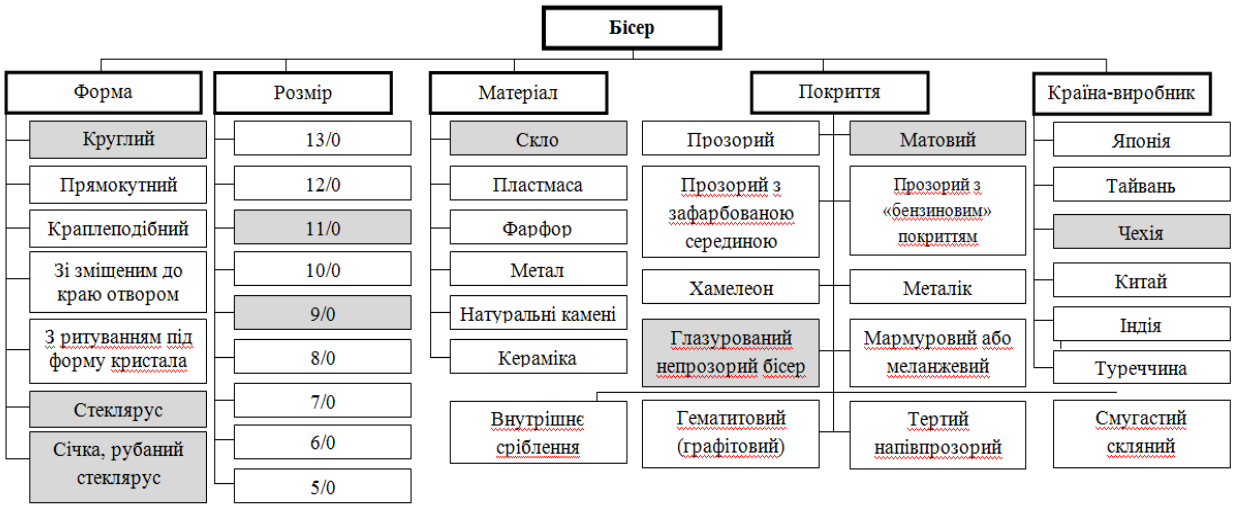
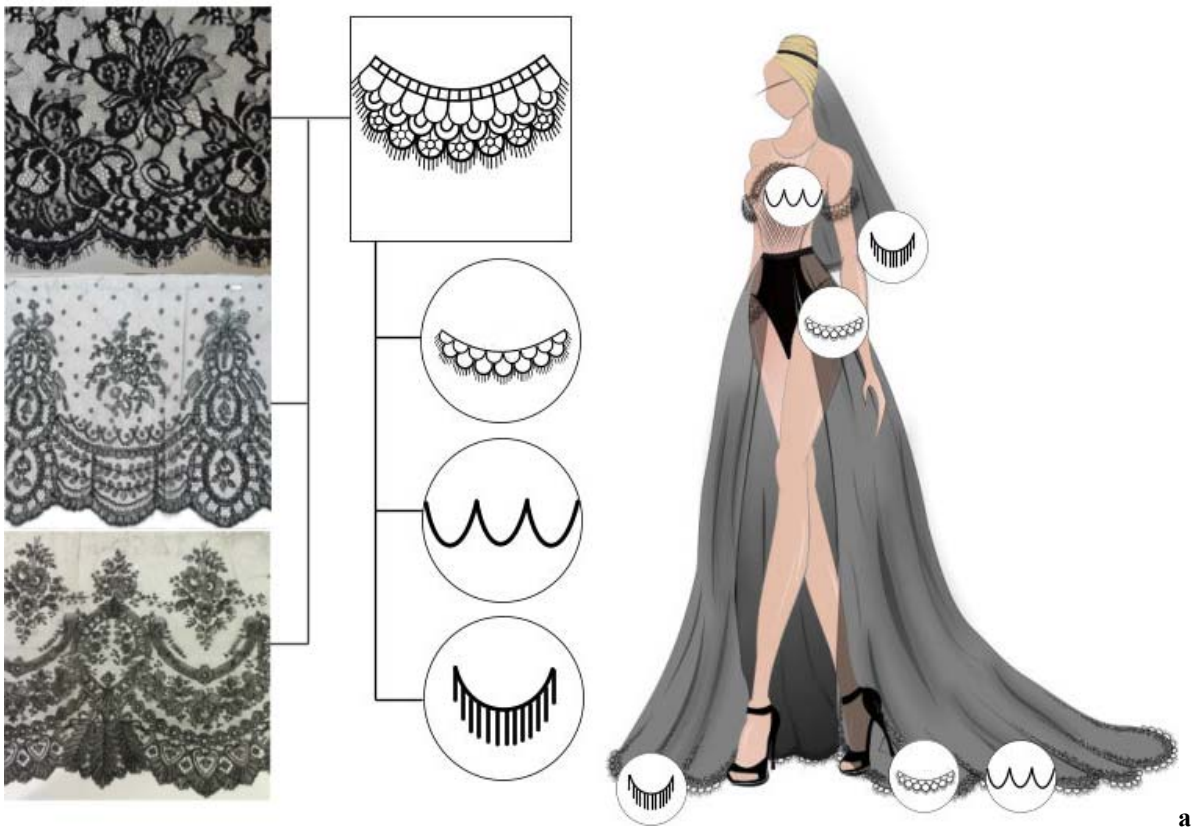


Рис. 1. Систематизація різновидів бісеру

З огляду на це, стилістика виробів ансамблю передбачає використання мережива як основного матеріалу та бісеру, як декоративно-оздоблювального, для підсилення візуальної екстравагантності, чуттєвості та емоційного ефекту образу, і водночас об'єднує всі вироби. Нами встановлено взаємозв'язок між обраними різновидами бісеру, місцем його розташування, формою і способом вишивки в ансамблі та фактурними елементами мережива [2].



а **б**

Рис. 2. Трансформація творчого джерела: а – різновиди творчого джерела; б – зовнішній вигляд ансамблю із перенесеними елементами

Аналітично досліджено ступінь використання бісеру у виробах різного призначення на прикладах творчості відомих дизайнерів і встановлено, що його доцільно розглядати як оздоблення, яке займає незначну частину площі всього виробу, часткову вишивку, що вкриває більш ніж половину площі, та виріб,

який виготовлений лише із бісеру і не виключає використання основи. Нами запропоновано оздобити бісером у визначених місцях елементи корсету, фати і довгої розширеної до низу спідниці, а нарукавники виготовити лише з бісеру.

При проектуванні і виготовленні виробів ансамблю потрібно раціонально обирати основу – текстильний матеріал, до якого пришивається бісер, з відповідними характеристиками оскільки, з одного боку, оздоблення збільшує масу виробу, з іншого, вироби мають бути ергономічними, вишивка має витримувати різні впливи і навантаження і при цьому не втрачати естетичний зовнішній вигляд [3]. При вишиванні бісером за основу використано мереживо та шифон, а з'єднання оздоблення виконано швом «вперед голкою».

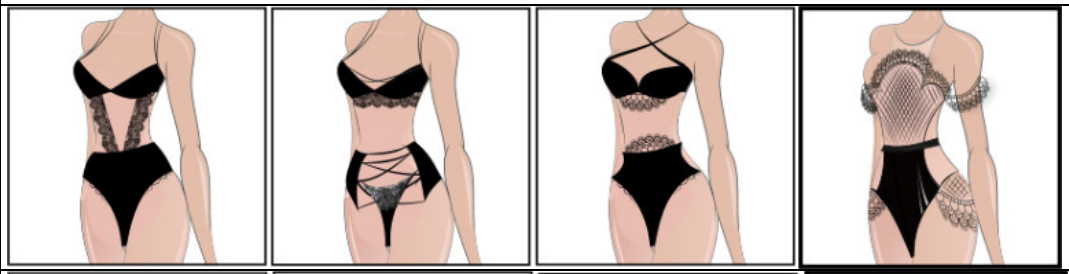
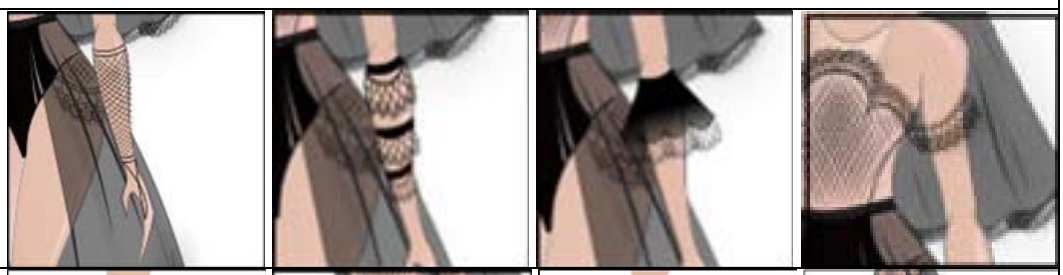
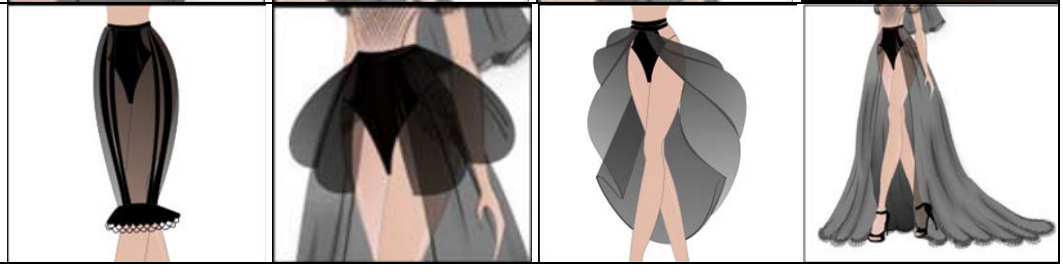
Основними матеріалами з різнофактурними композиціями обрано для виготовлення спідниці – гладкий напівпрозорий шифон, для корсету – візерунково-рельєфне мереживо у поєднанні з блискучим шовком та матовою трикотажною сіткою. Причому у корсетному виробі мереживо виступає як самостійний елемент, а бісер як оздоблювальний.

Виокремлення з образу творчого джерела певних елементів (рис. 2) дозволило доповнити фактуру матеріалу поясного виробу та головного убору легким та прозорим мереживом. Так, фестончата форма застосована при оформленні низу довгої розширеної спідниці і доповнена вишивкою бісером, що додає блиск і певну вишуканість. Форму і фактуру орнаменту мережива «Шантильї» відтворено в з'ємних нарукавниках, виготовлених повністю із бісеру, які кріпляться до корсетного виробу карабінами. Блиск та гладкість бісеру передається матеріалом для виготовлення поясного виробу.

На основі аналітичних досліджень з урахуванням інформації щодо різновидів бісеру, творчого джерела запропоновано ескізи-ідеї, фор-ескізи моделей складових ансамблю. Нами розроблено матрицю варіантів моделей ансамблю з метою забезпечення гармонійного конструктивного рішення. Модельний ряд можливих варіантів складових представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Матриця варіантів моделей виробів ансамблю

Вид виробу	**Варіанти**
Корсетні вироби	
Головний убір	
Рукавичні вироби	
Поясний виріб	

Виявлено і досліджено особливості композиційно-конструктивних рішень сучасних виробів, характерними ознаками якими є стилеутворюючі елементи [3]. Комбінування елементів мережива та вишивки можна розглядати як проекцію складових ліній та форми одного елемента на другий, що проглядається у творчому ескізі (рис. 3).

Мереживо, виразне за орнаментальною фактурою та монохромними кольорами і оздоблене блискучим бісером, постають ключовим елементом ансамблю, довкола якого формується і розвивається цілісність художньо-образного рішення.

а **б**

Рис. 3. Творчий ескіз сценічного ансамблю: а – вид спереду, б – вид ззаду

Найвиразнішими аспектами сценічного ансамблю є А-подібний силует, пластична форма, монохромні кольори, використання мережива і бісеру тощо. Корсетні вироби при цьому відтворюють форму тіла людини. Блискучий та гладкий бісер відтіняє шовк при виготовленні спідниці. Тональна палітра матеріалів костюму складає цікаву варіативність монохроматичних кольорів, чорний бісер слугує як градієнт у оформленні низу поясного виробу, насичено темна фурнітура передає прозорість, легкість та повітряність образу [4]. На основі аналітичних та експериментальних досліджень магістром кафедри ергономіки і проектування одягу КНУТД, автором статті, Лабенко О.А розроблено конструктивно-технологічне рішення ансамблю, виготовлено та представлено на VI фестивалі краси та стилю «Vinnytsia Fashion Days 2016/17» (рис. 4).

Естетична виразність і єдність образу сценічного ансамблю досягнута завдяки поєднанню фактури шифону і вишуканого мережива пов’язаному з декоруванням бісером у відповідних місцях виробів.

а б

Рис. 4. Фото сценічного ансамблю: а – вид спереду, б – вид ззаду

Висновки

За результатами досліджень визначено, узагальнено основні особливості та елементи фактур і форм творчого джерела та реалізовано в оптимальному композиційно-конструктивному рішенні моделей виробів ансамблю. Систематизовано різновиди бісеру за формою, розміром, покриттям, матеріалом, кольором, країною-виробником, способом виготовлення тощо. Обґрунтовано структуру взаємно підпорядкованих виробів і елементів сценічного ансамблю, розроблено творчий ескіз і матрицю варіантів моделей виробів ансамблю, на основі якого запропоновано їх конструктивно-технологічне рішення. Виготовлені вироби із вишивкою бісером представлено на Вінницьких днях моди 2016.

Література

1. Дизайн і ергономіка. Терміни та визначення : ДСТУ 3899-99. – [Чинний від 2000-04-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2000. – 32 с. – (Національний стандарт України).

2. Дубінецька Г.О. Систематизація елементів весільного одягу на основі принципів трансформації / Г.О. Дубінецька, Н.В. Остапенко, Т.В. Луцкер, Л.В. Навольська // Вісник ХНТУ. – 2016. – № 2(57). – С. 123–135.

3. Колосніченко М.В. Мода і одяг. Основи проектування та виготовлення одягу : навч. посібник / М.В. Колосніченко, К.Л. Процик – К. : КНУТД, 2011. – 238 с.

4. Пашкевич К. Л. Дизайн-проектирование коллекций одежды сложных объемно-пространственных форм на основе принципов тектоники / К. Л. Пашкевич // Вестник Казанского технологического университета. – 2016. – Т. 19, № 18. – С. 91–96.

Рецензія/Peer review : 23.1.2017 р. Надрукована/Printed :4.2.2017 р.
Статтю представляє: д.т.н., проф. Колосніченко М.В.

УДК 688.721 : 677.076.9

Т.В. ЛУЦКЕР, Н.В. ОСТАПЕНКО, Л.І. ЗУБКОВА, Л.А. ЧУК, Л.В. НАВОЛЬСЬКА
Київський національний університет технологій та дизайну

ОСОБЛИВОСТІ ДИЗАЙН-ПРОЕКТУВАННЯ І ВИГОТОВЛЕННЯ ТЕКСТИЛЬНИХ ЛЯЛЬОК

Мета – розробити дизайн-проект, запропонувати конструктивно-технологічні рішення текстильних авторських ляльок та на їх основі виготовити моделі колекції. Використано метод аналітичних досліджень та системного аналізу існуючих різновидів текстильних ляльок. Систематизовано різновиди текстильних ляльок за призначенням та особливостями конструктивно-технологічного виготовлення. На основі обраної стильової єдності розроблено і виготовлено колекцію авторських текстильних ляльок. На основі теоретичних досліджень систематизовано різновиди текстильних ляльок та їх конструктивно-технологічні особливості. Запропоновано підхід до дизайн-проектування колекції авторських текстильних ляльок. Систематизовано існуючий асортимент, стильові рішення та різноманітні конструктивно-технологічні варіації текстильних ляльок, що дозволило визначити особливості під час їх проектування і виготовлення.

Ключові слова: *авторська текстильна лялька, проектування та виготовлення текстильних ляльок, конструктивно-технологічні рішення текстильних ляльок.*

T. LUTSKER, N. OSTAPENKO, L. ZUBKOVA, L.CHUK, L. NAVOLSKA
Kyiv National University of Technologies and Design

FEATURES DESIGN-PLANNING And MAKING of TEXTILE DOLLS

Aim: Development is a design-project and making of authorial textile doll by classification of varieties of existent kinds with determination of them designer-technological decisions. Methodology: The method of analytical researches and analysis of the systems of existent varieties of textile dolls is used. Results: The varieties of textile dolls are systematized on purpose and by the features of the design-engineering making. On the basis of select stylish unity collection of authorial textile dolls is worked out and made. Scientific novelty: On the basis of theoretical researches the varieties of textile dolls are systematized and them design-engineering features. Offered approach to design-planning of collection of authorial textile dolls. Practical meaningfulness: An existent assortment, stylish decisions, classification signs, is systematized and various designer - technological variations of textile dolls, that allowed to define features at their planning and making.

Keywords: *authorial textile doll, planning and making of textile dolls, designer are technological decisions of textile dolls.*

Вступ

В сучасному світі сьогодення виникла потреба створення зовсім нових і креативних підходів до виготовлення особистих стилістичних виробів. Одним з перспективних та набуваючих стрімкого зросту течій прикладного мистецтва стало створення ляльок з текстилю. Поряд із якісною фабричної лялькою знову набула популярності авторська, яка виготовляється міцною, безпечною, ергономічною та має доступні засоби догляду. Вони стали невід'ємною частиною нашого життя, притягують до себе не тільки дітей, а й дорослих, і можуть бути використані в якості прикраси інтер'єру і модного аксесуару тощо.

Постановка завдання

Існуюча лялькова індустрія має безліч різноманітних технологічних і конструктивних відтворень авторів. Нажаль інформативна база для створення авторських ляльок дуже обмежена, та не відображає всього процесу проектування. Тому проведена систематизація існуючих різновидів текстильних ляльок та їх конструкторсько-технологічні особливості з метою створення дизайн-проекту та його реалізації у вигляді авторської колекції.

Результати досліджень

Вперше виготовлення ляльок виділилося в окреме ремесло в Древній Греції в 5–4 ст. до н.е. Незалежно від того, яку роль відігравала ляльки в конкретному регіоні різних історичних епох, очевидно, що визначення поняття «лялька» є досить складним і багатогранним, а сама вона багатолика і багатофункціональна. Текстильні ляльки за функціональною ознакою умовно розділяють на міфологічну – функції ляльки в міфології і віруваннях; обрядову – застосування ляльок в ритуально-обрядових і магічних практиках; ігрову – вживання їх в розвагах та іграх дітей, а також в обрядових дійствах.

В свою чергу текстильні обрядові ляльки умовно класифікують за функціональною ознакою на продуковані («заможність», «зольна», «стовбушка з дітками», «зерновушка», «вепська», «весільна» тощо); захисні («куватка», «трясовиця», «розрадниця», «Кузьма і Дем'ян», «стовбушка» тощо); очисні («зозуля», «купавка», «хрестець» тощо); також замісні.

В теперішній час спостерігається активний розвиток авторської ляльки, серед яких найбільшою популярністю користуються текстильні ляльки. В свою чергу ляльки можна ідентифікувати за стильовим рішенням їх виконання, серед яких найбільш розповсюдженими є «Тряпієнс», «Дахова», «Тиквоголівка», «Тільда», «Сніжка», «Мотанка», «Вальдорфська» тощо. Така популярність текстильної ляльки в самих широких колах свідчить про феномен актуалізації та обумовлює вивчення її не тільки як художнього явища, але і враховує особливості при проектуванні та виготовленні.

На ляльковому терені їх розпізнають за стилем, за смисловим наповненням - нескінченно жіночні, витончені, яскраві, динамічні, харизматичні персонажі.

Умовно можна класифікувати текстильні ляльки за призначенням на чотири групи. До першої

можна віднести ігрові обрядові або ритуальні ляльки, які в свою чергу вміщують ляльку-іграшку, театральну, розвиваючу іграшку. Наступні обрядові або ритуальні – це, мабуть, найдавніші ляльки в історії кожного народу, що виконували функції талісманів-оберегів, а також були засобом передачі дітям вірування і культури народу. Третя група – це практичні ляльки, які виконують прикладну функцію такі як баби на чайник, ляльки – пакетниці тощо. Завершують дану класифікацію інтер'єрні ляльки, до яких відносять сувенірні, національні, вітринні тощо.

Таблиця 1

Узагальнена систематизація текстильних ляльок за призначенням

Групи	Зображення моделей текстильних ляльок за призначенням		
	1	2	3
Ігрові ляльки 1. Вальдорфська 2. Примітивні 3. Театральні			
Інтер'єрні ляльки 1. Сувенірні 2. Вітринні 3. Національні			
Обрядові ляльки 1. Ляльки-мотанки 2. Лялька-оберіг 3. Ритуальна лялька			
Практичні ляльки 1. Лялька-пакетниця 2. Баба на чайник 3. Лялька-голниця			

Текстильні ляльки дуже різноманітні і їх, в свою чергу, можна класифікувати за видами: лялька-модель (воскова, лякало, сувенірна, салонова, виставкова, колекційна, інтер'єрна); лялька-іграшка (іграшка, театральна, мультиплікаційна, телевізійна тощо); національна (оберіг, ритуальна, обрядова, етнічна). Різноманіття авторських текстильних ляльок можна також умовно поділити за способом з'єднань деталей на шарнірні, каркасні, нерухомі, механічно-автоматичні тощо, які можуть виготовлятися з одного чи декількох матеріалів, зокрема композиційних.

Відомо, що при дизайн-проектуванні та виготовленні текстильних ляльок необхідно враховувати конструкцію виробу, технологічні особливості та матеріали для їх виготовлення.

Виготовлення текстильних ляльок передбачає як машинний так і ручний способи, а також метод з'єднання, зокрема частин тулуба може бути умовно-рухомим (каркасним). Машинний спосіб

використовують для з'єднання деталей тулуба, верхніх, нижніх кінцівок, голови, костюма та аксесуарів тощо. Вручну автор моделює риси обличчя, оформлює та закріплює волосся і з'єднує частини тіла з головою, нижніми та верхніми кінцівками [1].

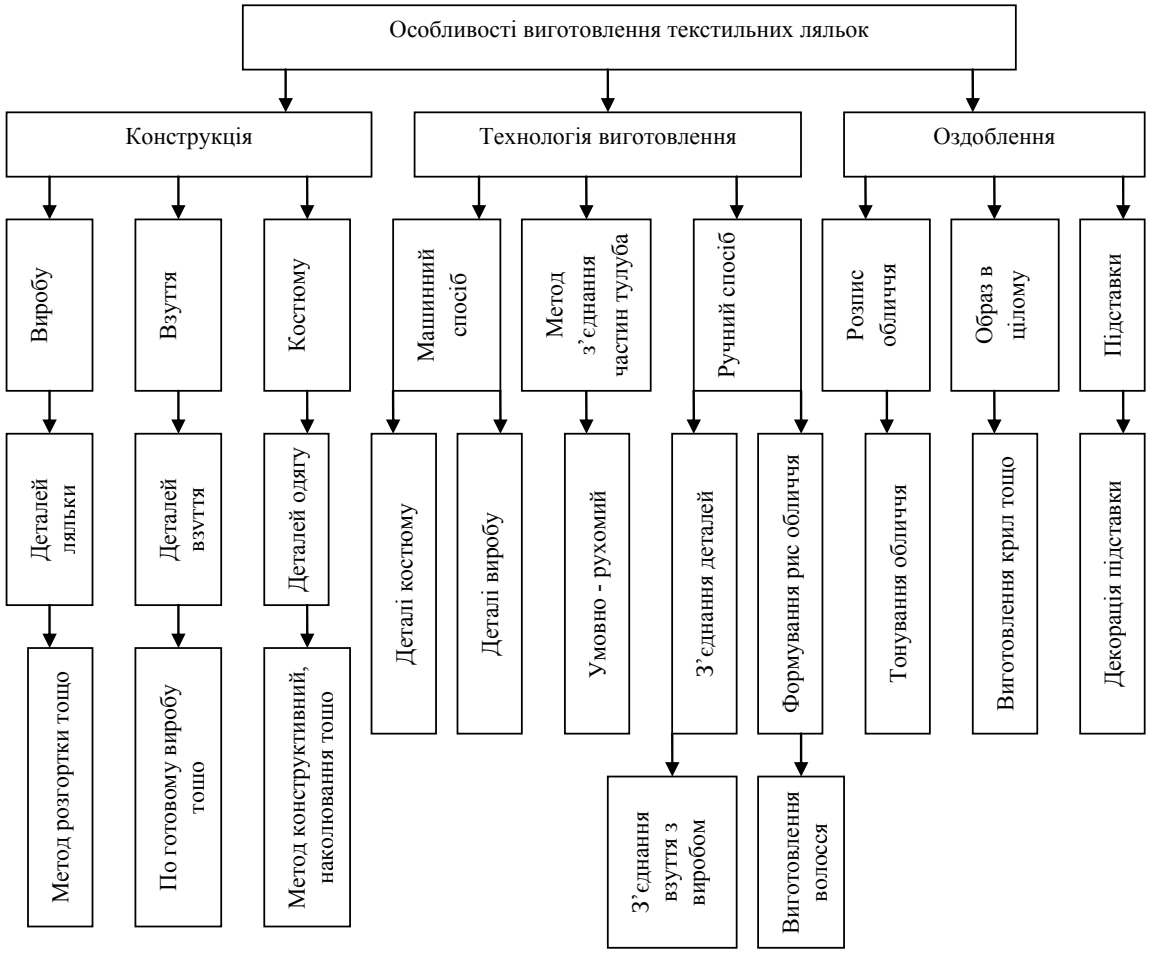


Рис.1. Особливості виготовлення текстильних ляльок

При створенні конструкції текстильної ляльки повинно бути враховано виріб в цілому – тіло, яке проектується за рисунком автора, костюм, аксесуари і взуття, які створюються з цілого шматка, конструктивним та методом наколювання, розгортки, тощо.

Протягом різних історичних періодів для виготовлення текстильних ляльок використовувалися різні матеріали – від деревини і пап'є-маше до фарфору та сучасних матеріалів, які зручні в роботі та пропонують нові ідеї для творчості.

Матеріали для створення текстильних ляльок умовно поділяють на основні: для деталей виробу (тканина, трикотажне полотно); для костюма та аксесуарів (шовк, віскоза, бавовна тощо); для набивки деталей виробу (холлофайбер, синтепон тощо); для взуття (шкіра, бавовна, вовна тощо). Прикладні поділяють для каркаса (дріт, синтепон, нитки тощо); для підставки (дерево, бамбук, дріт, мармурова крихта тощо); для волосся (пряжа бавовняна, вовняна, канат з штучних ниток тощо). Оздоблювальні матеріали призначаються для оформлення обличчя виробу (фарба для тканин, клей, лак, олівці для макіяжу тощо); для декоруючих елементів костюму (стрічки, бісер, мереживо, фетр тощо); для декоруючих елементів образу і підставки.

Серед найбільш уживаніших можна виділити дві основні методики проектування текстильної ляльки - колажну і скульптурну. При виготовленні ляльки по колажній методиці технологічно необхідних етапів налічують шість (ескіз, створення скульптурних частин, виготовлення перуки, розробка каркаса і створення форм тіла ляльки, виготовлення костюма, закріплення її на підставці). Скульптурна методика передбачає чотири етапи (ескіз, створення основного об'єму, розпис, закріплення ляльки на підставці) [2]. На кожному вказаному етапі створюються художньо-значимі елементи, які утворюють систему і є взаємопов'язаними.

Виготовлення ляльок займає особливе місце серед інших видів декоративно-прикладних ремесел. З наукових праць та інших джерел про методи декорування костюма ляльок недостатньо, що призводить до відсутності інформаційної бази щодо способів виготовлення конкретного комплексу лялькового одягу. До основних видів оздоблення костюма належить вишивка, аплікація, плетіння та в'язання, ручне ткацтво, розпис тканини тощо. Також використовують в обробці костюма дріт, фольгу та інші матеріали.

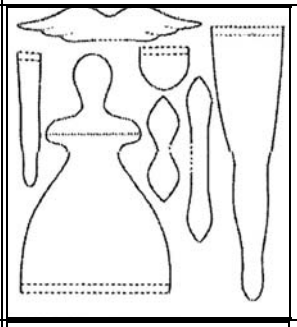
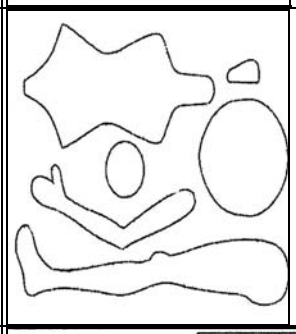
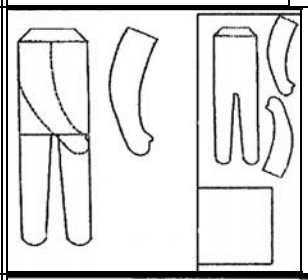
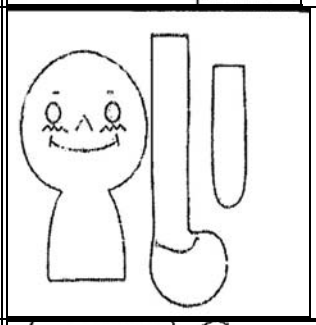
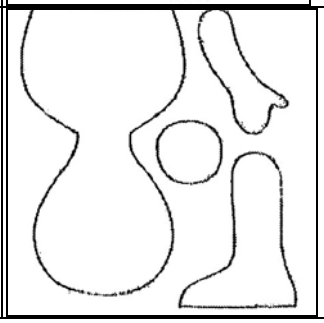
Особливим видом декорування є аплікація, за умов пришивання одного шару матеріалу на другий

за допомогою вишивальних стібків. Краї аплікацій можна оздобити шнуром, стрічками, джгутом, тасьмою і т.д. При виготовленні деяких моделей одягу для ляльок іноді потрібні і інші способи декорування, наприклад ткацтво, розпис по тканині, в'язання гачком, макраме, тиснення по фользі, плетіння з дроту та ін.

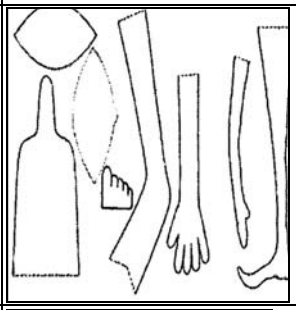
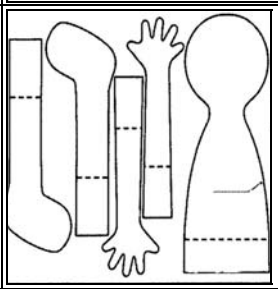
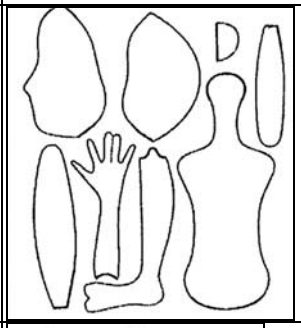
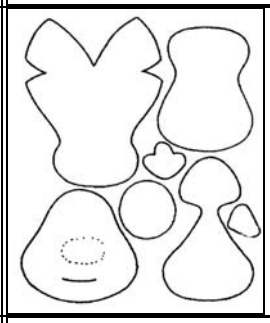
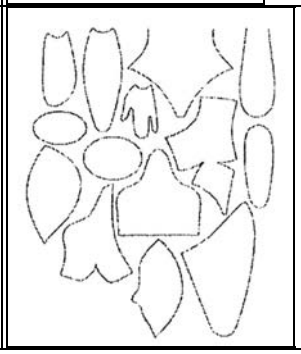
Сформовано варіанти композиційного, конструктивного і пластичного рішення форми текстильних ляльок, що приведені в таблиці 2 за ведучими стильовими рішеннями і надано їх основні характеристики форм, матеріалів і декору, кольорових та фактурних сполучень. Порівняльна характеристика різноманіття текстильних ляльок дозволяє співставити особливості проектування різних стильових рішень, що наочно представлено в таблиці 2.

Таблиця 2

Порівняльна характеристика різноманіття текстильних ляльок

	Стильові рішення	Особливості рис обличчя, волосся тощо	Графічний рисунок конструкцій виробів	Зображення моделей ляльок
1	2	3	4	5
1	Лялька-Тільда	Очі чорні крапки-вузлики Тоноване тіло, має загар Рум'яні щічки Волосся з вовняної пряжі		
2	Лялька-Трапієнс	Розпис акриловими фарбами обличчя Очі – чорні рисочки дугою Наявність рум'ян Волосся штучне – треси, перуки		
3	Вальдорфська лялька	Очі вишиті чорними крапками Обличчя без емоцій Волосся з вовняної пряжі		
4	Лялька Регедді Енн	Чорні вишиті очі. Червоний трикутником вишитий ніс. Руде волосся з вовняної пряжі. Обов'язково білий фартух Вишите сердечко на сукні.		
5	Лялька Сніжка	Очі чорні нарисовані Волосся синтетичне Стійки великі ноги Шапка в'язана Взуття велике Модне вбрання Аксесуари різні		

Продовження табл. 2

1	2	3	4	5
6	Лялька Тиквоголівка	Прорисовані очі, губи, ніс. Обличчя ґрунтоване Велика голова Тоненькі ніжки та ручки. Волосся з овечої пряжі, чи вовняних ниток		
7	Горищна лялька	Очі – ґудзики Ніс прямокутний Волосся кошлате Вигляд потертості, старіння, зношування. Тонування клеєм, чаєм, корицею.		
8	Лялька Мотанка	Сакральна лялька Голова-скручена сварга, Хрест на обличчі, Без очей Без вузлів матеріалу Вплітають сухі трави		
9	Шарнірна лялька	Очі та вії пришиваються до обличчя, або прорисовуються. Волосся: перуки, треси, синтетичні нитки або пряжа вовняна. Каркас з дроту. Шарнірне з'єднання деталей.		
10	Панчішно-текстильна лялька	Ляльки створені в скульптурній техніці. Всі риси обличчя виконуються утягуванням. Очі та вії пришиваються. Волосся : перуки, треси синтетичні.		
11	Авторська лялька	Ляльки виконуються в змішаній техніці, конструкція деталей створена автором. Очі прорисовані або пришиті. Волосся з різних матеріалів. Розпис обличчя, макіяж.		

На підставі проведеного дослідження з особливостей проектування і виготовлення текстильних ляльок автором виконано і представлено роботи на XIII Міжвузівському конкурсі молодих дизайнерів одного образу «Сузір'я каштан», що відбувається щорічно у КНУТД, в номінації «Декор» і отримано призове місце. Моделі колекції виготовлені магістром кафедри ергономіки і проектування одягу КНУТД Чук Л.А. Фото моделей колекції представлено на рис. 2–5.

а б

Рис. 2. Фото текстильної ляльки «Ельфійка» спереду (а) та її обличчя (б)

а б

Рис. 3. Фото текстильної ляльки «Себель» спереду (а) та її обличчя (б)

а б

Рис. 4. Фото текстильної ляльки «Купідон» збоку (а) та її обличчя (б)

а б

Рис. 5. Фото текстильної ляльки «Вики-янгол» спереду (а) та її обличчя (б)

Авторська лялька приваблює в своїй спробі створення такого неповторного образного і стильового рішення, як заманеться митцю її індивідуальність, несхожість завдяки фантазії і навикам породжує унікальне творіння.

Висновки

В ході реалізації авторського задуму на початку з'являється ідея, яка свідомо трансформується в поетапність виконання конструктивно-технологічних рішень. Виявлення естетичного значення форми, її суцільного рішення, логічного вираження в конструкції, технології виготовлення і матеріалі сприяють гармонійній цілісності під час створення текстильних ляльок. Велике розмаїття способів виготовлення і оздоблення костюма дає можливість художнику створювати унікальний образ текстильних ляльок.

Література

1. Чуркіна Л. Уроки мастерства / Л. Чуркина. – М. : Дизайн кора 2007. – 116 с.
2. Гребенщиков Л. Г. Основы куклотерапии / Л. Г. Гребенщиков. – СПб : Галерея кукол 2007. – 122 с.
3. Лопусова-Томская Н. Секреты кукольного мастера / Н. Лопусова-Томская. – М. : Дизайн кора 2007. – 214 с.
4. Систематизація елементів весільного одягу на основі принципів трансформації / [Г.О. Дубінецька, Н.В. Остапенко, Т.В. Луцкер, Л.В. Навольська] // Вісник ХНТУ. – 2016. – № 2(57). – С. 123–135.

Рецензія/Peer review : 11.1.2017 р. Надрукована/Printed :4.2.2017 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Колосніченко М.В.

УДК 677.532: 687

О.В. НАХАЙЧУК, Е.А. ЗАХАРОВА, А.А. МІЗРАХ
Вінницький інститут конструювання одягу і підприємництва

ВИКОРИСТАННЯ СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ АНТРОПОМЕТРИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

В даній статті показана можливість використання статистичних методів дослідження антропометричних даних жінок молодшої вікової групи з використанням контактного вимірювального методу. Враховано вплив на тілобудову вікового фактору та процесу акселерації. Авторами розроблений бланк обмірів, у який ввійшли як гостовані, так і негостовані (основні та додаткові) розмірні ознаки. Розглянуто особливості тілобудови жінок, їх характер, форми, які мають вплив на посадку поясних виробів на фігурі: форма живота, форма стегон, форма сідниць, форма ніг, типи постави, варіанти нахилу тазу залежно від постави. Аналіз результатів вказує на можливість перегляду нормативних значень ОСТу для жінок даної вибірки, оскільки виявлено аномальні та близькі до них величини дослідних розмірних ознак.

Ключові слова: розмірні ознаки, тілобудова, поясні вироби, антропометричні особливості, виміри.

O.V. NAKHAYCHUK, E.A. ZAKHAROVA, A.A. MIZRAH
Vinnytsia Institute of Designing of Clothes and Entrepreneurship

USING STATISTICAL METHODS OF ANTHROPOMETRIC RESEARCH INFORMATION

This article shows the use of statistical research methods of anthropometric data of younger women using the contact measuring method. Included impact on the figure of the age factor and process acceleration. The authors developed a form measurements, which came in as state standards and not state standards (basic and additional) dimensional signs. The features of constitution of women, their nature, form, influencing the landing lap FIG products: belly shape, the shape of the hips, buttocks shape, the shape of the feet, bearing types, variants pelvic tilt depending on the posture. Analysis of the results indicates the ability to view the norms in the OST for women of the sample as abnormal and close to them the value of dimensional signs.

Keywords: dimensional features, figure, half-length articles, anthropometric characteristics, dimensions.

Вступ

Одяг масового виробництва для жінок проектують на типові фігури згідно ОСТ 17-326-81 "Изделия швейные, трикотажные, меховые. Типовые фигуры женщин. Размерные признаки для проектирования одежды" [1]. В якості вихідної інформації для проектування одягу використовуються дані: про тілобудову людини, форму (силует) одягу, типовий крій (характер членування одягу на частини – деталі), проектовану технологічну обробку для надання об'ємної форми деталям [1].

Відомо, що існуючі ОСТи наводять розмірні ознаки типових фігур жінок, які не є досить достовірними для України внаслідок антропометричних особливостей населення, екологічних змін, які відбулися на нашій території та процесу акселерації. Одним з напрямків вирішення цієї проблеми може бути:

- вибір методу дослідження для визначення типів фігур та їх особливостей для проектування швейних виробів;
- дослідження антропометричної інформації жінок для проектування швейних виробів;
- розробка програми дослідження, проведення обмірів фігур та обробка результатів обміру;
- виділення найбільш розповсюджених типів та особливостей тілобудови фігур жінок.

Експериментальна частина

Для визначення типу фігури та її особливостей існують як контактні, так і безконтактні методи дослідження фігури. Більш раціональним методом для цього дослідження є контактний, як такий, що дозволяє проводити обміри у будь-яких приміщеннях та не потребує використання пристроїв великої вартості. Існує три способи визначення розмірів на тілі. В даній роботі були використані два з цих способів: вимірювання відстаней між двома точками в проекції на певну площину та визначення розмірів по поверхні тіла.

Для вимірювання висот антропометричних точок над підлогою та відстаней між двома точками використовують антропометр і дві взаємно перпендикулярні лінійки відповідно. Для визначення дугових розмірів – сантиметрову стрічку.

Всі розміри вимірювалися з точністю до 1 мм. Перед початком та в процесі вимірювань всі інструменти були ретельно перевірені, особливо сантиметрова стрічка, так як градуювання на ній може бути нанесеним недостатньо точно. Крім того, в процесі використання стрічка витягується, що робить її непридатною для використання [2]. Результати дослідження визначались також за допомогою візуально-описового методу, який дозволив систематизувати отримані величини вимірювань та отримати вербальну характеристику кожного окремого об’єкта.

В процесі досліджень були розглянуті та проаналізовані типи тілобудови жінок за різними авторами [2, 3]. Розглянуто вплив вікового фактору на тілобудову та встановлено, що з віком збільшується розмір підшкірно – жирового шару, що призводить до значної зміни форми тіла. Також на розміри тіла значно впливає процес акселерації. Враховано, що основними координатами, які використовуються в схемах

морфологічної конституції, є координата вузько-широкоскладеності, кістково-м'язова та жирова.

В роботі розглянуто особливості тілобудови жінки, їх характер, форми, які мають вплив на посадку поясних виробів на фігурі: форма животу, форма стегон, форма сідниць, форма ніг, типи постави, варіанти нахилу тазу в залежності від постави.

Для проведення обміру були обрані класичні пристрої [2, 3]. Досліджувалась молодша вікова група 18–29 років. Розроблено бланк обміру. Для проведення експерименту обрано 50 жінок, як представники міського населення. Виходячи з того, що при складанні вибірки буде враховуватись випадковий вибір осіб, передбачалось, що отримані результати будуть доволі відрізнятись одні від інших.

Зважаючи на те, що отримані під час обмірів результати будуть порівнюватись з даними [1], для визначення особливостей тілобудови жінки, обмірювання проводись за загальними правилами.

Відомо, що розміри тіла мають помітні відмінності в залежності від положення об’єкта вимірювання. Тому всі вимірювання проводяться в суворо визначеній позі: об’єкт стоїть прямо, без напруження, зберігаючи звичну поставу; голова фіксується в певному положенні (око-вушній горизонталі). Руки об’єкта опущені вздовж тіла, пальці витягнуті, ноги випрямлені в колінах, п’ятки разом, носки розвинуті. Обміри проводяться по білизні, зранку у добре провітреному приміщенні.

При проведенні антропометричних обслідувань для отримання точних та порівняних даних виміри виконують або між певними точками на тілі людини (антропометричними), або по точно окресленим границям на м'яких тканинах, специфічним шкіряним утворенням.

Зважаючи на те, що точка на лінії талії слугує відправним пунктом для багатьох вимірів, її фіксують резиновим шнуром. В нашому випадку положення лінії талії з лівого боку визначають не перенесенням відповідної точки з правого, забезпечуючи її горизонтальне положення, а навпаки дають можливість шнуру розташовуватись згідно з природним її положенням. Це дає можливість фіксувати наявність асиметрії фігури, якщо така присутня [2].

Звичайно фігура жінки характеризується розмірними ознаками наведеними в ОСТ 17-326-81 [1]. Тому перш за все вибираємо з переліку ознак ОСТу ті, які характеризують форму та розміри нижньої частини фігури, та такі особливості фігури, які мають значення для проектування поясних виробів. Це:

1. Зріст (З) – вимірюють по вертикалі відстань від підлоги до верхівкової точки.

2. Висота лінії талії (Влт) – вимірюють по вертикалі відстань від підлоги до лінії талії.

3. Висота підсідничної складки (Впс) – вимірюють по вертикалі відстань від підлоги до середини підсідничної складки.

4. Висота колінної точки (Вкт) – вимірюють по вертикалі відстань від підлоги до колінної точки.

Для фіксації даних, які будуть отримані в процесі дослідження, розроблено бланк обміру представлень. Бланк містить в собі відомості про особу, яку обміряють, її вік. Основна частина бланку складається з наскрізної нумерації, переліку розмірних ознак та їх позначень, та колонки для фіксування результатів обмірів по кожній з ознак відповідно. Поряд знаходиться колонка в яку заносяться величини розмірних ознак з ОСТу для даного розміру. Нижня частина бланку передбачена для занесення в неї словесної характеристики тієї чи іншої фігури, та узагальнення отриманих результатів.

Після проведення обмірювань та обробки отриманих результатів, передбачалось виділення середнього розміро-зросту.

Був проведений аналіз результатів обмірів з метою визначити та згрупувати ті особливості тілобудови, які найчастіше зустрічаються серед жінок вказаної вибірки. В бланках обмірів поряд з колонкою, куди заносились величини фактичних розмірних ознак, розташована колонка, куди заносяться відповідні значення розмірних ознак згідно з ОСТ для кожного з розмірів. Потім ці величини порівнювались та визначалось відхилення по кожній з величин в ту чи іншу сторону.

Аналіз антропометричних даних виявив характеристики типової і індивідуальної фігуру жінки молодшої вікової групи з метою виявлення відхилень від значень, наведених в ГОСТах, з використанням методів математичної статистики [4, 5].

Аналітична методика вважається надійною, якщо її відносна максимальна похибка на перевищує деякого встановленого значення (як правило, не більше 5 %). При наявності декількох методик для визначення одного і того ж параметру бажано вибрати ту, в якій похибка має мінімальне значення. Похибка методики оцінюється за результатами паралельних визначень одного досліду.

Розрахунки проводили в такій послідовності:

За параметр X=const приймалася одна із антропометричних характеристик жінки, що відповідає прийнятому значенню ГОСТу, за параметри У – значення вимірів відповідних груп жінок. Середнє значення вихідного параметру визначалося за формулою:

$$Y_{cp} = \frac{\Sigma Y_i}{m}, \quad (1)$$

де m – кількість вимірів.

Значення вибіркової дисперсії, яка характеризує міру відхилення результатів від середнього значення, знаходили як:

$$S_u^2 = \frac{\Sigma(Y_i - Y_{cp})^2}{f_u}, \quad (2)$$

де $f_u = m - 1$ – число ступенів вільності дисперсії.

Результати розрахунку за формулою (2) були використані для визначення середньоквадратичної похибки окремих результатів:

$$S_u = \sqrt{S_u^2}, \tag{3}$$

В подальшому оцінювалась анормальність отриманих результатів з використанням 2-х способів – за допомогою критерію промаху *K* та критерію анормальності *H*:

$$K = 3 \cdot S_u; \qquad Y_{cp} - K \le Y \le Y_{cp} + K, \tag{4}$$

$$H_{\min} = \frac{Y_{cp} - Y_{\min}}{S}; \qquad H_{\max} = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{S_u}, \tag{5}$$

Розраховані значення критерію анормальності, розраховані за формулою (5), порівнювались із табличними значеннями $H_{\max} = f(\sigma, m)$; значення σ було прийнято σ =0,05.

В подальшому, виявлені анормальні результати були прийняті за основу надання рекомендацій щодо перегляду деяких нормативних значень ОСТів. Наприклад, для типових фігур (табл. 1).

Таблиця 1

Статистичні дані типових фігур жінок

Типова фігура 1 (164-96-100)								
1	Висота лінії талії	104	103	102	104	103,5	101	103
2	Висота підсідничної складки	77	72,3	72	74	74	72,5	73,6
3	Висота колінної точки	47,5	47	45	49	48,3	46,3	45.4
Типова фігура 2 (164-96-104)								
1	Висота лінії талії	105	104	104	104			
2	Висота підсідничної складки	75,5	75	75	77,5			
3	Висота колінної точки	45	47	47	47			
Типова фігура 3 (164-92-96)								
1	Висота лінії талії	102	101	106,3	101	98,5	103	
2	Висота підсідничної складки	73	78	73	69,1	72,5	69,8	
3	Висота колінної точки	48	50,2	48	43,7	47,5	45,2	
Типова фігура 4 (164-88-92)								
1	Висота лінії талії	100	100	102,5				
2	Висота підсідничної складки	73,3	70	76,5				
3	Висота колінної точки	46,8	48,5	48				

Для типових фігур, характеристики яких наведені в таблиці 1, за представленою вище методикою були виконані розрахунки, результати яких наведені в таблиці 2.

З отриманих результатів випливає, що для типової фігури 2 (164-96-104) можливо надання рекомендацій щодо зміни значень ГОСТу. Можна також стверджувати, що для типової фігури 1 (164-96-100) необхідно провести додаткові дослідження розмірів висоти підсідничних складок.

Таблиця 2

Результати досліджень статистичних даних

Типова фігура 1 (164-96-100)							
	S_u	K	Y_c-K	Y_c+K	H_{min}	H_{max}	$H_{табл}$
1	1,097	3,29	99,64	106,22	0,98	1,76	1,97
2	1,7	5,1	68,53	78,73	0,78	1,98*	1,97
3	1,47	4,41	42,52	51,34	1,31	1,41	1,97
Типова фігура 2 (164-96-104)							
1	0,5	1,5	102,7	105,7	0,5	1,5*	1,5
2	1,19	3,57	72,18	79,32	0,63	1,5*	1,5
3	1	3	43,5	49,5	0,5	1,5*	1,5
Типова фігура 3 (164-92-96)							
1	2,6	7,8	94,17	109,7	1,33	1,66	1,86
2	3,15	9,45	63,12	82,01	1,1	1,72	1,86
3	2,3	6,9	40,18	54,01	1,34	1,47	1,86
Типова фігура 4 (164-88-92)							
1	1,44	4,33	96,5	105,1	0,58	1,15	1,22
2	3,25	9,75	63,5	83,02	0,99	1	1,22
3	0,87	2,62	45,15	50,39	0,84	1,1	1,22

* – позначені аномальні та близькі до них результати.

Висновки

В представлених дослідженнях був використаний контактний вимірювальний метод як найбільш доступний. Проведення обмірів виконувались класичними інструментами (антропометр, сантиметрова стрічка та взаємно перпендикулярні лінійки). Обрана молодша вікова група 18–29 років для проведення обміру та розроблено бланк обмірів, у який увійшли як гостовані (основні та додаткові) розмірні ознаки, так і не гостовані.

В роботі були проведені обміри згідно з ОСТ 17-326-81 та виконана математична обробка результатів дослідження. Було визначено антропологічні особливості, які зустрічаються найчастіше серед жінок даної вибірки. Аналіз отриманих результатів дослідження жінок показав, що найбільш розповсюдженими особливостями фігур жінок є наступні: лінія талії завищена, лінія коліна завищена, лінія підсідничної складки завищена – у 15% жінок. Найчастіше зустрічаються жінки зі зростом 164 см – 18% та зі зростом в околі 170 см – 36%.

Рекомендовано переглянути нормативні значення ОСТу для жінок даної вибірки, оскільки виявлено аномальні та близькі до них значення розмірних ознак, які досліджувались.

Література

1. ОСТ 17-326-81. Изделия швейные, трикотажные, меховые. Типовые фигуры женщин. Размерные признаки для проектирования одежды.

2. Основы конструирования одежды / Коблякова Е.Б., Савостицкий А.В., Ивлева Г.С. и др. – М. : Легкая индустрия, 1980. – 448 с.

3. Дунаевская Т.Н. Размерная типология населения с основами анатомии и морфологии / Дунаевская Т.Н., Коблякова Е.Б., Ивлева Г.С. – М. : Легкая индустрия. 1980. – 216 с.

4. Жлуктенко В. І. Теорія ймовірностей з елементами математичної статистики / Жлуктенко В. І., Наконечний С. І. – К. : НМК ВО, 1991.

5. Горбань С. Ф. Теория ймовірностей і математична статистика / Горбань С. Ф., Сніжко Н. В. – К. : МАУП, 1999.

Рецензія/Peer review : 6.1.2017 р. Надрукована/Printed :4.2.2017 р.
Рецензент : к.ф-м.н., доцент Шньорко В.М.

УДК 685.31

В.Ю. ЩЕРБАНЬ, Н.І. МУРЗА, А.М. КИРИЧЕНКО, М.І. ШОЛУДЬКО
Київський національний університет технологій та дизайну

ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ КОМПЕНСАТОРІВ НАТЯГУ НИТКИ ТРИКОТАЖНИХ МАШИН

В роботі наведені результати досліджень з визначення ефективності роботи компенсаторів натягу нитки за умови змінного вхідного натягу з урахуванням її реальних фізико-механічних властивостей. В роботі досліджувалися компенсатори з пружнім елементом. Отримані результати використовувалися для удосконалення технологічних процесів трикотажної промисловості.

Ключові слова: нитка, компенсатор натягу нитки, тертя, пружній елемент, коефіцієнт тертя.

V.YU. SHERBAN, N.I. MURZA, A.N. KIRICHENKO, M.I. SHOLUDKO
Kyiv National University of Technologies and Design

OVERALL PERFORMANCE OF COMPENSATORS OF THE TENSION OF THE FILAMENT OF KNITTED CARS

Imperfection of a design of compensators of a tension of a filament does not allow to carry out stabilisation of a tension in the course of work of the knitted car. Oscillation of an entrance tension speaks deficiencies of a design of compensators, oscillations of an entrance tension, irregularity to diameter a filament cross-section. The solution of this problem has great value for development of processes of the knitted industry on the basis of raise of productivity of the process equipment and quality of released products. Thus, the theme of given paper is actual which has great value for development of a design of existing compensators of a tension and working out of the new. Installations and research methods. Tension compensators are a component of a feeding system of a filament of the process equipment of the knitted industry. Imperfection of a design of compensators of a tension does not allow to carry out its stabilisation in the course of work of the process equipment and leads to infringement of a technological regime. First of all, it is influenced by irregularity of a filament to diameter that irregularity of an entrance tension speaks its structure and a material, specificity of manufacturing of a filament, in the length of separate elementary elements and their mutual bracing rather to each other, and also. A theoretical basis at the solution of a scientific and technical problem are works of leading scientists in branches of production engineering of textile and knitted manufactures, textile materials technology, mechanics of a filament, theory of elasticity, mathematical modelling. In theoretical researches methods of theoretical mechanics, a strength of materials, design of experiments and statistical machining of results of researches are used. Practical value. Development of a design of compensators of a tension of a filament of knitted cars allows to stabilise their tension, to reduce filament breakages that has great value for development of processes textile and clothing industry from a position of raise of productivity of the process equipment and quality of released products.

Keywords: a thread, the jack of a tension of a thread, a friction, an elastic element, friction factor.

Вступ

Актуальність. Недосконаліть конструкції компенсаторів натягу нитки не дозволяє здійснювати стабілізацію натягу в процесі роботи трикотажної машини [1]. Коливання вихідного натягу пояснюється недоліками конструкції компенсаторів, коливаннями вхідного натягу, нерівномірністю по діаметру поперечного перетину нитки. Вирішення цієї задачі має важливе значення для удосконалення технологічних процесів трикотажної промисловості з позиції підвищення продуктивності технологічного устаткування та якості готової продукції [1–3]. Таким чином, тема даної статті є актуальною, яка має важливе значення для удосконалення конструкції існуючих компенсаторів натягу та розробки нових.

Об'єкти і методи дослідження. Компенсатори натягу є складовою частиною системи ниткоподачі технологічного устаткування трикотажної промисловості. Недосконаліть конструкції компенсаторів натягу не дозволяє здійснювати його стабілізацію в процесі роботи технологічного устаткування і призводить до порушення технологічного режиму [2]. В першу чергу, на це впливає нерівномірність нитки по діаметру, що зумовлено її структурою і матеріалом, специфікою виготовлення нитки, довжиною окремих філаментів та їх взаємним розташуванням відносно один до одного, а також нерівномірність вхідного натягу. Теоретичною основою при вирішенні науково-технічної проблеми є праці провідних вчених в галузях технології текстильного та трикотажного виробництв, текстильного матеріалознавства, механіки нитки, теорії пружності, математичного моделювання. У теоретичних дослідженнях використано методи теоретичної механіки, опору матеріалів, планування експерименту та статистичної обробки результатів досліджень.

Практичне значення. Удосконалення конструкції компенсаторів натягу нитки трикотажних машин дозволяє стабілізувати їх натяг, зменшити обриви нитки, що має важливе значення для удосконалення технологічних процесів текстильної та швейної промисловості з позиції підвищення продуктивності технологічного устаткування та якості готової продукції [1, 3].

Постановка завдання

Оцінити ефективність роботи компенсаторів натягу нитки трикотажних машин з урахуванням реальних фізико-механічних властивостей, структури та матеріалу нитки, зокрема її нерівномірності по діаметру поперечного перетину при умові змінного значення вхідного натягу.

Основна частина

Урахування реальних фізико-механічних властивостей, структури та матеріалу нитки, зокрема її нерівномірності по діаметру поперечного перетину $d_н$ та умови змінного значення вхідного натягу P_o можна представити наступними поліномами [1]

$$d_н = 2r_н = \sum_{i=1}^{n}(a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t),\ P_o = \sum_{i=1}^{n_1}(c_i \sin \omega_{1i} t + d_i \cos \omega_{1i} t), \quad (1)$$

де a_i, b_i – амплітуди зміни i-ї гармоніки поперечного перетину; ω_i – частота зміни поперечного перетину i-ї гармоніки; n – число гармонік для поперечного перетину; c_i, d_i – амплітуди зміни i-ї гармоніки вхідного натягу; ω_{1i} – частота зміни вхідного натягу i_1-ї гармоніки ; n_1 – число гармонік для вхідного натягу t – час.

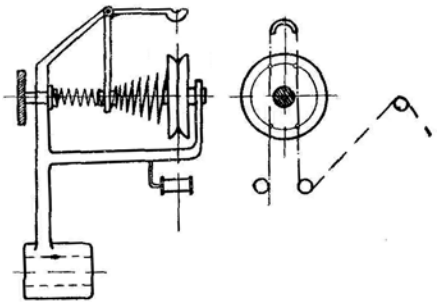


Рис. 1. Шайбовий компенсатор натягу нитки

На рис. 1 представлено загальний вигляд шайбового компенсатору натягу нитки. Нитка проходить між двома шайбами, огинає рухомий фігурний важіль, знову проходить між двома шайбами та поступає в зону в'язання. Важіль має можливість здійснювати обертальний рух навколо вісі. Друге плече важеля фіксується за допомогою двох пружин стискання. Необхідний тиск в зоні контакту нитки з шайбами забезпечується деформацією пружин стискання. Визначимо значення вихідного натягу нитки P_1 з урахуванням нерівномірності нитки по діаметру, що зумовлено її структурою і матеріалом, специфікою виготовлення нитки, довжиною окремих філаментів та їх взаємним розташуванням відносно один до одного при умові змінного значення вхідного натягу. Зростання натягу нитки відбувається за рахунок контакту (рис.1) нитки з верхньою та нижньою шайбами в точках 1–4 та контактом нитки з направляючим стрижнем по дузі. Сили стискання пружин можна визначити з наступних рівнянь

$$N_1 = c_1(\lambda_1 + d_н),\ N_2 = c_2(\lambda_2 + d_н),\ p_1 = p_2 = p_3 = p_4 = \frac{N_1}{4} = \frac{c_1(\lambda_1 + d_н)}{4}, \quad (2)$$

де N_1, N_2 – сили стискання першої та другої пружин; c_1, c_2 – коефіцієнти жорсткості першої та другої пружин; λ_1, λ_2 – початкова деформація першої та другої пружин; $d_н$ – поточне значення діаметру нитки; p_1, p_2, p_3, p_4 – сила нормального тиску в точках.

Необхідно зазначити, що у виразі (2) необхідно враховувати деформацію поперечного перетину нитки в точках 1–4 з урахуванням ширини площини контакту, модуля пружності нитки на зминання [1,3]. Але в умовах нашої задачі цим можна знехтувати і використовувати безпосередньо величину поперечного перетину $d_н$.

Після проходження точки 4 натяг нитки на виході з шайбового компенсатора натягу буде визначатися за формулою

$$P_{11} = \sum_{i=1}^{n_1}(c_i \sin \omega_{1i} t + d_i \cos \omega_{1i} t) + \mu_1(c_1(\lambda_1 + \sum_{i=1}^{n}(a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t))) / 2,$$

$$P_1 = [\sum_{i=1}^{n_1}(c_i \sin \omega_{1i} t + d_i \cos \omega_{1i} t) + \mu_1(c_1(\lambda_1 + \sum_{i=1}^{n}(a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t))) / 2]x \quad (3)$$

$$x[1 - (r + 0,5\sum_{i=1}^{n}(a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t) / r)(1 - e^{\mu_2 \alpha})] + \mu_1 c_1(\lambda_1 + \sum_{i=1}^{n}(a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t)) / 2\ ,$$

де μ_1 – коефіцієнт тертя між поверхнями верхньої та нижньої шайб та ниткою; μ_2 – коефіцієнт тертя між поверхнею циліндричної направляючої рухомого фігурного важеля та ниткою; α – кут охоплення циліндричної направляючої рухомого фігурного важеля; r – радіус циліндричної направляючої рухомого фігурного важеля.

В процесі руху нитки скрізь шайбовий компенсатор натягу, з урахуванням нерівномірності нитки по діаметру та змінного значення вхідного натягу, рухомий фігурний важіль буде обертатися навколо нерухомої вісі деформуючі дві пружини стискання. Для визначення поточного натягу нитки на виході з компенсатора необхідно визначити цей куб оберту.

Диференційне рівняння обертання рухомого фігурного важеля буде мати вигляд

$$I\frac{d^2\gamma}{dt^2} = \{[\sum_{i=1}^{n_1}(c_i \sin \omega_{1i} t + d_i \cos \omega_{1i} t) + \mu_1(c_1(\lambda_1 + r_2\gamma + \sum_{i=1}^{n}(a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t)) / 2)]x$$

$$x[2 - (r + 0,5\sum_{i=1}^{n}(a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t) / r)(1 - e^{\mu_2 \alpha})]\}r_1 + \quad (4)$$

$$+c_1[\lambda_1 + r_2\gamma + \sum_{i=1}^{n}(a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t)]r_2 - c_2[\lambda_2 - r_2\gamma + \sum_{i=1}^{n}(a_i \sin \omega_i t + b_i \cos \omega_i t)]r_2\ ,$$

де r_2 – довжина вертикальної штанги рухомого фігурного важеля; γ – кут обертання рухомого фігурного важеля; I – момент інерції рухомого фігурного важеля; r_1 – довжина горизонтальної штанги рухомого фігурного важеля.

Диференційне рівняння складно проінтегрувати в елементарних функціях, тому в роботі використовувалися чисельний метод Рунге-Кутта-Мерсона з автоматичним обранням шагу інтегрування, для чого була розроблена спеціальна програма для ЕОМ з використанням мови Object Pascal в середовищі Delphi. Отримані дискретні значення кута обертання рухомого фігурного важеля як функції часу апроксимувалися ступеневим поліномом. Для чого в роботі була розроблена друга програма для ЕОМ з використанням мови Object Pascal в середовищі Delphi.

Тоді, з урахуванням (3)-(4), вираз для визначення натягу нитки після компенсатора натягу буде мати вигляд

$$P_1 = [\sum_{i=1}^{n_1}(c_i \sin\omega_{1i}t + d_i \cos\omega_{1i}t) + \mu_1(c_1(\lambda_1 + r_2(\gamma_o + \sum_{i=1}^{n}\gamma_i t^i) + \sum_{i=1}^{n}(a_i \sin\omega_i t + b_i \cos\omega_i t))/2)]x$$
$$x[1-(r+0,5\sum_{i=1}^{n}(a_i \sin\omega_i t + b_i \cos\omega_i t)/r)(1-e^{\mu_2\alpha})] + \mu_1 c_1(\lambda_1 + r_2(\gamma_o + \sum_{i=1}^{n}\gamma_i t^i) + \sum_{i=1}^{n}(a_i \sin\omega_i t + b_i \cos\omega_i t))/2\ , \quad (5)$$

де $\gamma_o, \ldots \gamma_n$ – коефіцієнти ступеневого поліному.

На рис. 2 представлені загальний вигляд пальцьового компенсатору натягу. Нитка послідовно проходить скрізь отвір у правому диску, огинає поверхню направляючого циліндру(пальця) та виходить скрізь отвір у лівому диску та огинає підпружинений важіль, який має можливість обертатися навколо вісі направляючого циліндру.

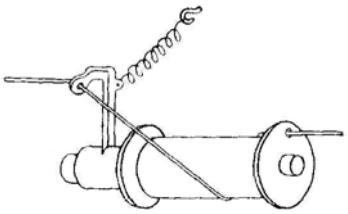


Рис. 2. Пальцьовий компенсатор натягу нитки

Формула для визначення вихідного натягу нитки P_1 після пальцьового компенсатору натягу визначаємо з рівняння

$$P_1 = \{[\sum_{i=1}^{n_1}(c_i \sin\omega_{1i}t + d_i \cos\omega_{1i}t)][1-(r_3 + 0,5\sum_{i=1}^{n}(a_i \sin\omega_i t + b_i \cos\omega_i t)/r_3)x$$
$$x(1-e^{\mu_3\beta_1})]e^{2\pi k\mu_4 \sin\varphi}[1-(r_3 + 0,5\sum_{i=1}^{n}(a_i \sin\omega_i t + b_i \cos\omega_i t)/r_3)(1-e^{\mu_3\beta_2})]\}x \quad (6)$$
$$x[1-(r_4 + 0,5\sum_{i=1}^{n}(a_i \sin\omega_i t + b_i \cos\omega_i t)/r_4)(1-\exp(\mu_5 \arcsin(c_3(\lambda_3 + r_5(\gamma_{1o} + \sum_{i=1}^{n}\gamma_{1i}t^i))/P_{11})))]\ ,$$

де μ_3, μ_4 – коефіцієнти тертя відповідно між ниткою та поверхнею отворів та направляючого циліндру(пальця); β_1, β_2 – кути огинання ниткою направляючих поверхонь отворів на вході та виході з нитконатягувача; k – кількість повних обертів нитки навколо направляючого циліндру; φ – кут нахилу вісі нитки до утворюючій направляючого циліндру; r_3 – радіус кривизни поверхні отвору у бокових дисках; μ_5 – коефіцієнт тертя між ниткою та напрямним отвором підпружиненого важеля; β_3 – кут охоплення ниткою поверхні отвору підпружиненого важеля; r_4 – радіус кривизни поверхні отвору підпружиненого важеля; λ_3 – статична деформація пружини компенсатора; c_3 – коефіцієнт жорсткості пружини; r_5 – довжина важеля; γ_1 – кут повороту важеля відносно вісі направляючого циліндра; $\gamma_{1o}, \ldots \gamma_{1n}$ – коефіцієнти ступеневого поліному.

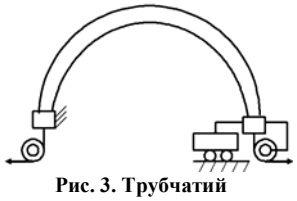


Рис. 3. Трубчатий компенсатор натягу нитки

На рис.3 представлені загальний вигляд трубчатого компенсатора натягу. Нитка послідовно огинає направляючий ролик, поверхню трубчатого компенсатора з пружного матеріалу, направляючий ролик встановлений на рухому опору. Натяг нитки P_1 після трубчатого компенсатору натягу визначаємо з рівняння

$$P_1 = [\sum_{i=1}^{n_1}(c_i \sin\omega_{1i}t + d_i \cos\omega_{1i}t)]e^{\mu_2\alpha_1}\ , \quad (7)$$

де μ_2 – коефіцієнт тертя між трубчатою поверхнею постійного радіусу кривизни та ниткою; α_1 – кут охоплення ниткою трубчатої поверхні постійного радіусу кривизни.

По результатам розрахунків за формулами (5)–(7), для капронової комплексної нитки 28 текс, бавовняної пряжі 27,6 текс, вовняної пряжі 29,9 текс, були отримані значення нерівномірності натягу шайбового, пальцьового та трубчатого компенсаторів натягу, які представлені в таблиці 1 залежно від швидкості руху нитки. Аналіз даних таблиці 1 показує, що найбільшу нерівномірність натягу має шайбовий

компенсатор 71.21–88.12%, що майже в вісім разів більше ніж у трубчатого компенсатора. Пальцьовий компенсатор має нерівномірність натягу в межах 68.53–83.20%. Це поясняється тим, що в конструкціях шайбового та пальцьового компенсаторів присутні рухомі інерційні елементи, які при збільшенні швидкості руху нитки не встигають реагувати на зміни натягу.

Таблиця 1

Результати експериментального визначення натягу для різних типів нитконатягувачів

Тип компенсатору	Вид нитки	Нерівномірність натягу нитки $(P\max - P\min)/P_{сер}$, %					
		Швидкість руху нитки, см/с					
		20	40	60	80	100	120
Шайбовий	Капронова	62.14	63.11	65.28	68.73	69.35	71.21
	Бавовняна	71.14	74.62	76.34	78.45	80.50	82.43
	Вовняна	79.10	82.32	84.24	86.44	87.20	88.12
Пальцьовий	Капронова	60.41	62.11	63.93	65.35	66.82	68.53
	Бавовняна	65.90	67.31	69.30	72.12	72.70	74.33
	Вовняна	75.31	76.82	77.55	79.12	80.41	83.20
Трубчатий	Капронова	4.62	5.21	6.30	6.90	7.43	8.77
	Бавовняна	7.91	8.12	8.53	9.31	10.44	11.58
	Вовняна	8.87	9.35	10.81	11.50	11.71	12.45

Висновки

Найбільшу нерівномірність натягу має шайбовий компенсатор 71.21–88.12%, що майже в вісім разів більше ніж у трубчатого компенсатор. Пальцьовий компенсатор має нерівномірність натягу в межах 68.53–83.20%. Це поясняється тим, що в конструкціях шайбового та пальцьового компенсаторів присутні рухомі інерційні елементи, які при збільшенні швидкості руху нитки не встигають реагувати на зміни натягу. Також в даних компенсаторах присутні ділянки, де відбувається контакт нитки з напрямними великої кривизни, а при цьому виникає додаткове зростання натягу завдяки зминанню.

Встановлена залежність впливу структури та матеріалу нитки на умови її взаємодії з компенсаторами натягу. Найбільшу нерівномірність натягу отримали для вовняної пряжі, а найменше для капронової комплексної нитки.

Література

1. Щербань В.Ю. Механика нити / В.Ю. Щербань, О.Н. Хомяк, Ю.Ю. Щербань. – К. : Бібліотека офіційних видань, 2002. – 196 с.

2. Калашник В.Ю. Исследование поперечного скольжения нити по направляющей поверхности малой кривизны с учетом анизотропии трения / В.Ю. Калашник, В.Ю. Щербань // Вісник ХНУ. – 2013. – № 1. – С. 57–60.

3. Щербань В.Ю. Оптимізація процесу взаємодії нитки з напрямними з урахуванням анізотропії фрикційних властивостей / В.Ю. Щербань, М.І. Шолудько, О.З. Колиско, В.Ю. Калашник // Вісник ХНУ. – 2015. – № 3. – С. 30–33.

Рецензія/Peer review : 5.11.2016 р. Надрукована/Printed :5.2.2017 р.
Рецензент : д.т.н., проф. В.Г.Здоренко

УДК 662.7

Г.М. СОКОЛ, А.Я. ГАНЗЮК
Хмельницький національний університет
О.П. ШЕЛЕСТЮК, О.М. МІЩУК
Хмельницький науково-дослідний експертно-криміналістичний центр МВС України

ОЧИЩЕННЯ НАФТОПРОДУКТІВ ТА ВИЛУЧЕННЯ ЇХ СЛІДОВИХ КІЛЬКОСТЕЙ З ПОЖЕЖНОГО СМІТТЯ ЗА ДОПОМОГОЮ СОРБЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ПОДАЛЬШОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ХРОМАТОГРАФІЧНИМ МЕТОДОМ

В роботі досліджено можливість використання модифікованих сапонітових глин у якості ефективних сорбційних матеріалів в процесах очищення нафтопродуктів. Проаналізовано їх детальний вуглеводневий склад та оцінено основні показники бензинів до та після очищення. Проведені дослідження підтвердили доцільність використання сапоніту для виявлення слідових кількостей горючих рідин в речових доказах з місць пожежі.

Ключові слова: адсорбція, нафтопродукти, хроматографія, октанове число, сапоніт, тиск насиченої пари.

G.M. SOKOL, A.Y.GANZYUK
Khmelnytsky National University
O.P. SHELESTIYK, O.M. MISHCHUK
Khmelnytsky Research-Science Forensic Centre of Ministry of Internal Affairs of Ukraine

PURIFICATION AND EXTRACTION OF TRACE AMOUNTS OF PETROLEUM PRODUCTS FROM FIRE DEBRIS BY SORPTION MATERIALS FOR CHROMATOGRAPHIC METHODS STUDY

The possibility of modified saponite clays using as efficient sorption materials in the purification processes of petroleum products. The detailed hydrocarbon analysis of treated gasoline were made. The main characteristics of gasolines treated by modified saponite sorbents was estimated by chromatography methods. The saponite application in the forensic research to detect trace amounts of combustible liquids as material evidence from the place of fire were confirmed.

Keywords: adsorption, petroleum products, chromatography, octane rating, saponite, vapour pressure.

В автомобілебудуванні склалася тенденція створення автомобілів з потужним двигуном, що працює при високому ступені стискання. Для таких двигунів необхідний якісний бензин. До останнього часу підвищення якості (октанового числа) бензинів здійснювалася за допомогою добавки етильованої рідини з вмістом тетраетил свинцю. При спалюванні палива, ця рідина розкладається і пари свинцю виділяються в атмосферу з вихлопними газами, що підвищує їх токсичність. Перспективний шлях отримання палив високої якості і з пониженою токсичністю базується у видаленні низько октанових парафінових вуглеводнів за допомогою природних сорбційних глинистих мінералів – сапонітових глин, а тому наукові дослідження у цьому напрямку є безумовно актуальними та перспективними.

Метою роботи є вивчення доцільності використання сапонітових глин, їх активованих та модифікованих форм в процесах очищення нафтопродуктів та удосконалення методики вилучення слідових кількостей бензинів з пожежного сміття з використанням тонкошарової та газової хроматографій.

Сучасний автомобільний бензин є сумішшю компонентів, які одержані в результаті різних технологічних процесів переробки нафти. Залежно від марки автомобільний бензин готують на основі бензинів прямої перегонки, каталізного крекінгу та реформінгу з участю у якості компонентів бензину термічного крекінгу, толуену, алкіл бензену, а також ароматизованого компоненту, який є сумішшю ароматичних вуглеводнів, що одержані при піролізі нафтопродуктів. В товарні автомобільні бензини додають легкі складові, які утворюються при переробці вуглеводневих газів, а саме: бутан, бутан-бутиленова та пента-аміленова фракції. Для покращення властивостей та збільшення ресурсів в склад автомобільних бензинів додають сполуки, що містять оксиген, а саме метиловий, вторинний бутиловий спирти та естери.

Експлуатаційні характеристики бензинів повинні забезпечувати нормальну роботу двигунів в різних режимах. Головними показниками якості автомобільних палив є детонаційна стійкість, фракційний склад, хімічна та фізична стабільність, вміст сірки. Від фракційного складу карбюраторних палив залежать умови запуску, тривалість прогріву, перехід з одного режиму на інший та рівномірність розподілу робочої суміші за циліндрами двигуна (повнота згоряння палива). Фракційний склад бензинів характеризується температурою перегонки 10 %, 50 %, 90 % бензину та температурою кінця кипіння. Температура перегонки 10 % бензину характеризує пускові властивості палива. Температура перегонки 50 % бензину впливає на швидкість прогріву двигуна, якість утворення повітряно-паливної суміші в нагрітому двигуні, швидкість переходу двигуна з одного режиму на інший, рівномірність розподілу палива за циліндрами багатоциліндрового двигуна. Повнота згоряння палива визначається температурою перегонки 90 % бензину та температурою кінця його кипіння. При високому значенні цих температур бензин не встигає повністю випаровуватись та потрапляє у циліндри в рідкому стані. Це призводить до зливання мастила з поверхонь, які труться, тому підвищується зношування деталей. Крім того, паливо повільно та недостатньо повно згоряє, що підвищує нагароутворення у камері згоряння двигуна, знижується його економічність та

потужність. Тому температури перегонки для кожної марки бензину нормуються [1]. Фракційний склад бензинів визначали перегонкою на приладі, при цьому відзначали температуру початку перегонки, температуру випаровування 10, 50, 90% і кінця кипіння, або об'єм випарювання при 70, 100 і 180°С. Показники октанового числа та вмісту ароматичних фракцій бензину марки А-92 неочищеного після відгонки при різних температурах представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Показники октанового числа та вмісту ароматичних фракцій бензину неочищеного після відгонки при різних температурах

Фракція бензину	Октанове число за дослідницьким методом	Октанове число за моторним методом	Вміст ароматичних фракцій, %
Неочищений, фракція бензину при t°<70	97,94	84,66	1,759
Неочищений, фракція бензину при 70<t°<100	93,07	77,65	5,688
Неочищений, фракція бензину при 100<t°<180	57,498	60,27	10,147

Для роботи використано бензин марки А-92 компанії Укрнафта. Обробку бензину проводили додаванням до 1 мл вихідної проби бензину 0,25 г сапоніту: природного, кислотно-, лужно- та термоактивованого та фідфракціонованого до 7 та 30 мкм. Пробу перемішували за допомогою ультразвуку протягом 5 хвилин, після чого центрифугували. Дослідження проводили за допомогою газового хроматографа «Кристал – 2000М», для інтерпритації результатів використовували програмне забезпечення «GAZOLIN». На рисунках 1–6 наведено детальний вуглеводневий склад (у %) проб бензинів.

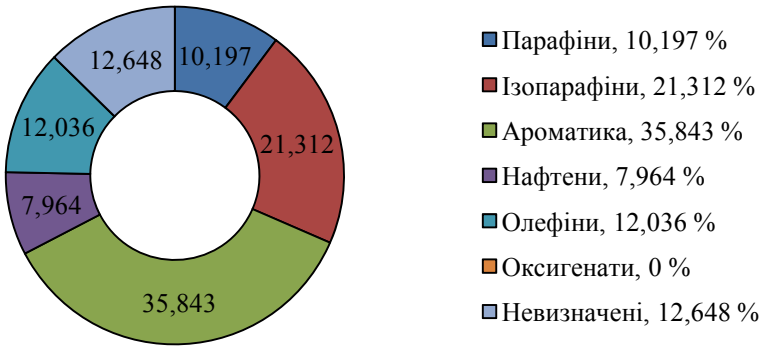


Рис. 1. Ваговий вміст (у %) вуглеводнів у контрольній пробі бензину

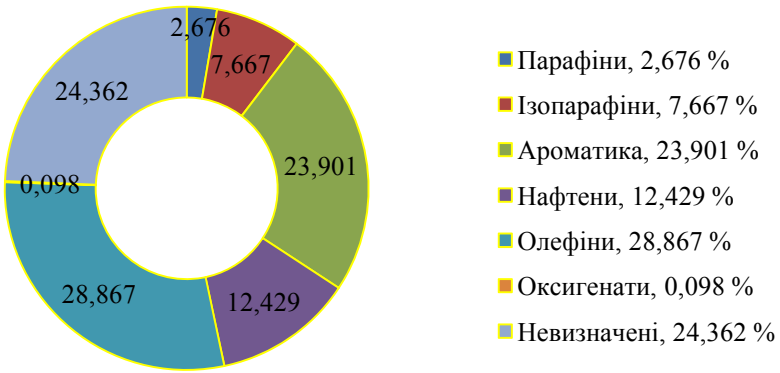


Рис. 2. Ваговий вміст (у %) вуглеводнів у пробі бензину, очищеного кислотноактивованим сапонітом

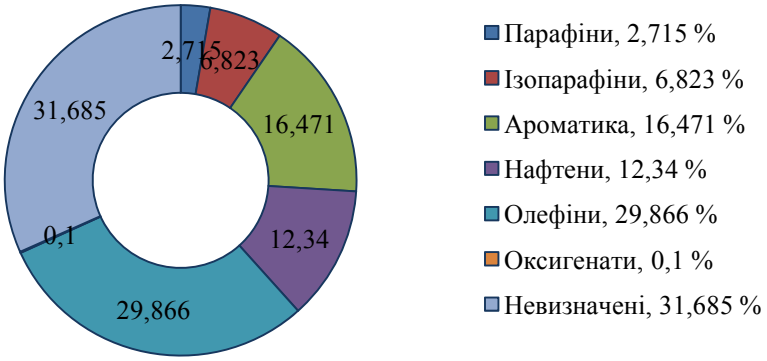


Рис. 3. Ваговий вміст (у %) вуглеводнів у пробі бензину, очищеного лужноактивованим сапонітом

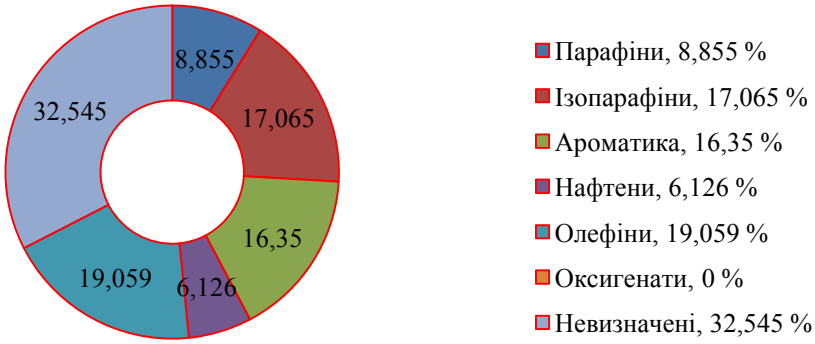


Рис. 4. Ваговий вміст (у %) вуглеводнів у пробі бензину, очищеного подрібненим до 7 мкм сапонітом

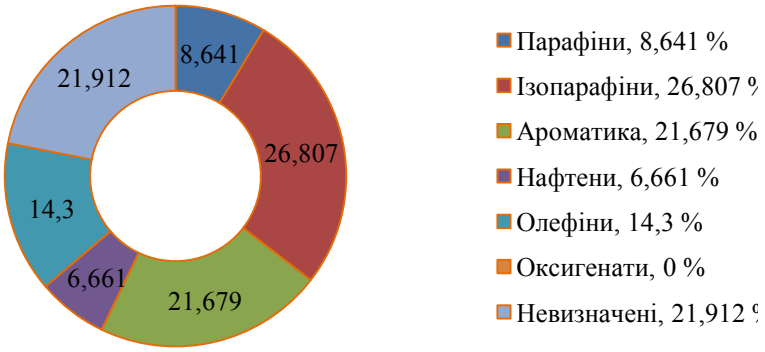


Рис. 5. Ваговий вміст (у %) вуглеводнів у пробі бензину, очищеного термоактивованим сапонітом

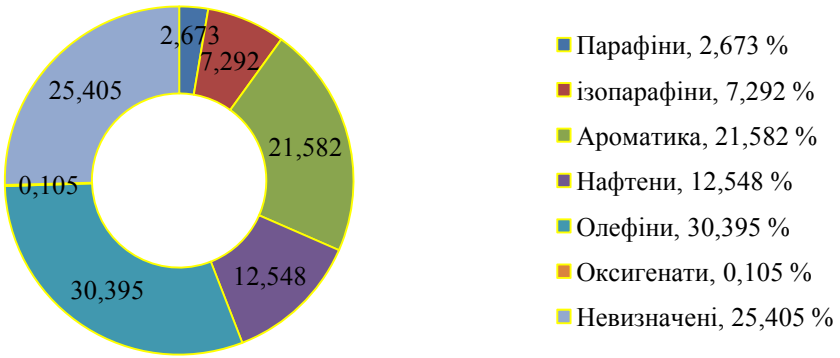


Рис. 6. Ваговий вміст (у %) вуглеводнів у пробі бензину, очищеного подрібненим до 30 мкм сапонітом

Так як сучасний бензин є вуглеводневою сумішшю, головними серед яких є ароматичні, нафтенові, парафінові та олефінові вуглеводні, ваговий вміст яких відрізняється залежно від ступеню очистки бензину, що, в свою чергу, впливає на формування показника октанового числа, антидетонаційної стійкості та чутливості палива [3, 4]. Таким чином, при очищенні бензинів кислотно та лужноактивованим сапонітом вміст парафінів та ізопарафінів в порівнянні з контрольною пробою зменшується в 3 рази, можливо, за рахунок цього відбувається зростання октанового числа на три одиниці. При цьому мольний вміст парафінів та ізопарафінів для бензинів, очищених кислотно та лужноактивованим сапонітом, зменшується в порівнянні з контрольною пробою в 3 рази, ароматики в 2–2,5 разу. В той час як мольний вміст нафтенових та олефінових зростає в 2–3 рази.

Визначення фракційного складу, октанового числа та вмісту ароматичних фракцій вуглеводнів

проводились відповідно до ГОСТ 2177-99 «Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава», ГОСТ 8226-82 «Топливо для двигателей. Исследовательский метод определения октанового числа», ГОСТ 29040-91 «Бензины. Метод определения бензола и суммарного содержания ароматических углеводородов». Значення зміни октанового числа у пробах бензину, які були очищені різними формами активації та модифікації сапонітів зі зміною вмісту ароматичних вуглеводнів, відносно контрольної проби бензину представлено на рисунку 7.

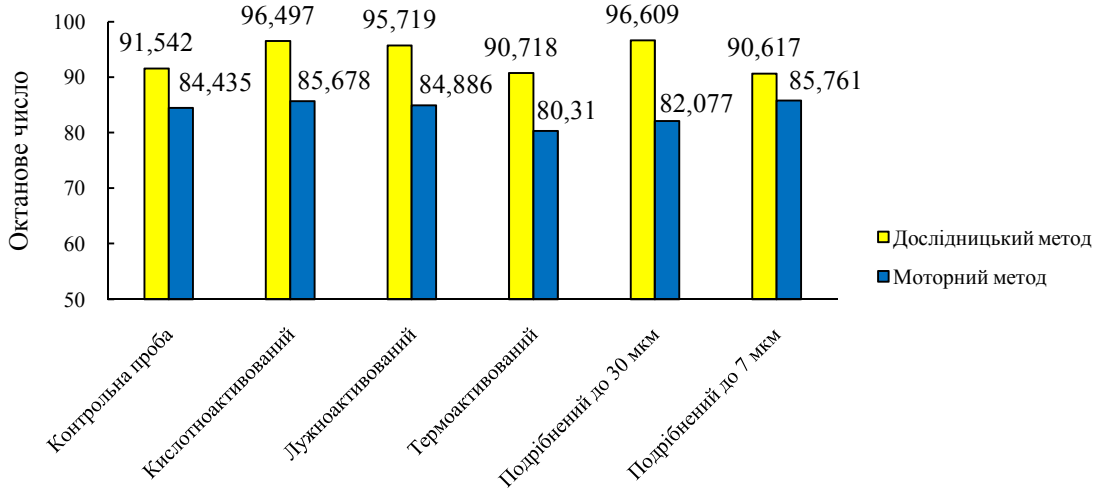


Рис. 7. Показники октанових чисел за дослідницьким та моторним методами бензину, очищеного сапонітами різних форм модифікації

Таким чином, у пробах бензинів, що очищені кислотно активованим, лужноактивованим та подрібненим до 30 мкм сапонітом октанове число збільшується зі зменшенням вмісту ароматичних вуглеводнів, на відміну від зразків, що були очищені термоактивованим та подрібненим до 7 мкм сапонітом, де значення октанового числа майже не змінилося.

Пускові властивості бензинів погіршуються зі зниженням тиску їх насичених парів, причому при тиску 34 кПа концентрація парів бензину в робочій зоні настільки мала, що запуск двигуна стає неможливим. Тому ГОСТ Р 51105-97 на автомобільні бензини передбачає обмеження не тільки верхнього, а й нижнього значення тиску насичених парів. Однак надмірний вміст низько киплячих фракцій у складі бензинів може викликати неполадки в роботі прогрітого двигуна, пов'язані з утворенням парових пробок в системі подачі палива. Чим вище тиск насичених парів бензину, нижче температури початку кипіння і перегонки 10% і більший об'єм фракції, який википає при температурі до 70 °С, тим більше його схильність до утворення парових пробок. Визначення тиску насиченої пари проводили відповідно до ГОСТ 1756-52 «Нефтепродукты. Методы определения давления насыщенных паров». Результати досліджень наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати визначення тиску насиченої пари у бензинах

Зразок мінерального сорбенту	Тиск насиченої пари, кПа
Контрольна проба бензину	52,006
Активований H_2SO_4 (25%)	79,046
Активований лугом	80,626
Термоактивований	63,246
Природний, фракція 7 мкм	56, 882
Природний, фракція 30 мкм	82,520

Констатовано зростання тиску насиченої пари для всіх зразків бензинів, очищених сапонітами, при чому найбільше зростання цього показника до 20% характерне для нафтопродукту, очищеного кислотно та лужноактивованим сапонітом.

Високий вміст сірки в бензині збільшує викиди оксидів сірки, які згубно діють на здоров'я людини, тваринний і рослинний світ, конструкційні матеріали. Визначення вмісту сірки в нафтопродуктах проводилося відповідно до ГОСТ 19121-91 «Нефтепродукты. Метод определения содержания серы сжиганием в лампе». Дослідження проводилося Інститутом біоорганічної хімії та нафтохімії Національної академії наук України. Для експерименту взято зразки бензину, які були попередньо очищені природними мінеральними сорбентами (сапонітами) різної активації, модифікації та ступеня дисперсності. Результати з визначення вмісту сірки у нафтопродуктах представлено у таблиці 3 та рисунку 8.

Таблиця 3

Результати визначення вмісту сірки у нафтопродуктах

Природний мінеральний сорбент	Вміст сірки, %
Природний, фракція до 30 мкм	0,0019
Кислотноактивований	0,0015
Лужноактивований	0,0014
Термоактивований	0,0020
Контрольна проба	0,0020

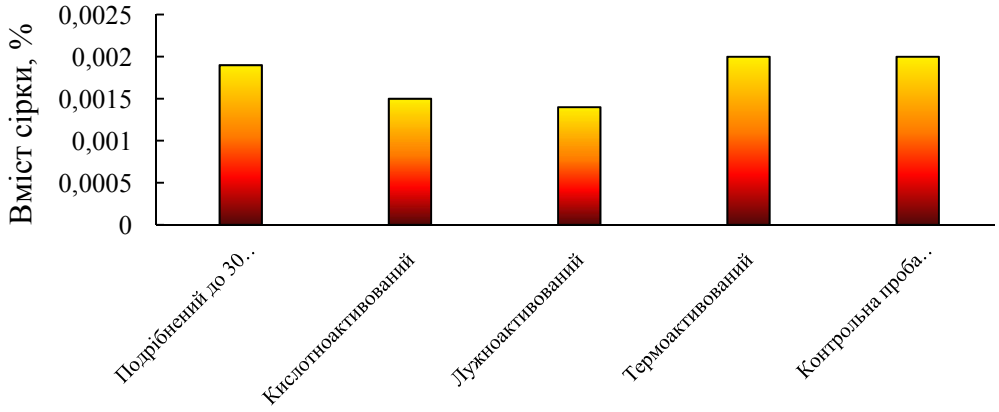


Рис. 8. Вміст сірки у бензині

Таким чином, в очищеному бензині вміст сірки зменшився від 0,0020 % до 0,0014 % в порівняні з контрольною пробою.

Відповідно до методики виконання якісного визначення вмісту тетра етилсвинцю для дослідження було обрано декілька видів бензинів, які очищені сапонітами – кислотно активованими, лужно активованими, термоактивованими і природними різного ступеня дисперсності. Наважку активованої глини 1 г заливали 5 мл вихідного зразка бензину. Витримували протягом 15 хв, після чого фільтрували та центрифугували. Відповідно до ГОСТ 28828-90 вміст тетраетилсвинцю в бензинах має бути не більше 5,0 мг/дм^3. Але постановою кабінету міністрів України від 1 жовтня 1999 року № 1825 м. Київ «Про затвердження Програми поетапного припинення використання етильованого бензину в Україні» підготовлено виконання Загальноєвропейської стратегії поступового припинення використання етильованого бензину та Протоколу про важкі метали до Конвенції 1979 року про транскордонне забруднення повітря на великі відстані, прийнятих у червні 1998 року у м. Орхус (Данія) на Четвертій Конференції міністрів «Навколишнє середовище для Європи». Поетапне припинення використання етильованого бензину є важливим заходом поліпшення стану навколишнього природного середовища і здоров'я населення України та Європи [2]. При дослідженнях за методикою було виявлено, що на папері, на який наносили вихідний зразок не випав чорний осад оксиду свинцю, що свідчить про відсутність добавки тетраетил свинцю в бензині.

Найнижчим октановим числом характеризуються нормальні парафіни, при чому із збільшенням молекулярної маси їх антидетонаційні властивості різко погіршуються. З нормальних вуглеводнів тільки н-бутан має антидетонаційні властивості, що відповідають сучасним бензинам. Видалення нормальних парафінових вуглеводнів із бензинів звичайними методами ускладнюється із-за близькості температур їх кипіння і температур кипіння інших вуглеводнів.

Даний мінерал, можливо, адсорбує всі нормальні парафіни з критичним діаметром молекул 0,49 нм, не поглинаючи при цьому в повній мірі ароматичних, нафтенових та ізопарафінових вуглеводнів, які не можуть проникнути в адсорбційні пори через вхідні «вікна» сапоніту [3]. При адсорбції низьких нормальних парафінових вуглеводнів спостерігається заповнення всього об’єму адсорбційних пор. З підвищенням числа атомів вуглецю в молекулі нормального парафіну зменшується число молекул, що адсорбуються в одній порі сапоніту.

Попередні дослідження показали, що сапонітові глини здатні завдяки розвинутій пористій структурі адсорбувати своєю поверхнею вуглеводневі суміші, а тому наступним етапом досліджень було вивчення поведінки нафтопродуктів в умовах пожежі. Для її відтворення поставлено ряд експериментальних досліджень у спеціальних, штучно створених і керованих умовах. Бензин марки А-92 спалювали при 20°С від 50 та 90% вигорання. Таку ж процедуру повторили, але, вже випарюючи вуглеводневу суміш. До отриманого залишку долили по 5 мл гексану та 4 г сапонітової глини. Пробу розділили: одну частину витримували 1 добу, а другу – 2 доби, не закриваючи пробкою, після чого центрифугували та досліджували хроматографічно. Результати досліджень наведено на рисунках 9, 10.

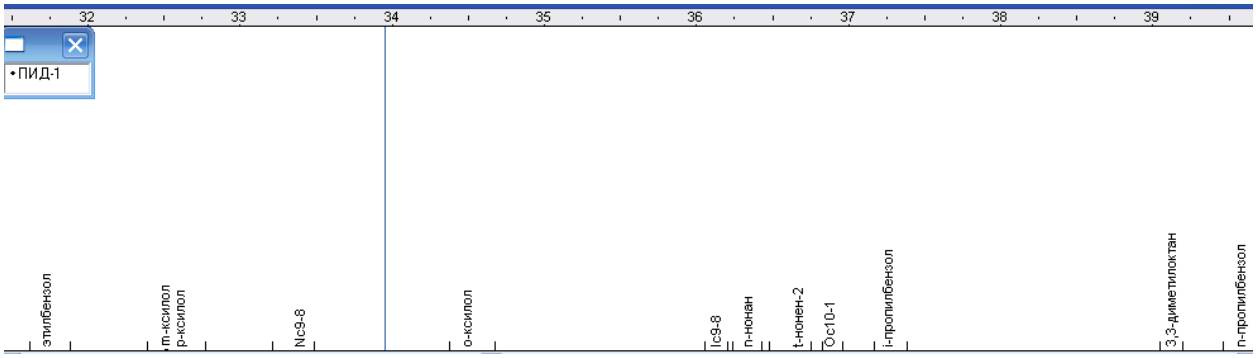


Рис. 9. Фрагмент хроматограми проби бензину (90% випаровування)

Рис. 10. Фрагмент хроматограми проби бензину (90% випалювання)

Проведено детальний вуглеводневий аналіз випалених та випарених зразків нафтопродуктів, показники якого наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

Об'ємний вміст вуглеводнів (%) у досліджуваних зразках вуглеводневих сумішей

Вид зразка	Парафіни	Ізопарафіни	Ароматика	Нафтени	Олефіни	Всього
Суміш гептан-бензин	99,802	0,062	0,046	0,035	0,021	99,965
Суміш гептан-бензин, очищена сапонітом	99,875	0,026	0,047	0,009	0,036	99,993
Суміш гептан-бензин випарений (50% залишку)	98,827	0,044	0,084	0,003	0,011	99,969
Суміш гептан-бензин випарений (50% залишку), очищена сапонітом	99,746	0,151	0,070	0,024	0,009	100,000
Суміш гептан-бензин випалена (50% залишку	99,811	0,072	0,063	0,037	0,014	99,997
Суміш гептан-бензин випалена (50% залишку), очищена сапонітом	99,841	0,053	0,053	0,003	0,042	99,998
Суміш гептан-бензин випалена (50% залишку), очищена сапонітом, час контакту 2 доби	99,939	0,032	-	0,022	0,007	100,000
Суміш гептан-бензин випарена (50% залишку, очищена сапонітом, час контакту 2 доби	99,915	0,044	0,005	0,030	0,006	100,000

Тая як в умовах пожежі відбуваються глибокі фізико-хімічні перетворення бензинів внаслідок їх вигорання та випаровування, а тому залишки на конструкціях знаходяться лише у слідових кількостях. Для експертів-криміналістів важливо виявити крапельні кількості нафтопродуктів [5, 6]. На наступному етапі модельного експерименту природний сапоніт змочили водою, сформували таблетку та висушили при кімнатній температурі. Зразок грунтової землі облили 5 мл бензину, спалили до повного вигорання. Сапонітову таблетку помістили в скляний бюкс, обгорнувши випаленою землею та витримували протягом 24 годин. Після чого розчинили суміш в гексані та досліджували за допомогою тонкшарової та газової

хроматографій. Для визначення наявності нафтопродуктів застосовувався метод ТШХ за таких умов:

Нерухома фаза	"Sorbfil ПТСХ-АФ-А-УФ"
Рухома фаза	октан-бензен (5:1)
Підйом фронту елюенту	100 мм
Детектування плям	УФВ (366 і 254 нм), 2% розчин формаліну в концентрованій сульфатній кислоті
Свідок	змінений (спалений) бензин

На рисунку 11 наведено фотографії хроматографічних пластинок, оброблених 2% розчином формаліну у концентрованій сульфатній кислоті.

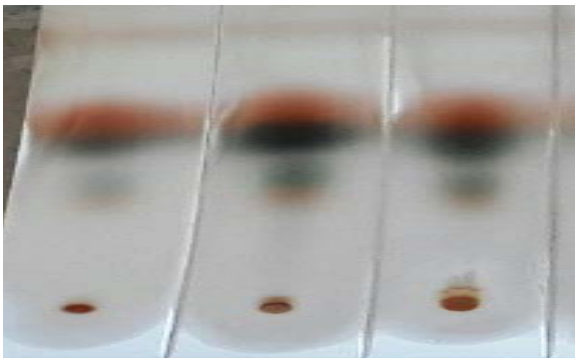


Рис. 11. Фотографії хроматографічних пластинок: 1 – чистий бензин; 2, 3 – екстракти з пожежного сміття

Отримані хроматограми оглядались в УФВ, при цьому виявлено, що бензини концентруються в УФ світлі плямами продовгуватої форми з R_f=0-0,45 [7]. Результати досліджень наведені на рисунку 12.

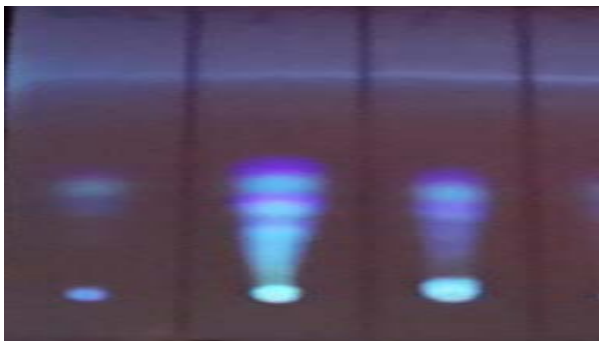


Рис. 12. Фотографії хроматографічних пластинок в УФВ: 1 – чистий бензин; 2, 3 – екстракти з пожежного сміття

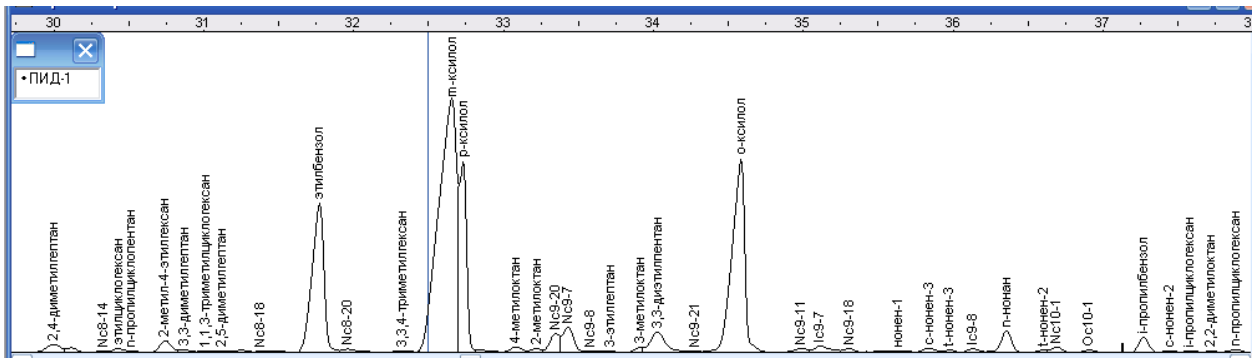


Рис. 13. Фрагмент хроматограми досліджуваного бензину

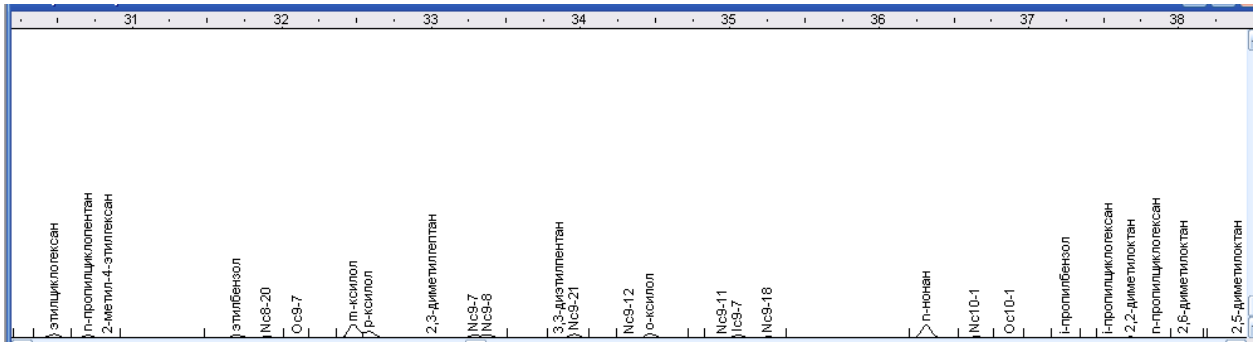


Рис. 14. Фрагмент хроматограми екстрагованого бензину за допомогою сапонітової глини у модельному експерименті

Висновки

Запропонована технологія очищення бензинів з використанням природних сорбційних матеріалів на основі сапоніту є економічно вигідною, екологічно виправданою і дасть можливість отримувати високооктанові нафтопродукти та зменшити кількість фальсифікованої продукції. Використання бензинів, очищених за допомогою сапонітових глин вирішить проблему зниження токсичних викидів автотранспорту, так як утворення відкладень у впускній системі двигуна і особливо в карбюраторі призводить до падіння його потужності і погіршення економічності роботи, зростанню токсичності відпрацьованих газів, особливо на режимах холостого ходу і на малих обертах (умови міської їзди). Шляхом підтримки в чистоті паливної системи знизиться вміст оксидів вуглецю і незгорілих вуглеводнів у відпрацьованих газах. Таким чином, отримані модифіковані алюмосилікати призначені для використання в якості фільтруючої і сорбційної загрузки, здатної замінити активоване вугілля, аніонно-катіонні смоли, зворотньоосмотичні мембрани, і можуть бути використані при одержані моторних палив високої якості і з пониженою токсичністю. Це дозволить скоротити втрати бензину, поліпшити пожежну безпеку та екологічну обстановку. Проведені дослідження підтвердили доцільність використання сапонітових глин для виявлення слідових кількостей горючих рідин в речових доказах з місць пожежі. Що дає можливість, в свою чергу, удосконалити аналітичні методи і схеми комплексного дослідження об'єктів нафтохімічної природи та розробити методики вирішення нових експертних задач для судово-слідчої практики.

Література

1. Чукаєва І.О. Формування українського ринку нафти і нафтопродуктів / І.О. Чукаєва // Економіка України. – 2001. – № 2. – С. 84–86.

2. Про затвердження Програми поетапного припинення використання етильованого бензину в Україні : постанова кабінету міністрів України № 1825 : [прийнято Верховною Радою 1 жовтня 1999 року]. – К. : Леонорм, 2002. – 24 с.

3. Пареного О.П. Экологические проблемы химии нефти / О.П. Пареного, С.Л. Давыдова. – М. : Нефтехимия, 1998. – Т. 38. № 1.

4. Патент US6166278 A, US 08/930,965. Use of naturally asid smectites to remove olefins from aromatics or aromatic mixtures and processes there with / Thomas Engelhardt, Uwe Flessner, Reinhard Hahn, Werner Zschau. – Заявл. 28.02.1996 ; опубл. 26.12.2000.

5. Золотаревская И.А. Применение метода ТСХ для обнаружения и идентификации нефтепродуктов / И.А. Золотаревская, В.А. Киселева // Экспертная практика и новые методы исследования. – М. : ВНИИСЭ МЮ СССР, 1979. – Вып. 11. – 19 с.

6. Криминалистическое исследование нефтепродуктов и горюче-смазочных материалов / под. ред. И.А. Золотаревской. – М. : ВНИИСЭ МЮ СССР, 1989. – Вып. 2. – 177 с.

7. Обнаружение и исследование следов легковоспламеняющихся и горючих жидкостей в вещественных доказательствах, изымаемых с места пожара. Методика. – М. : ВНИИПО МВД СССР, 1985. – 49 с.

Рецензія/Peer review : 15.1.2017 р. Надрукована/Printed :4.2.2017 р.
Рецензент : д.с-н.н., доц. Миронова Н.Г.

УДК 614.842.86

Б.В. БОЛІБРУХ
НУ «Львівська політехніка»

ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНОГО ЧАСУ РОБОТИ ПОЖЕЖНИКА В ТЕПЛОЗАХИСНОМУ ОДЯЗІ НА ОСНОВІ ТРИВИМІРНОЇ МОДЕЛІ

Розроблено тривимірну модель теплового стану організму пожежного у теплозахисному одязі. Представлені основні допущення, що враховують процеси та вихідні дані моделі. Параметри моделі визначені за даними експериментальних досліджень теплового стану пожежника, а також за літературними даними. За допомогою моделі проведено ряд розрахунків щодо визначення граничного безпечного часу роботи пожежника у костюмі USP 2-2 польської фірми «GO WEST» за різних температур (від кімнатних до 250°С), що мають місце під час пожеж.

Ключові слова: тепловий стан пожежного, теплозахисний одяг, експериментальне дослідження пожежного в теплозахисному одязі, моделювання.

B.V. BOLIBRUKH
NU "Lviv Polytechnic"

DETERMINATION OF THE MAXIMUM OPERATING TIME OF THE FIRE-FIGHTER IN HEAT PROTECTIVE SUIT ON THE BASIS OF THREE-DIMENSIONAL MODEL

A three-dimensional model of the thermal state of the fire-fighter body in heat protective suit was developed by the author. The main assumptions, taking into account the processes and initial data of the model, were presented. The model parameters were determined according to experimental studies of the thermal state of the fire-fighter, and according to the literature. Using the model, the author performed a series of calculations relating to the maximum safe operation time of a fire-fighter in a suit USP 2-2 of the Polish firm "GO WEST" for different temperatures (from room temperature up to 250°C), which take place during a fire.

Key words: thermal state of the fire-fighter, heat protective suit, experimental investigation of a fire-fighter in heat protective suit, modelling.

Робота пожежного пов'язана з великою небезпекою для життя і здоров'я. Небезпечні фактори пожежі (НФП), якими є підвищена температура і тепловий потік, змушують пожежних використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) [1], в число яких входить теплозахисний одяг пожежного (ТЗОП). Дана робота присвячена моделюванню нестаціонарного теплового стану пожежного в ТЗОП в умовах дії ОФП за допомогою тривимірної комп'ютерної моделі, розробленої в середовищі ANSYS FLUENT. За основу дослідження ТЗОП був взятий теплозахисний одяг USP 2-2 польської фірми «GO WEST».

Аналіз літератури показав, що існує ряд робіт, присвячених розробці моделей теплового стану людини, які відрізняються між собою призначенням, ступенем деталізації уявлення людського тіла, а також процесами, що враховуються в моделі. Найбільш прості моделі, наприклад представлені в [2–4], мають слабку деталізацію і не враховують такі фізіологічні процеси, як кровообіг, дихання, зміна тепловиділення залежно від фізичного навантаження, потовиділення. Більш складні моделі, зокрема представлені в [5, 6], враховують частину цих процесів і мають ступінь деталізації, що залежить від конкретних цілей тієї чи іншої моделі. Як правило, такі моделі складаються з циліндричних сегментів і в тій чи іншій мірі представляють основні теплові процеси, однак процеси терморегуляції та фізіологічні зміни за мінливих теплових умов в таких моделях не враховуються. Модель, представлена в [7], є однією з найбільш складних. Вона складається з 51 розрахункового вузла, кожен з яких представляє ту чи іншу частину людського організму, при цьому враховується наявність кровоносної системи, внутрішніх органів, зовнішніх тканин і шкіри і т. д. Така модель є моделлю з зосередженими параметрами, в якій кожен вузол представляє той чи інший обсяг пожежника і костюма. Робота [8] присвячена дослідженню та моделювання теплового стану теплозахисного одягу пожежника при впливі інтенсивних теплових навантажень, однак вона не враховувала стан організму людини і його можливий перегрів. В [9] розглянуто процеси терморегуляції і побудована двомірна модель теплового стану пожежного в ТЗОП. Дана робота є її продовженням.

Аналіз умов пожежогасіння [10, 11] показує, що температура в приміщенні, де виникла пожежа на момент локалізації, може становити до 700–900°С, щільність теплового потоку до 20–45 кВт/м², при цьому гранично допустимі значення НФП, що діють на людину, складають 70°С і 1,5 кВт/м². Граничний час роботи пожежного визначається виникненням опіків внаслідок дії вище описаних НФП, а також підвищенням внутрішньої температури тіла людини (так званого теплового ядра) вище критичного рівня. Для збільшення безпеки роботи пожежників вкрай важливо знати граничний час роботи пожежника (ГЧРП) в тих чи інших умовах гасіння пожеж і не допустити його перевищення. Це граничний час залежить від характеристик ТЗОП (кількість, матеріал і товщина шарів), температури, вологості і швидкості обдування захисного одягу навколишнім повітрям, а також важкості виконуваного навантаження.

На відміну від критичної температури «теплового ядра», певною нижчою, в даній роботі буде використовуватися умовне поняття нормальної температури «теплового ядра», під яким мається на увазі температура внутрішніх органів здорової людини в стані спокою, який не був схильний до перегріву або переохолодження і має значення 37,0–37,5°С. В разі перегріву, зокрема внаслідок виконання фізичного навантаження, внутрішня температура може істотно підвищуватися. В [12, 13] зазначено, що під час виконання спортивних вправ або нормативів при досить широкому розмаїтті видів навантажень внутрішня

температура тіла підвищується до 38.5°C, а у випадках великих навантажень – до 38,8–39.1°C або навіть вище. При цьому підвищення температури до рівня 38,8–39.1°C може вважатися навіть необхідним, так як призводить до прискорення метаболізму і підвищення фізичних показників. Подальше ж підвищення внутрішньої температури призводить до зниження фізичних показників і небезпеки для здоров'я і життя. Такий рівень температури теплового ядра, за якого стан людини погіршується і виникає небезпека для його здоров'я і життя, назвемо критичною температурою «теплового ядра», значення якої в даній роботі прийнято рівним 39,0°C. Слід зазначити, що температура поверхні тіла (поверхневого шару) не відіграє такої суттєвої ролі і може значно відрізняться від температури ядра. Саме ж поняття "теплового ядра" є умовним, так як воно не має постійних меж розташування і його розміри можуть істотно варіюватися залежно від умов навколишнього середовища.

Огляд існуючих робіт показує, що актуальним завданням є розробка розрахункових методів і моделей теплового стану організму пожежного у теплозахисного одягу, які дозволили б оцінювати час роботи пожежника в захисному одязі залежно від рівнів фізичного навантаження і температурних умов середовища, в якому він працює. Для розв'язання такої задачі необхідні як досить адекватна модель теплового стану організму пожежника у теплозахисному одязі, так і методика визначення параметрів цієї моделі.

Ідея даної роботи полягає в побудові вдосконаленої моделі теплового стану людини, параметри якої визначаються з експерименту, проведеного при кімнатній температурі, які потім використовуються для визначення теплового стану пожежного та визначення граничного часу його роботи при підвищених температурах пожежі.

Метою даної роботи є розробка більш адекватної тривимірної моделі теплового стану пожежного в теплозахисного одягу і визначення параметрів цієї моделі для аналізу та прогнозування граничного часу роботи пожежного в умовах дії небезпечних факторів пожежі.

Для визначення параметрів моделі використовується так званий розрахунково-експериментальний підхід, за якого недостатньо відомі параметри моделі визначаються шляхом їх ідентифікації за даними експериментів, або з використанням літературних даних. У психолого-тренувальному центрі Львівського державного університету безпеки життєдіяльності (ЛДУБЖД) проведені експерименти, в ході яких були отримані залежності температури від часу в різних точках спеціального захисного одягу і тіла пожежника за різного рівня інтенсивності роботи і різних температур навколишнього середовища. За даними цього експерименту, а також за наявними в літературі даними, були визначені параметри моделі, а потім були проведені розрахунки нестаціонарного теплового стану пожежного в ТЗОП для аналізу граничного часу його роботи пожежника в різних температурних умовах пожежі.

Фізичні процеси, що враховуються в моделі. Тривимірна геометрична модель побудована в програмному комплексі АНСИС Fluent і геометрично близька до форми і розмірів тіла людини. Модель містить обсяги теплового ядра, поверхневого шару, а також шари захисного одягу. Такий вид моделі дозволяє врахувати нерівномірність температури різних частин тіла, а також вплив початкового розподілу температур на тепловий стан організму. Схема теплообміну пожежного в ТЗОП з навколишнім середовищем представлена на рис. 1. Як видно зі схеми, модель тіла пожежного складається з «теплового ядра», що має відгалуження, що йдуть в руки і ноги, за рахунок чого може створюватися ефект прискореного переносу теплоти великими кровоносними судинами, що проходять в кінцівках. Модель тіла пожежного містить також поверхневий шар, через який відбувається теплообмін ядра з костюмом і навколишнім середовищем. Підкостюмний простір і натільний одяг враховуються в моделі як термічний опір на поверхні контакту об'єму захисного одягу і поверхневого шару тіла. Його величина була визначена, виходячи з величини перепаду температур шкіри і підкостюмного простору, виміряного в ході експерименту в психолого-тренувальному центрі ЛДУБЖД.

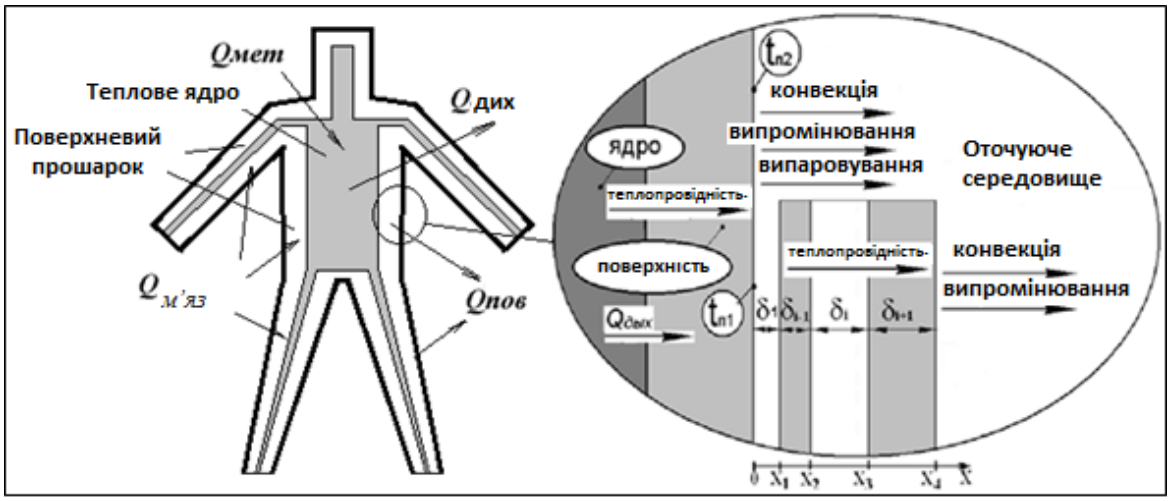


Рис. 1. Схема теплообміну пожежника в ТЗОП з навколишнім середовищем:
t_{n1} –температура поверхні тіла, покритої костюмом; t_{n2} – температура поверхні тіла, не покритої костюмом; x_1–x_4 – координати меж шарів теплозахисного костюма

У моделі враховується метаболічне тепловиділення $Q_{мет}$, м'язове тепловиділення $Q_{м'яз}$, теплові втрати на обігрів і зволоження повітря, що видихається $Q_{дих}$, відведення теплоти через поверхню одягу $Q_{пов}$, теплота, що віддається потовиділенням $Q_{пот}$, яка для випадку моделювання людини в захисному одязі може знижуватися до мінімуму, так як піт не може випаровуватись через герметично закритий підкостюмний простір.

Кількість метаболічної теплоти $Q_{мет}$ залежить від виду фізичної активності і наводиться в ряді літературних джерел. Частина цієї теплоти йде на зміну температури тіла, частина $Q_{дих}$ – на підігрів повітря, а решта передається поверхні організму, а потім в навколишнє середовище. В реальності процес теплообміну через тканини організму здійснюється переважно за рахунок перенесення теплоти з циркулюючою кров'ю, однак у моделі такий теплообмін представлений кондуктивним теплообміном через обсяг поверхневого шару тіла і при цьому коефіцієнт теплопровідності є функцією температури теплового ядра, що більш докладно описано нижче.

Метаболічне тепловиділення задається як розподілене тепловиділення в обсязі "теплового ядра" моделі. З цього тепловиділення віднімається теплота, що втрачається організмом з диханням. М'язове тепловиділення $Q_{м'яз}$ також задається об'ємним джерелом тепловиділення в поверхневому шарі об'єму тіла. Значення тепловиділень в ядрі і поверхневому шарі тіла залежно від інтенсивності навантаження наведено в табл. 1. Такий поділ повного тепловиділення на метаболічну і м'язову частини є одним з припущень моделі. Вважається, що в спокої м'язове тепловиділення дорівнює нулю, а всі метаболічні тепловиділення відбуваються в тепловому ядрі. Зі збільшенням навантаження до середнього і важкого рівня метаболічне тепловиділення дещо збільшується, а м'язове тепловиділення становить частину повного тепловиділення.

Таблиця 1

Рівні тепловиділень в ядрі і об'ємі тіла залежно від інтенсивності навантаження

Рівень навантаження	Повне тепловиділення, Вт	Тепловиділення в ядрі, Вт	Тепловиділення в поверхневому шарі тіла, Вт
В стані спокою	150	150	0
Легке навантаження	400	150	350
Середнє навантаження	600	200	400
Важке навантаження	700	200	500

В стаціонарному стані сума розглянутих вище тепловиділень та теплостоків дорівнює нулю, що може бути записано як тепловий баланс людського тіла:

$$Q_м + Q_{м'яз} + Q_{дих} + Q_{пов} + Q_{пот} = 0. \quad (1)$$

Якщо сума в лівій частині (1) позитивна, то організм перегрівається через перевищення тепловиділень над тепловтратами, якщо ж вона від'ємна, то тіло буде, навпаки, охолоджуватися.

Вихідні дані для моделювання. Для даної моделі були прийняті наступні середні фізичні параметри людини: ріст h=175 см, вага m=75 кг, площа поверхні тіла 2 м². Характеристики основних обсягів тіла, прийняті в моделі, представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Об'єми і теплофізичні властивості частин тіла

Назва частин об'єму тіла	Об'єм, м^3	Густина, кг/м^3	Теплоємкість, КДж/(кг*К)	Теплопровідність, Вт/(м*с)
Теплове ядро	0,024	1000	3500	400
Поверхневий шар тіла	0,074	1000	3500	$f(t_я)$

У моделі прийняті параметри реального теплозахисного одягу пожежника USP 2-2, який був одягнений на волонтерів в ході випробування (рис. 6-7). Розташування шарів, товщини і теплофізичні властивості шарів теплозахисного одягу наведені в [8, 9], на рис. 1 і в таблиці 3.

Таблиця 3

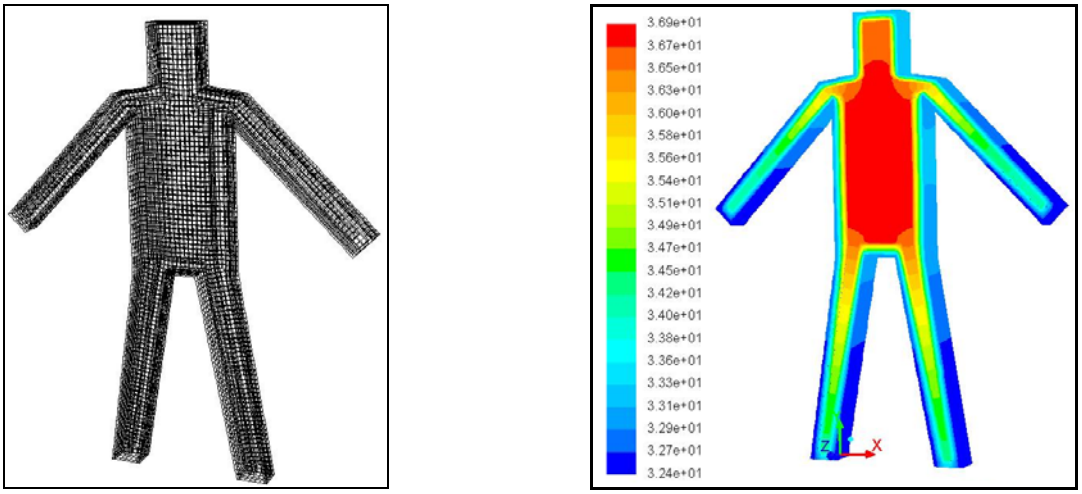
Геометричні і фізичні властивості шарів теплозахисного одягу

Назва і призначення шару теплозахисного одягу	Товщина, м	Густина, кг/м^3	Теплоємкість, Дж/(кг* С)	Теплопровідність при 20^{0}С, Вт/(м*С)
Теплозахисний шар ARALITE	0,00359	74,2	700	0,036
Вологостійкий матеріал, неопрен	0,00051	800	2000	0,012
Верх (Nomex® IIIA Pajama Check® Crosstech®)	0,00052	316,8	1300	0,047

Теплообмін в тепловому ядрі, поверхневих шарах тіла і шарах захисного одягу описується тривимірним нестаціонарним рівнянням теплопровідності (енергії):

$$c\rho\frac{\partial t}{\partial \tau}=\frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda\frac{\partial t}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda\frac{\partial t}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda\frac{\partial t}{\partial z}\right)+Q_v, \quad (2)$$

де c, ρ і λ – теплоємність, щільність і коефіцієнт теплопровідності об'ємів тіла і шарів одягу, представлені в таблиці 2, 3, які залежать від координат і в ряді випадків – від температури t. Дане рівняння вирішується чисельно з застосуванням методу кінцевих об'ємів [14], для чого розрахункова геометрична область розбивається на необхідну кількість розрахункових осередків. В представленій моделі розрахункова сітка моделі складалася з 7 тис. осередків. Сітка моделі і теплове поле температур наведені на рис. 2.



(а) **(б)**

Рис. 2. Розрахункова сітка моделі (а) та типове поле температур, отримані в результаті розрахунків (б)

Граничні умови. На зовнішній поверхні з температурою $t_{пов}$ в напрямку нормалі n до поверхні моделі задані суміщені конвективно-радіаційні граничні умови теплообміну з навколишнім середовищем, що має температуру $t_{ос}$:

$$\lambda\frac{\partial t}{\partial n}=q_{конв}+q_{рад}, \quad (3)$$

де

$$q_{конв}=\alpha\left(t_{пов}-t_{ос}\right), \quad (4)$$

$$q_{рад}=5,67\cdot\varphi\cdot\xi\left(\left(\frac{t_{пов}+273}{100}\right)^4-\left(\frac{t_{ос}+273}{100}\right)^4\right). \quad (5)$$

При цьому коефіцієнт тепловіддачі α прийнятий рівним 5 Вт/(м²/К), ступінь чорноти ξ прийнята рівною 0,7, кутовий коефіцієнт φ прийнятий рівним 1.

Граничні умови на зовнішній поверхні шкіри, не покритій одягом, мають наступний вигляд:

$$\lambda\frac{\partial t}{\partial n}=q_{конв}+q_{рад}+q_{по}, \quad (6)$$

де $q_{по}$ – тепловий потік, що враховує відведення теплоти при випаровуванні поту на зовнішній поверхні тіла, описаний нижче.

Механізми терморегуляції реального організму в моделі реалізовані за рахунок скидання тепла в тепловому ядрі, що відводиться диханням і скиданням теплоти з поверхні тіла від теплового ядра через поверхневий шар і одягу в навколишнє середовище з урахуванням потовиділення. Теплопередача через поверхневий шар є важливим фактором теплового стану організму, інтенсивність якої у пропонованій моделі автоматично регулюється змінним коефіцієнтом теплопровідності поверхневого шару, що імітує залежність інтенсивності теплообміну організму з навколишнім середовищем від інтенсивності кровообігу.

Таким чином, величина коефіцієнта теплопровідності поверхневого шару регулює теплообмін між тканинами тіла за рахунок посилення кровообігу при перегріві і являється одним з головних керуючих параметрів розглянутої частини моделі для терморегулювання людського організму. В авторській роботі [9] це явище також було реалізовано в моделі за рахунок завдання ефективного коефіцієнта теплопровідності поверхневого шару, функціонально залежить від температури теплового ядра в спрощеному вигляді.

В даній роботі і розглянутій моделі такий механізм терморегуляції реалізований складніше за допомогою алгоритму керування коефіцієнтом теплопровідності $\lambda_{пш}$ поверхневого шару, величина якого змінюється так, щоб підтримувати температуру ядра на постійному нормальному рівні. Алгоритм ґрунтується на тому, що коли температура теплового ядра підвищується вище нормального рівня 37,0°С

внаслідок виконання роботи та/або підвищення ефективності температури навколишнього середовища, величина $\lambda_{пш}$ також підвищується, що призводить до зменшення термічного опору поверхневого шару і, отже, зниження температури теплового ядра $t_я$, і, навпаки, при зниженні температури теплового ядра знижується і $\lambda_{пш}$, що призводить до збільшення $t_я$. Таким чином алгоритм управління в кожний момент часу нестаціонарного стану організму шукає таке значення $\lambda_{пш}$, яке забезпечує температуру теплового ядра на комфортному рівні (в даному випадку 37,0 °С) в межах відхилення δ= +-0,05°С.

$$(37.0-\delta) \geq t_я \geq (37.0+\delta). \quad (7)$$

Робота алгоритму у моделі реалізована наступним чином.

При знаходженні $t_я$ в діапазоні комфортних значень, тобто при виконанні умови (7), $\lambda_{пш}$ не змінюється в часі:

$$\frac{d\lambda_{пш}}{d\tau} = 0. \quad (8)$$

При перевищенні температури ядра ($t_я$) комфортного рівня (7), коефіцієнт теплопровідності поверхневого шару $\lambda_{пш}$ збільшується таким чином, щоб зменшити температуру ядра і виконати умову (7), при цьому швидкість зміни $\lambda_{пш}$ не може перевищувати деяку величину:

$$\frac{d\lambda_{пш}}{d\tau} > 0; \left|\frac{d\lambda_{пш}}{d\tau}\right| < V_{\max}. \quad (9)$$

При цьому $V_{\max}$ залежить від конкретного значення $\lambda_{пш}$:

$$V_{\max} = 0{,}2\ \lambda_{пш}/30. \quad (10)$$

Якщо шляхом збільшення $\lambda_{пш}$ не вдається виконати умову (7), що може бути підвищений при температурі середовища або великому фізичному навантаженні, то $\lambda_{пш}$ продовжує збільшуватися з часом за дотримання умов (9)-(10). При зниженні температури середовища та/або навантаження температура тіла буде знижуватися до нормального рівня, а потім знову підтримуватися на нормальному рівні за рахунок підібраної величини $\lambda_{пш}$.

Аналогічно для випадку, коли температура ядра з різних причин стає нижче комфортного рівня, значення $\lambda_{пш}$ зменшується сильніше:

$$\frac{d\lambda_{пш}}{d\tau} < 0; \left|\frac{d\lambda_{пш}}{d\tau}\right| < V_{\max}. \quad (11)$$

Значення $\lambda_{пш}$ повинно бути менше деякого максимального рівня, $\lambda_{пш\max}$:

$$\lambda_{пш} \leq \lambda_{пш\max}. \quad (12)$$

Для проведених нижче розрахунків було обрано в ході ідентифікації параметрів і було рівним 45–50 Вт/(м*град), що забезпечує відповідний теплообмін між тканинами тіла і достатню рівномірність температури в його об'ємі.

Під час чисельного розв'язання рівнянь математичної моделі (1)–(6) на кожному кроці за часом ітераційним методом послідовних наближень знаходиться таке $\lambda_{пш}$, яке забезпечує задоволення умови (7). Таким чином, в моделі враховується прискорення кровообміну при підвищенні навантаження, що призводить до більш інтенсивного переносу теплоти від внутрішніх органів і м'язів реального організму до його поверхні.

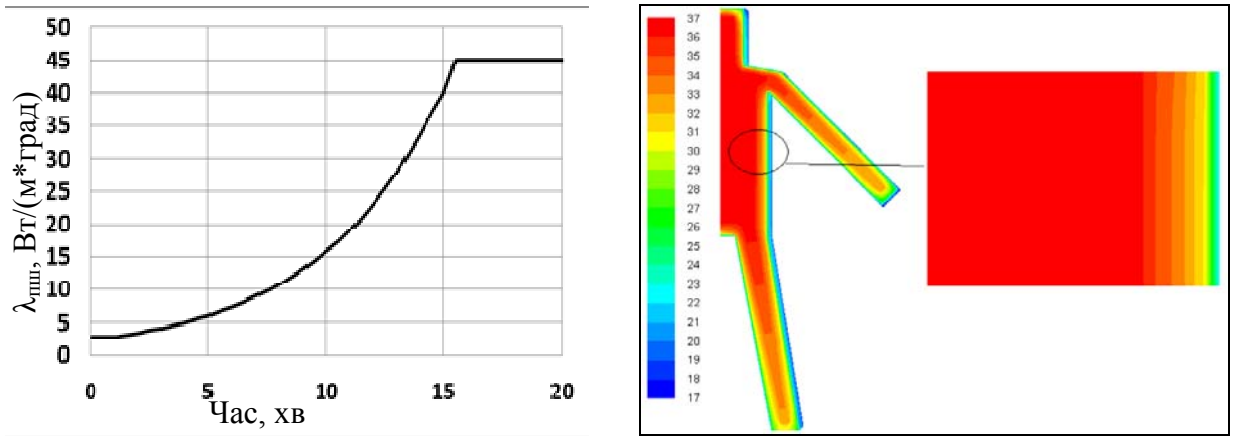
Наведений вище алгоритм є алгоритмом пропорційного регулювання величини $\lambda_{пш}$ для задоволення критерію регулювання (7). Він є більш досконалим, оскільки позбавляє від необхідності підбирати залежність $\lambda_{пш}$ від температури для кожного конкретного випадку, як це розглядалося в [9].

Так, для людини в ТЗОП для умов моделювання, наведених на рис. 9 для Тос=40°С, залежність теплопровідності поверхневого шару тіла від часу і детальне поле температур в площині симетрії представлені на рис. 3. Видно, як значення $\lambda_{пш}$ від часу зростають внаслідок підвищення внутрішнього тепловиділення в тілі при середньому навантаженні і після деякого моменту часу стають постійними, що призводить до перегріву організму. Для інших мінливих умов фізичного навантаження пожежника, температур навколишнього середовища в часі і типів костюмів поведінка кривої $\lambda_{пш}$ від часу буде якісно подібною, але кількісно може бути іншою.

Теплообмін потовиділенням. Аналогічно [9] максимальний рівень тепловіддачі потовиділенням розраховується в моделі за залежністю:

$$q_{п\max} = k \cdot r \cdot G_п, \quad (13)$$

де k – коефіцієнт від 0 до 1, який може враховувати неповне випаровування виділеного поту, наприклад за підвищеної вологості навколишнього середовища або обмеженості відведення вологого повітря від поверхні в захисному одязі, r – теплота пароутворення води, $G_п$ – швидкість випаровування поту з поверхні тіла (кг/с), параметр, який визначається залежно від умов навколишнього середовища та інтенсивності роботи.



(а) **(б)**

Рис. 3. Залежність теплопровідності поверхневого шару тіла від часу (а) і детальне поле температур тіла пожежника в одязі (б) для умов моделювання, наведених на рис. 9 для $t_{ос}$=40°С

У моделі інтенсивність потовиділення залежить від температури ядра у залежності:

$$q_{по} = \begin{cases} 0, \; t_я < 37.0 \\ \left(0.9 - 33.65 \cdot t_я\right) \cdot q_{n\max}, \; 37.0 \le t_я \le 38.5 \\ q_{n\max}, \; t_я > 38.5 \end{cases}. \quad (14)$$

Так, за нормальної температури ядра 37,0°С і нижче тепловіддача потовиділенням відсутня, в межах від 37,0 до 38,5 вона зростає в лінійній залежності, а вище 38,5 дорівнює максимуму. Слід зазначити, що в даній роботі в ході розгляду пожежника в ТЗОП теплота, що віддається потовиділенням, не враховується, так як вважається, що піт не може випаровуватися з-за закритого підкостюмного простору. У той же час, в ході моделювання теплового стану людей у теплокамері (в легкому одязі) потовиділення відіграє ключову роль.

Теплообмін диханням. Теплота, що відводиться з диханням $Q_{дих}$, задається в комп'ютерній моделі як внутрішнє негативне джерело теплоти, що діє в обсязі теплового ядра. Вона обчислюється як сума теплоти, що йде на підігрів повітря до температури тіла і на випаровування вологи в легенях (прийнято допущення, що видихуване повітря повністю насичене водяними парами) за залежності, використовуваної також в [9]

$$Q_{âèõ} = G_{âèõ} \cdot \left(\left(m^{t_ÿ}_{í\,àñ} - m^{í\,ñ}_{í\,àñ} \left(100\% - W\right) \right) \cdot r_{ï} + \tilde{n}_{ð} \rho \left(t_ÿ - t_{í\,ñ} \right) \right), \quad (15)$$

де $G_{дих}$ – об'ємна витрата повітря, що проходить через легені, м³/с; $m_{нас}$ – вологовміст насиченого вологого повітря при температурі ядра і температурі навколишнього середовища, кг/м³, r_n – теплота пароутворення води, Дж/кг; W – відносна вологість повітря; c_p – питома теплоємність повітря, Дж/(кг•К) і ρ – щільність повітря, кг/м³. Об'ємна витрата повітря в моделі виражена у вигляді лінійної функції виду:

$$G_{дих} = 2{,}609 \cdot 10^{-6} \cdot Q_я - 2{,}13 \cdot 10^{-4}. \quad (16)$$

Процедура ідентифікації параметрів моделі полягає в пошуку значень невідомих параметрів моделі, при яких результати розрахунків температур в моделі збіглися б з експериментальними. Доцільно шукати значення параметра в умовах його максимального впливу, а також мінімального впливу інших параметрів.

Основні вимоги до моделі, після задоволення яких її можна вважати адекватною і придатною для прогнозних розрахунків, такі:

1. Забезпечення номінальної температури ядра (37-37,5°С) в стаціонарному стані в діапазоні температур навколишнього середовища 18–31°С в захисному одязі і в легкому одязі. При цьому температура поверхні тіла повинна бути в межах, зазначених у літературі.

2. Збіг залежності зміни внутрішньої температури тіла у часі, виміряної в експерименті, з залежністю, отриманою на моделі з заданими умовами аналогічно експериментальним.

В даній роботі для налаштування моделі була використана наступна інформація: дані про стаціонарні температури тіла при різних температурах навколишнього середовища [12, 13]; дані про зміну температури у часі при випробуваннях, виконаних у психолого-тренувальному центрі ЛДУБЖД, а також дані випробувань в тепловій камері при різних температурах навколишнього повітря [15].

Для ідентифікації параметрів моделі в нестаціонарному режимі нагріву використовувалися експериментальні дані з літератури. Так, в [15] представлені результати випробувань, наведених у тепловій камері з різними температурами навколишнього повітря від 30 до 80°С, тривалість яких була від 20 хв при 80°С, до 60 хв при менших температурах. Ці умови навколишнього середовища були підставлені в модель як вихідні дані, при цьому ідентифікувалися (підбиралися) параметри тепловідведення потовиділенням, а також характер зміни коефіцієнта теплопровідності поверхневого шару тіла від часу (максимальне значення і швидкість зміни), описані у відповідному розділі опису моделі. Отримані в ході розрахунків залежності температури теплового ядра в моделі були порівняні з експериментальними і наведені на рис. 4.

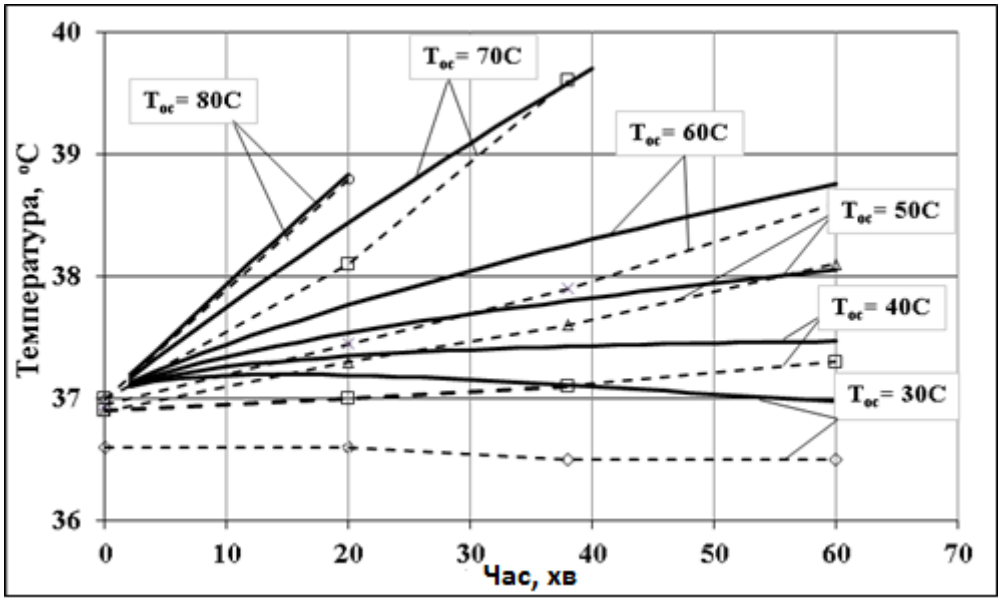


Рис. 4. Залежність температури ядра тіла людини від часу, отримана моделюванням (суцільні лінії) і експериментально в теплокамері (пунктир) [15] за різних температур навколишнього середовища $t_{ос}$

Опис випробувань в ЛДУБЖД. В даній роботі для верифікації моделі використовуються дані експериментальних досліджень, проведених у психолого-тренувальному центрі, який розташований у приміщенні навчальної пожежно-рятувальної частини на території ЛДУБЖД [9]. Тренажерний зал центру призначений для надання з допомогою тренажерів дозованого фізичного навантаження різного рівня складності. У ньому встановлені 4 тренажера: велоергометр, степпер і бігова доріжка (рис. 5).

Рис. 5. Волонтер у процесі випробування на біговій доріжці

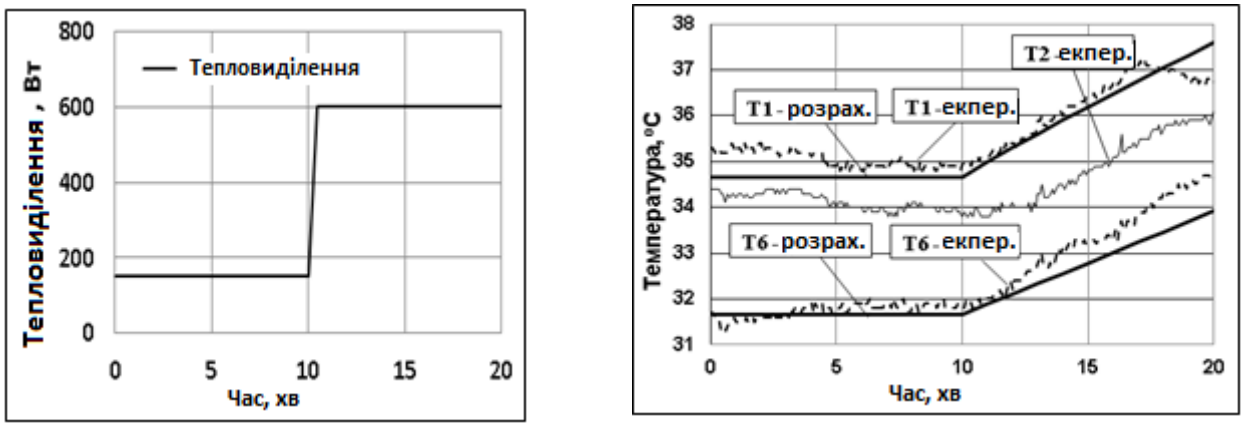
Випробування проводилися як в умовах звичайної температури, коли температура оточуючого середовища становила близько 18°С, так і при підвищеній температурі повітря (до 43°С) у спеціальній тепловій камері. У випробуваннях брали участь волонтери, які виконують фізичне навантаження різної інтенсивності.

Кожне випробування проводилося за наступною програмою: волонтер одягав захисний одяг і вимірювальні датчики, після чого 15 хвилин перебував у спокої, потім він приступав до виконання навантаження протягом заданого проміжку часу (близько 10–15 хвилин), після чого відпочивав не знімаючи ТЗОП 15 хвилин, а потім повторював виконання навантаження.

В ході проведених випробувань були виміряні температури поверхні тіла і підкостюмного простору залежно від часу. Вимірювання температури проводилися за допомогою термопар, розташованих у точках Т1–Т8 (рис. 6): Т1 – спина (на тілі); Т2 – груди (на тілі); Т3 – пах (підкостюмний простір пожежного); Т4 – груди (підкостюмний простір пожежного); Т5 – пахви (підкостюмний простір пожежного); Т6 – ліва частина спини (область серця) (підкостюмний простір пожежного); Т7 – спина (область печінки) (підкостюмний простір пожежного); Т8 – зовнішнє середовище. В результаті випробувань були отримані значення вимірюваних температур у часі, котрі потім були порівняні з результатами, отриманими розрахунковим шляхом з допомогою описаної вище комп'ютерної моделі.

Рис. 6. Схема розміщення датчиків на тілі пожежного і в підкостюмному просторі

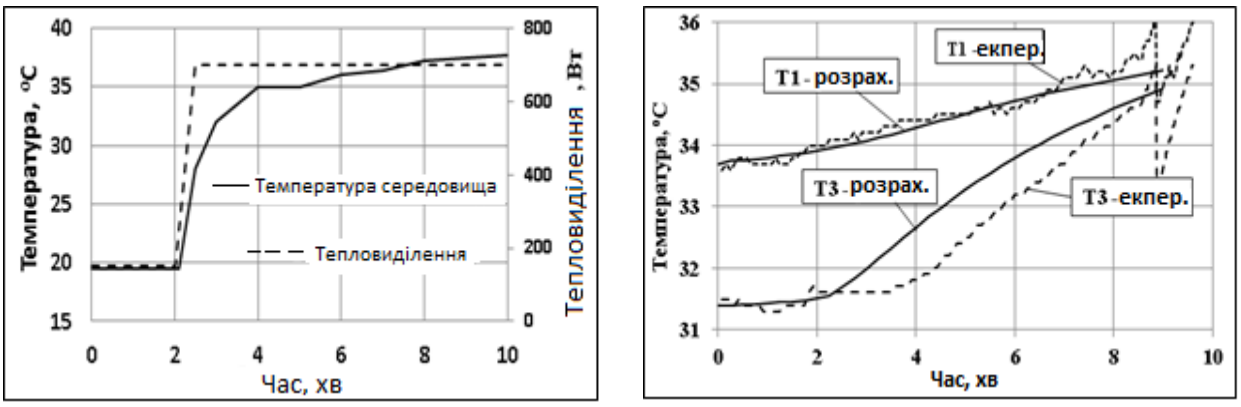
Вихідні дані моделі були задані відповідними умовами експерименту. Для моделювання роботи волонтера в кімнатних умовах температура повітря t_{oc} була задана рівній 18°С, сумарне тепловиділення задавалося залежністю від часу, яка представлена на рис. 8(а), тепловідведення за рахунок потовиділення не враховувалось. Результати порівняння експериментальної і розрахункової температур шкіри і підкостюмного простору для рівня середнього навантаження представлені на рис. 7(б).



а) б)

Рис. 7. Залежність тепловиділення пожежного від часу (а), температури шкіри (Т1, Т2) і підкостюмного простору (Т6) в області грудей і на спині, отримані експериментально (експ.) і моделюванням (розрахунок) для умов кімнатної температури (б)

Для моделювання теплового стану пожежного в умовах підвищеної температури використовувалися такі умови: температура повітря t_{oc} і тепловиділення у результаті навантаження задавалися у вигляді залежностей від часу, представлених на рис. 9(а); тепловідведення за рахунок потовиділення також не враховувались. Результати порівняння експериментальної і розрахункової температур шкіри і підкостюмного простору для рівня середнього навантаження представлені на рис. 8(б).



(а) **(б)**

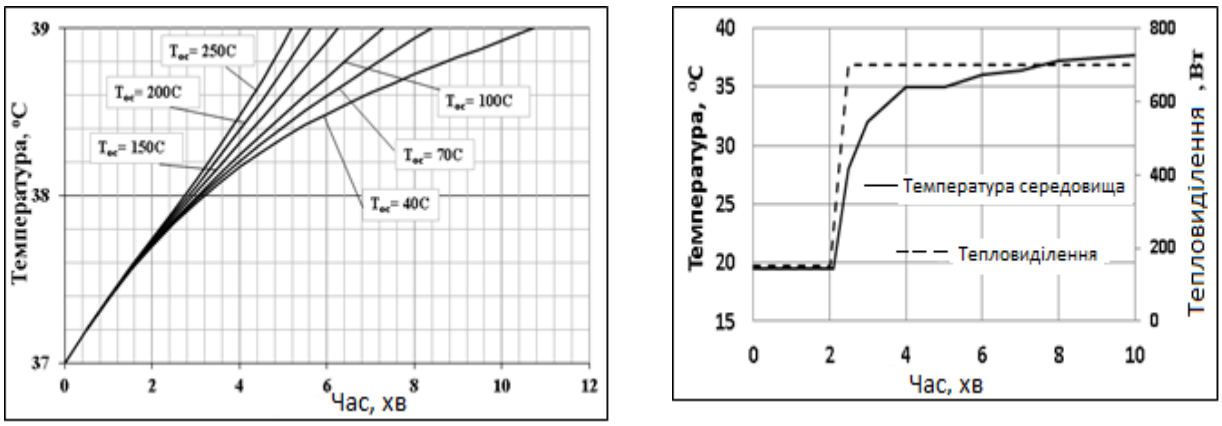
Рис. 8. Залежність тепловиділення пожежника і температури повітря в термокамері від часу (а), температури шкіри (Т1) і підкостюмного простору в області грудей (Т3) (б), отримані експериментально (експ.) і моделюванням (розрахунок)

Як видно з рис. 8(б), температурні криві, отримані в результаті моделювання, якісно і кількісно

близькі з експериментальними кривими. Наявні відмінності можуть бути викликані припущеннями, прийнятими в моделі, а також низкою природних факторів, таких як індивідуальні особливості організму, якість і щільність прилягання датчиків, циркуляція повітря в подкостюмном просторі і т. д. Такі фактори викликають досить сильні флуктуації в рівнях вимірюваних температур. В цілому ж можна зробити висновок про придатність моделі для прогнозування теплового стану пожежника при впливі НФП.

Визначення часу роботи в умовах дії НФП. Для аналізу і прогнозування теплового стану пожежного в ТЗОП при впливі НФП (підвищеної температури) був проведений ряд розрахунків при різних рівнях температур навколишнього середовища в діапазоні від 40°С до 250°С, для яких було визначено час граничної роботи за критерієм перевищення внутрішньої температури вище 39°С.

Для даної групи розрахунків були прийняті наступні консервативні допущення: прийнято малий термічний опір натільного одягу, початковий розподіл температур прийнято таким, в якому температура поверхневого шару близька до температури ядра. Внутрішнє тепловиділення відповідало середньому навантаженню (табл. 1). В результаті розрахунків були отримані залежності температури теплового ядра від часу, а також залежність граничного часу роботи пожежного в костюмі USP 2-2 польської фірми «GO WEST» від температури навколишнього середовища (рис. 10).



(а) **(б)**

Рис. 9. Залежності температури теплового ядра пожежного від часу для різних температур навколишнього середовища при пожежі (а) і граничного часу роботи пожежного в костюмі USP 2-2 польської фірми «GO WEST» від температури навколишнього середовища при пожежі (б)

Умови отримання залежності температури теплового ядра від часу для температури середовища 40°С найбільш близькі до наявних у тепловій камері ЛДУБЖД. Слід зазначити, що за даними розрахунків внутрішній перегрів організму в усіх випадках настає раніше, ніж внутрішня поверхня костюма прогріється вище 50°С (умова виникнення опіків), що свідчить про важливість урахування загального теплового стану пожежного при оцінці часу, протягом якого можливі роботи з гасіння пожеж при впливі НФП. Для всіх розглянутих рівнів температури середовища час до настання перегріву знаходиться в межах від 5 до 10 хв (рис. 8б). На цьому малюнку верхні значення кривої корелюють з експериментальними і розрахунковими результатами, проведеними в тепловій камері ЛДУБЖД.

Запропонована модель може бути використана для оцінки граничного часу роботи пожежних за умов, що відрізняються від представлених в даній роботі. Так, в якості вихідних даних у модель можуть бути підставлені інша температура навколишнього середовища, інтенсивність навантаження, властивості і конфігурація матеріалів ТЗОП. В результаті розрахунків можуть бути отримані залежності і поля температур різних частин тіла, і одягу від часу і визначено граничний час роботи пожежника в різних умовах.

Висновки:

1. Розроблена і верифікована тривимірна модель теплового стану пожежного в ТЗОП, що враховує основні механізми теплообміну і терморегуляції людського організму і захисного костюма.
2. Для обліку механізму терморегуляції за рахунок мінливих швидкості кровообігу вперше запропоновано алгоритм, що реалізує принцип термостатування внутрішньої температури теплового ядра організму шляхом управління теплопровідністю зовнішнього шару тіла пожежника.
3. Проведений ряд експериментів за участю волонтерів, які виконують фізичне навантаження в умовах кімнатної температури, а також в умовах підвищеної температури. В ході експериментів були виміряні температури поверхні тіла і підкостюмного простору залежно від часу.
4. Шляхом ідентифікації визначено ряд параметрів моделі, з експериментальними даними, отриманими як в ЛДУБЖД, так і зазначеними в літературі.
5. Отримана залежність граничного часу роботи пожежного в костюмі USP 2-2 польської фірми «GO WEST» залежно від температури навколишнього середовища за критерієм вище внутрішньої температури граничного значення.
6. Представлена в роботі модель також може бути використана для оцінки граничного часу роботи

пожежників для захисного одягу і умов (властивості ТЗОП, параметри навколишнього середовища, навантаження), що відрізняються від представлених в даній роботі.

Література

1. Одяг спеціальний захисний. Загальні вимоги : ДСТУ EN 340:2001 (EN 340:1993, IDT). – [Чинний від 01 липня 2003 року] / Державний комітет України з питань технічного регулювання та споживчої політики [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://zakon.golovbukh.ua/regulations/10637/478742/

2. Stolwijk J. A. J. Matematikal model of phisiological temperature regulation in man / J. A. J. Stolwijk, J. D. Hardi. – Washington, 1971.

3. Ермакова И.И. Исследование динамических процессов в системе терморегуляции человека методом цифрового моделирования : дис. … к. т. н. / Ермакова И.И. – К., 1974. – 162 с.

4. Бартон А. С. Людина в умовах холоду / А. С. Бартон, О. Ж. Эдхолм. – М. : Іноземна література, 1957. – 346 с.

5. Черунова В. В. Математичне моделювання в рамках гнучкого проектування теплозахисного одягу / Черунова В. В. – М. : Швейна промисловість. – 2006. – № 5. – С. 37–38.

6. Галузо Ю. А. Аспекти математичних моделей теплового променю з тілом людини / Ю. А. Галузо, В. В. Черунова, В. В. Куренова // Сучасні наукомісткі технології. – 2013. – № 8 (частина 1). – С. 30–31.

7. Kurmazenko E. A. A detailed simulation model of the human organism thermoregulation system / E. A. Kurmazenko, T. V. Matjushev, N. V. Soloshenko // Sixth European Symposium on Space Environmental Control Systems, Noordwijk, Netherlands, 20–22 May. – 1997. – SP-400. – P. 815–821.

8. Болібрух Б.В. Разработка и верификация расчетной модели теплового состояния теплозащитной одежды пожарного при различных видах испытаний / Б.В. Болібрух, М. Хмель // Bezpieczenstwo i Technika Pozarnicza. Jozefow, Kwartalnik CNBOP-PIB. – 2015. – № 2. – С. 53–63.

9. Bolibrukh B.V. A Model of a Firefighter's Thermal Condition when Attired in Protective Clothing / B.V. Bolibrukh, M. Chmiel, Yu. Mazur // Bezpieczenstwo i Technika Pozarnicza. Jozefow, Kwartalnik CNBOP-PIB. – 2016. – № 1. – С. 37–47.

10. Шналь Т. М. Вогнестійкість та вогнезахист металевих конструкцій / Шналь Т. М. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2010. – 176 с. – ISBN 978-966-553-945-2.

11. Wei Lu Advanced steel structures. Structural fire design. Fatiguedesign / Wei Lu, Pentti Mäkeläinen / Helsinki University of Technology Laboratory of Steel Structures publications. – 2003.

12. Павлов А. С. Термофізіологія м'язової роботи і спортивного стресу : монографія / Павлов А. С. – Донецьк : ДонНУ, 2007. – 79 с.

13. Asmussen E. Body temperature and capacity for a work / E. Asmussen // Acta Physiol. Scand. – 1945. – № 10. – P. 1–22.

14. Дульнєв Р. Н. Застосування ЕОМ для вирішення задач теплообміну / Р. Н. Дульнєв, В. Р. Парфьонов, А. В. Сигалов. – М. : Вища школа, 1990. – 192 с.

15. Чвырев В. Р. Тепловий стрес / В. Р. Чвырев, А. Н. Ажаев, Р. Н. Новожылов. – М. : Медицина, 2000. – 296 с.

Рецензія/Peer review : 28.1.2017 р. Надрукована/Printed :6.2.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Карван С.А.

УДК 006.063:67/68

Н.І. УПІРОВА, Г.В. КРАВЧУК
Київський національний університет технологій та дизайну
Т.В. ХИЛЬКЕВИЧ, Т.Ф. ХАРЧЕНКО
ДП «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л.І. Медведя»

НОРМУВАННЯ РІВНЯ ВМІСТУ ФОРМАЛЬДЕГІДУ У ПРОДУКЦІЇ ТЕКСТИЛЬНОЇ ТА ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ В УКРАЇНІ І СВІТІ

Мета даної роботи – виявлення проблем, що пов'язані з гармонізацією нормативних документів України в сфері екологічності та безпечності текстильної продукції зі стандартами ЄС та нормуванням рівня вмісту формальдегіду у текстильних матеріалах. В ході дослідження проаналізовано нормативні документи, що формують сучасні системи сертифікації текстильних матеріалів в Україні та країнах Європейського Союзу, організаційні та методологічні проблеми екосертифікації. Визначено невідповідності у підходах до контролю вмісту формальдегіду у вітчизняних та міжнародних нормативних документах.

Ключові слова: текстиль, продукція, екологія, формальдегід, сертифікація.

N.I. UPIROVA, G.V. KRAVCHUK
Kyiv National University of Technologies and Design
T.V. KHYLKEVYCH, T.F. KHARCHENKO,
«L.I. Medved's research center of preventive toxicology, food and chemical safety» (State enterprise)

RATE FIXING OF THE FORMALDEHYDE LEVEL IN GOODS OF TEXTILE INDUSTRY AND IN LIGHT INDUSTRIAL GOODS IN UKRAINE AND THE WORLD

The purpose of the given work is to distinguish the problems, as connected with the harmonization of the regulatory documents of Ukraine, in the spheres of ecological properties and safety of textiles, according to the EU standards and rate fixing of the formaldehyde level in textile materials. The regulatory documents that form modern systems of certification for textile materials in Ukraine and in the countries of the European Union, organizational and methodological problems of the eco-certification, were analyzed during the investigation. The inconsistencies in approaches to the formaldehyde content control were distinguished in domestic and international regulatory documents.

Keywords: textile, goods, ecology, formaldehyde, certification.

Вступ

Останнім часом споживачі все більше уваги звертають на рівень життєво необхідних споживчих властивостей товарів і виробів. При цьому одним з основних критеріїв оцінки гігієнічності продукції текстильної та легкої промисловості стає рівень їх екологічної безпечності, а для визначення їх якості і конкурентоспроможності найчастіше вирішальними є не вартість і фізико-механічні властивості, а безпека для здоров'я та оточуючого середовища [1, 2]. Такі зміни в пріоритетах споживачів змушують виробників продукції надавати гарантії безпечності власної продукції через механізми екологічної сертифікації та екологічного маркування. Ці механізми ефективно реалізуються в країнах ЄС, де проблемам екології текстилю вже давно приділяється значна увага й успішно діють такі екологічні ініціативи, як стратегія екологічно орієнтованого менеджменту та екологічного підприємництва, а всі підприємства в обов'язковому порядку проходять екологічний аудит. Такий підхід значно підвищує відповідальність товаровиробника за результати своєї діяльності та сприяє високому рівню екологічної безпечності та конкурентоспроможності продукції [3].

Екологічні принципи і стандарти впливають на відносини ЄС з третіми країнами і залежно від їх дотримання товари іноземного виробництва допускаються на митну територію країн ЄС [4]. У зв'язку з цим, для виходу на європейські ринки українські текстильні підприємства повинні приділяти значну увагу відповідності продукції вимогам міжнародного стандарту Öko-Tex Standard 100, який є основою для визначення рівня екологічної чистоти текстильних виробів та проведення екологічної сертифікації в багатьох країнах ЄС та світу. Отже, в процесі інтеграції українських виробників текстильної продукції в європейський та світовий ринковий простір, актуальним стає питання впровадження екологічної сертифікації продукції текстильної та легкої промисловості в Україні. Це мало би сприяти підвищенню репутації України як учасника міжнародних екологічних програм, розширенню можливостей виходу української текстильної продукції на міжнародні ринки, гарантуванню захисту українського споживача від імпортованої продукції сумнівної якості та позитивному впливу на рівень конкурентоздатності вітчизняних товарів на внутрішньому ринку [3].

Постановка завдання

Для впровадження в Україні екологічної сертифікації продукції текстильної та легкої промисловості потрібно вирішити та узгодити ряд організаційно-методологічних проблем. Серед питань, що потребують подальшого розвитку, важливим є аналіз принципів та підходів до нормування рівнів кількісного та якісного вмісту у текстильній продукції шкідливих для здоров'я людини речовин.

Серед усіх хімічних речовин, що можуть міститися у текстильному виробі, особлива увага приділяється формальдегіду. Це зумовлено наступними причинами: по-перше, остаточний вміст формальдегіду зумовлено в багатьох стандартах на текстильну продукцію, зокрема в європейському Öko-

Tex Standard 100 та вітчизняному ДСТУ 4239-2003 [5–7], по-друге, в Україні у 1997 році було прийнято, а у 2002 році переглянуто нормативний документ «Державний гігієнічний норматив. Перелік речовин, продуктів, виробничих процесів, побутових та природних факторів канцерогенних для людини» [7].

Метою статті є аналіз літературних джерел та нормативних документів, виявлення проблем, що пов'язані з гармонізацією нормативних документів України в сфері екологічності та безпечності текстильної продукції зі стандартами ЄС та нормуванням рівня вмісту формальдегіду у текстильних матеріалах. Дослідження зазначених питань є актуальним і необхідним для розробки методології визначення екологічних показників текстильної продукції та впровадження екологічної сертифікації продукції текстильної та легкої промисловості в Україні.

Результати дослідження

Формальдегід є компонентом багатьох хімічних сполук, що використовуються в текстильній промисловості для виготовлення текстильних виробів, при цьому він належить до другого класу небезпеки [8].

У великих концентраціях формальдегід токсичний, впливає на організм як подразнюючий газ, викликає дегенеративний процес в паренхіматичних органах, сенсибілізує шкіру. Є дані про сильний вплив формальдегіду на центральну нервову систему. Вільний формальдегід інактивує ряд ферментів в органах та тканинах організму, пригнічує синтез нуклеїнових кислот, порушує обмін вітаміну С. Крім загальнотоксичної дії, виявлено канцерогенні та мутагенні властивості формальдегіду [5, 9–11]. Оскільки дитячий організм має підвищену чутливість та вразливість до дії зовнішніх факторів, що пов'язано з активним процесом роста та розвитку, то на тлі стійких негативних тенденцій у стані здоров'я дітей вміст вільного формальдегіду особливо ретельно треба контролювати саме в продукції для найменших споживачів [12].

Гранично допустима концентрація (ГДК) формальдегіду і його емісія у повітря у країнах ЄС регламентується найбільш жорстким стандартом в області текстильної екології - Öko-Tex Standard 100. Цей стандарт застосовується для текстильних і шкіряних виробів та визначає загальні й спеціальні умови, вироблена за яких тканина вважається екологічно безпечною. Перевірки по Öko-Tex Standard 100 завжди орієнтуються на конкретне призначення текстильної продукції, тому діє принцип: чим інтенсивніше контакт текстилю зі шкірою людини, тим більш високі вимоги екології повинні бути виконані. Нижче наведено гранично допустимі норми вмісту формальдегіду в текстильних матеріалах різного призначення по Öko-Tex Standard 100 (таблиця 1).

Таблиця 1

Нормування рівня вмісту формальдегіду в Öko-Tex Standard 100

Критерій	Клас продукту			
	I (діти до 36 міс.)	II (контакт зі шкірою)	III (немає контакту зі шкірою)	IV (декоративний матеріал)
Вміст вільного і здатного частково виділятися формальдегіду, мкг/г, не більше ніж	Відсутній*	75	300	300

* - відсутній відповідно до Японського методу LOW 112 відповідає адсорбційній одиниці менше 0,05, а саме <16 ppm.

В Україні діє ряд нормативних документів, в яких ставляться вимоги до рівня вмісту формальдегіду у текстильній продукції. Серед них - стандарт ДСТУ 4239-2003 - «Матеріали та вироби текстильні і шкіряні побутового призначення. Основні гігієнічні вимоги». Згідно з цим стандартом, з огляду на безпеку продукції для життя та здоров´я людини, гігієнічні вимоги поділяються на групи:

1) гігієнічне нормування хімічних речовин у складі продукції – допустимий рівень масової частки хімічних волокон;

2) гігієнічне нормування комфортності – гігроскопічності, повітропроникності, питомого поверхневого електричного опору, рівень pH;

3) гігієнічне нормування вмісту шкідливих речовин та міграції їх з продукції до тіла людини на навколишнього середовища – показники вмісту вільного і здатного частково виділятися формальдегіду, емісії формальдегіду, вмісту екстрагувальних важких металів, пестицидів, пентахлорфенолу, азобарвників, хлорорганічних носіїв, емісії летких і пахучих сполук, стійкості пофарбування, наявності специфічного запаху.

Норми показників еколого-гігієнічних властивостей текстильних матеріалів і виробів диференційовані залежно від їх призначення: одяг і матеріали для нього, текстильні вироби домашнього вжитку, вироби для оздоблення інтер'єру. Норми для одягу та одягових матеріалів в свою чергу об'єднують в групи для:

- текстильних полотен (тканих, в'язаних, нетканих), зокрема дитячих;
- аксесуари (зокрема для дитячого одягу);
- пряжі та волокон;
- шкіри та шкіряного одягу.

У кожній групі матеріалів і виробів виділяються такі, що контактують і не контактують зі шкірою

людини в процесі їх експлуатації.

Вимоги до рівня вмісту формальдегіду в текстильних матеріалах відповідно до ДСТУ 4239-2003 представлено в таблиці 2.

Таблиця 2

Нормування рівня вмісту формальдегіду в ДСТУ 4239:2003

Критерій	Призначення текстильних виробів				
	Одяг і матеріали для нього		Вироби домашнього вжитку		Вироби для оздоблення інтер'єру
	Діти (до 24 міс.)	Дорослі	Діти (до 24 міс.)	Дорослі	
Вміст вільного і здатного частково виділятися формальдегіду, мкг/г, не більше ніж	20	300/75[1]	20	75[2]	300

[1] - рівень показників означає: верхній – для матеріалів (виробів), що не контактують зі шкірою людини; нижній - для матеріалів (виробів), що контактують зі шкірою людини;

[2] - для рушників і виробів з махрової тканини - 300 мкг/г

Інші нормативні документи, що регламентують вимоги до формальдегіду в текстильній продукції в Україні - ДСТУ ГОСТ 25294:2005 «Одяг верхній платтяно-блузкового асортименту. Загальні технічні вимоги» та ДСТУ ГОСТ 25296:2005 «Одяг верхній пальтово-костюмного асортименту. Загальні технічні вимоги», згідно з якими для платтяно-блузкового та білизняного асортименту значення вмісту вільного формальдегіду повинно складати не більше 75 мкг/г, для верхнього одягу – не більше 300 мкг/г.

Ще один нормативний документ було затверджено в Україні у 2012 році в рамках гармонізації вітчизняних стандартів зі стандартами інтернаціональної Асоціації досліджень і випробувань в галузі екології текстилю ЕКО-ТЕКС - Державні санітарні норми та правила (ДСанПіН) «Матеріали та вироби текстильні, шкіряні і хутрові. Основні гігієнічні вимоги», які встановлюють медичні вимоги безпеки до продукції та є обов´язковими для виконання. Вимоги ДСанПіН в частині контролю рівня вмісту формальдегіду відповідають вимогам ДСТУ 4239-2003 [13, 14].

Порівняльний аналіз нормованих рівнів вмісту формальдегіду, внесених до стандартів ДСТУ 4239:2003 та Öko-Tex Standard 100 показує, що Öko-Tex Standard 100 є більш вимогливим до продукції дитячого призначення. Так, згідно з Öko-Tex Standard 100, продукція I класу (для дітей віком до 36 місяців) не повинна містити формальдегіди, при цьому ДСТУ 4239:2003 встановлює допустимий рівень формальдегідів у продукції для дітей лише до 24 місяців та на рівні до 20,0 мг/кг. Існують й інші розбіжності у рівнях нормованих показників [15]. Виникає цілком логічне питання: як виникли такі розбіжності у рівнях показників стандартів, які багато авторів називають гармонізованими? Справа у тому, що стандарти Öko-Tex Standard 100 та ДСТУ 4239-2003 в цілому співпадають за номенклатурою показників і їх нормативним рівнем, але Öko-Tex Standard 100 містить не лише заборонені чи регламентовані законодавчо параметри, але й такі, що можуть негативно вплинути на здоров'я людини з точки зору сучасної науки. Тому номенклатура показників Öko-Tex Standard 100 регулярно переглядається, коректується та вдосконалюється. Поряд із цим, ДСТУ 4239-2003 є незмінним з моменту його введення в дію [13, 14, 16]. Так, на момент введення в дію вітчизняного стандарту ДСТУ 4239-2003 в стандарті Öko-Tex Standard 100 було передбачено гранично допустиму норму вмісту формальдегіду в матеріалах для дитячого одягу саме на рівні 20 мкг/г [6, 17, 18]. Але, як вже було зазначено, Öko-Tex Standard 100 постійно переглядається в сторону підвищення вимог і наразі вже не можна вважати ДСТУ 4239-2003 гармонізованим з Öko-Tex Standard 100. Отже, знову виникає необхідність гармонізації ДСТУ 4239-2003 з Öko-Tex Standard 100 та внесенні доповнень і змін у вітчизняний стандарт відповідно до сучасних вимог, що містяться в міжнародному стандарті.

Одразу виникає й інше питання: наскільки є обґрунтованими вимоги Öko-Tex Standard 100 та чи не є такі жорсткі норми одним з методів конкурентної боротьби європейців? Тут можна звернутись до досвіду інших країн в даному питанні, наприклад, Російської Федерації (РФ). У старих радянських гостах передбачався нульовий вміст формальдегіду для текстильних матеріалів дитячого асортименту [19]. Наразі в РФ діє ГОСТ Р 50729-95 РФ «Материалы текстильные. Предельно допустимые концентрации свободного формальдегида», в якому вміст формальдегіду в текстильних матеріалах у виробах для дітей віком до 1 року не допускається. Така норма підтверджена і російськими гігієністами в результаті проведення санітарно-хімічних та токсикологічних досліджень щодо встановлення нормативної величини для формальдегіду шляхом дослідження шкірно-подразнювальної та алергенної дії на тваринах і людях-добровольцях. В результаті проведення дослідів на міграцію речовин у водне середовище та стійкість до поту для виробів білизняного асортименту було встановлено, що величина концентрації формальдегіду, що мігрує з тканин і одягу, не повинна перевищувати 5 мг/л з врахуванням десятикратного коефіцієнту запасу в зв'язку з канцерогенною та алергенною дією формальдегіду [14, 20].

Відповідно до СанПиН 2.4.7/1.1.1286-03 «Гигиенические требования к одежде для детей, подростков и

взрослых» (РФ), вміст формальдегіду в одязі для дітей не повинен перевищувати 0,1 мг/л. Цим документом контролювався вміст формальдегіду у дитячому одязі в РФ до введення в дію у 2011 році Технічного регламенту (ТР) ТР ТС 007/2011 «О безопасности продукции, предназначенной для детей и подростков».

До введення в дію зазначеного вище ТР ТС гігієністами було проведено токсикологічний експеримент на тваринах для з'ясування обґрунтованості нормованих рівнів формальдегіду [12]. Дослідження проводились на тваринах з використанням текстильних виробів різної поверхневої густини, з різним ступенем контакту зі шкірою та різним рівнем впливу (20, 75, 150, 750 мкг/г). Протягом двох тижнів експерименту вивчалась динаміка приросту маси тіла, параметри нервової системи, системи крові, функції печінки, нирок, оцінювання імунної системи тварин. Результати досліджень дозволили встановити вимоги до безпеки дитячого одягу та рекомендувати ввести в проект ТР наступне: в одязі першого шару для дітей віком до 1 року вільний формальдегід не допускається, в одязі другого та третього шарів – допускається не більше ніж 20 мкг/г вільного формальдегіду, для дітей віком від 1 до 3 років вміст вільного формальдегіду не повинен перевищувати 20 мкг/г [12]. Тим не менше, введений у 2011 році ТР ТС 007/2011 «О безопасности продукции, предназначенной для детей и подростков» не враховує дані рекомендації та містить норми, наведені у таблиці 3. Отже, результати роботи дослідників не знайшли відображення у ТР ТС в частині нормування вмісті вільного формальдегіду в одязі для дітей.

Таблиця 3

Нормування рівня вмісту формальдегіду в ТР ТС 007/2011

Вікова група, вік дитини	Питома вага вільного формальдегіду (мкг/г, не більше)	Призначення виробів
Діти до 1 року	20	одяг та вироби першого шару – постільна білизна, трикотажні та швейні вироби з текстильних матеріалів
	20	одяг другого шару – трикотажні та швейні вироби з текстильних матеріалів
	20	одяг третього шару – трикотажні та швейні вироби з текстильних матеріалів
Ясельна група, 1-3 роки	20	Одяг першого шару – постільна білизна, хустки, літнє головне вбрання, купальні вироби, панчішно-шкарпеткові вироби
Дошкільна група, 3-7 років	75	
Шкільна група, 7-14 років		
Підліткова група, 14-18 років		
Ясельна група, 1-3 роки	75	Одяг другого шару – рукавички, головне вбрання, панчішно-шкарпеткові вироби осінньо-зимового асортименту
Дошкільна група, 3-7 років		
Шкільна група, 7-14 років		
Підліткова група, 14-18 років		
Ясельна група, 1-3 роки	300	Одяг третього шару – пальта, напівпальта, куртки, комбінезони
Дошкільна група, 3-7 років		
Шкільна група, 7-14 років		
Підліткова група, 14-18 років		

Таким чином, враховуючи проведений аналіз нормативної документації щодо вмісту формальдегіду у текстильній продукції та результати експериментальних досліджень, можна констатувати, що робота в напрямку гармонізації нормативних документів України з міжнародними стандартами залишається актуальною.

Висновки

1. Формальдегід є одним з найнебезпечніших екополютантів, норми вмісту якого обумовлено в багатьох стандартах на текстильну продукцію в різних країнах світу.

2. Вимоги до рівня вмісту формальдегіду, що містяться в стандартах Öko-Tex Standard 100 та ДСТУ 4239-2003, мають розбіжності, у тому числі і в частині нормування вимог до рівня вмісту вільного формальдегіду в текстильній продукції дитячого призначення.

3. Для покращення екологічності текстильної продукції, особливо дитячого асортименту, існує нагальна необхідність перегляду змістовної частини вітчизняного стандарту ДСТУ 4239-2003 з метою гармонізації його вимог з вимогами європейського стандарту Öko-Tex Standard 100.

Література

1. Галик І. С. Роль текстильного товарознавства у формуванні та оцінюванні екологічної безпечності текстильних матеріалів і виробів / І. С. Галик, Б.Д. Семак // Вісник КНУТД. - 2013. - №2. - С. 91-98.

2. Високотехнологічні конкурентоспроможні і екологічноорієнтовані волокнисті матеріали та

вироби з них [Текст] : монографія / [П.А.Глубіш, В.М. Ірклей, Ю.Я. Клейнер, Н.М. Резанова, М.В. Цебренко, С.М. Кернер, В.Д. Омельченко, Ю.Т. Турчаненко]. - К. : Арістей, 2007. - 264с.

3. Упірова Н.І. Екологічна сертифікація продукції текстильної та легкої промисловості як інструмент впливу на повний життєвий цикл текстильних виробів / Н.І. Упірова, А.М. Слізков, О.О. Гайдей // Вісник ХНУ. – 2016. - № 1(233). – С. 181-184.

4. Олефіренко О. Головні тенденції формування екологічного простору / О. Олефіренко // Наук. вісн. – 2011 – Вип. 6. – Режим доступу: http://www.lvivacademy.com/visnik6/fail/ Olefirenko.pdf

5. Г.Г. Богданов, З.В. Захожай. Еволюція матеріалів для одягу: Навчальний посібник. – К.: КНУТД, 2003.-280с.: - Бібліогр.: 279 с.: - бібліогр. назв 8: - іл. 45. Укр. мовою.

6. М.Г. Гаврилова, Ю.Я. Севостьянова, С.В. Фролов, А.В. Артемов. Нормы и методики содержания формальдегида в текстильных изделиях: [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://www.textileclub.ru/index.php?option=displaypage&Itemid=106&op=page&SubMenu=

7. Баглей Е.А. Оценка канцерогенного риска веществ, мигрирующих из полимерных материалов / Е.А. Баглей // Тези доповідей науково-технічної конференції «Актуальні питання токсикології та гігієни застосування полімерних матеріалів, проблеми «хворого житла»» (23-24 червня 2003 року). – Київ : ДП «Інститут екогігієни та токсикології ім. Л.І.Медведя», 2003. – С. 379-381.

8. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці / В. Ц. Жидецький, В. С. Джигирей, О. В. Мельников // - Вид. 2-е, стериотипне. - Львів: Афіша, 2000. - 348 с.

9. Дорогова В.Б. Формальдегид в окружающей среде и его влияние на організм (обзор) / В.Б. Дорогова, Н.А. Тараненко, О.А. Рычагова // Бюллетень ВСНЦ СО РАМН. – 2010. - № 1 (71). – С. 32-35.

10. Зінченко Н.О. Аерогенне навантаження для населення забруднення повітря закритих приміщень хімічними канцерогенами / Н.О. Зінченко, І.О. Черниченко, О.М. Литвиченко, Л.С. Соверткова // Гігієна населених місць. – 2012. - № 59. – С. 114-119.

11. Мячина О.В., Зуйкова А.А., Пашков А.Н., Пичужкина Н.М. Исследование взаимосвязи между заболеваемостью детей и содержанием загрязняющих веществ в атмосферном воздухе (по данным ежедневных наблюдений в течение года) // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 9-6. – С. 1087-1093: [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: http://www.fundamental-research.ru/ru/article/view?id=32902 (дата обращения: 22.09.2016).

12. Барсукова Н.К. Биологическая и химическая безопасность детской одежды: предъявляемые требования / Н.К. Барсукова, О.А. Чумичева // Рынок легкой промышленности. – 2010. - № 74: [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://rustm.net/catalog/article/1719.html

13. Упірова Н.І. Актуальність проблеми забруднення пестицидами продукції текстильної та легкої промисловості / Н.І. Упірова, А.М. Слізков, Т.В. Хилькевич, Т.Ф. Харченко, А.М. Строй // Вісник ХНУ. – 2016. - № 4(239). – С. 189-193.

14. Чубирко М.И. Гигиенические подходы к оценке детской продукции / М.И. Чубирко, Т.А. Попова, О.А. Фуфаева, Г.М. Басова // Тези доповідей науково-технічної конференції «Актуальні питання токсикології та гігієни застосування полімерних матеріалів, проблеми «хворого житла»» (23-24 червня 2003 року). – Київ : ДП «Інститут екогігієни та токсикології ім. Л.І.Медведя», 2003 – С. 358-359.

15. Упірова Н.І. Шляхи розвитку екологічної сертифікації продукції текстильної та легкої промисловості України / Н.І. Упірова, А.М. Слізков, Л.А. Дмитренко // Вісник КНУТД. Серія «Технічні науки». – 2015. - № 3(86). – С. 157-163.

16. Слізков А.М. Проблеми екологічної сертифікації продукції текстильної та легкої промисловості і шляхи їх вирішення / А.М. Слізков, Н.І. Упірова // Вісник КНУТД. Серія «Технічні науки». – 2015. - № 2(84). – С. 221-226.

17. Галик І. С. Стандартизація вимог до екологічної безпеки текстилю / І. С. Галик, Б. Д. Семак, З. М. Семак // Вісник Львівської комерційної академії. Серія товарознавча. - 2013. - Вип. 13. - С. 41-46. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vlca_2013_13_14.

18. Environmental baseline requirements for textiles. Study commissioned by: The Consumer Council at the Austrian Standards Institute. Supervised by: Dr. Franz Fiala. Pia Brunn Poulsen. Force Technology. The Division – "Energy and Environment". – 2004. - Режим доступу: http://www.google.com.ua/url?url=http://www.verbraucherrat.at/content/01-news/02-archiv-2003-2004/07-umweltanforderungen-an-textilien/textilesforce.pdf&rct=j&q=&esrc=s&sa=U&ved= 0ahUKEw iXt6Pi4b7PAh XIjiwKHe9OARUQFgg0MAY&sig2=GQb0xcE0wA-hMsvizoR y3Q&usg= AFQjCNGf0q zbLnxfwMR HTmbqo Lfcjv 41IA

19. Разуваев А.В. Стандарт Экотекс -100 и биоцидная отделка текстильных материалов / А.В. Разуваев // Рынок легкой промышленности. – 2009. - № 68. – С. 22-25.

20. Рожковська Г.П. Характер дії, методи визначення та оцінка ризику синтетичних матеріалів при контакті зі шкірою людини / Г.П. Рожковська // Тези доповідей науково-технічної конференції «Актуальні питання токсикології та гігієни застосування полімерних матеріалів, проблеми «хворого житла»» (23-24 червня 2003 року). – Київ : ДП «Інститут екогігієни та токсикології ім. Л.І.Медведя», 2003 – С. 386-388.

Рецензія/Peer review : 1.12.2016 р. Надрукована/Printed :5.2.2017 р.
Рецензент : д.т.н., проф. А.М. Слізков

УДК 687.2:615.8

О.М. ТРОЯН, О.М. ЛУЩЕВСЬКА, О.Й. ЯНЦАЛОВСЬКИЙ, Л.В. КРАСНЮК
Хмельницький національний університет

РОЗРОБЛЕННЯ ЧОЛОВІЧОЇ БІЛИЗНИ ЛІКУВАЛЬНО-ПРОФІЛАКТИЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ЕНЕРГОІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

В статті розглянуто проблему створення лікувально-профілактичної чоловічої білизни для ефективної профілактики хронічного простатиту шляхом впливу на біологічно активні точки і біологічно активні зони, котрі розташовані в нижній частині тулуба чоловіка. Розроблено конструкцію чоловічих трусів для профілактики хронічного простатиту, виготовлено експериментальні дослідні зразки та проведено їх апробацію. Встановлено, що використання розроблених виробів дозволяє покращити функціональний стан організму людини, хворої на хронічний простатит.

Ключові слова: чоловіча білизна, біологічно активні точки, біологічно активні зони, хронічний простатит, лікувально-профілактичні вироби, інформаційно-хвильова терапія.

O.M. TROYAN, O. M. LUSCHEVSKA, O.Y. YANCALOWSKIY, L.V. KRASNYUK
Khmelnytsky National University

DEVELOPMENT OF MEDICAL MEN'S MEDICAL PROPHYLACTIC USING ENERGY TECHNOLOGY

In the article the problem of creating therapeutic and prophylactic men's underwear for effective prevention of chronic prostatitis by exposure to biologically active points and biologically active zones, which are located at the bottom of the body of her husband. Developed model design briefs for the prevention of chronic prostatitis, made experimental prototypes are made and tested. It is established that the use of products developed improves the functional state of the human body, patients with chronic prostatitis.

Keywords: men's underwear, acupressure points, biologically active zones, chronic prostatitis, medical prophylactic clothing, information-wave therapy.

Вступ

Сьогодні у світі спостерігається підвищений попит на лікувально-профілактичний одяг, який, окрім звичних функцій, здатний здійснювати лікувально-профілактичний вплив на організм людини. Застосування в сучасній медицині лікувально-профілактичного одягу відноситься до альтернативних методів лікування, що базуються на сучасних науково-технічних відкриттях із використанням інформаційної медицини, яка представляє собою сукупність передових медичних технологій, що ґрунтуються на використанні інформаційно-хвильового впливу на організм людини.

Однією із актуальних медико-соціальних проблем сучасності є захворювання на хронічний простатит [1, 2]. Ця хвороба сьогодні є найпоширенішим захворюванням чоловічих статевих органів, що вражає чоловіків найбільш працездатного та сексуально-активного віку. Хоча існує велика кількість лікарських препаратів, що використовують для лікування хронічного простатиту, забезпечення терапевтичного впливу часто є неефективним, що призводить до виникнення серйозних ускладнень, розвитку побічних реакцій і до зниження ефективності консервативної терапії [3]. Тому виникає необхідність пошуку нових, альтернативних методів, які б забезпечили лікування та ефективну профілактику даного захворювання, а відповідно сприяли зменшенню кількості хворих на хронічний простатит.

Одним із таких методів є використання лікувально-профілактичної білизни. Ефективність зазначеної білизни забезпечується за рахунок дії лікувально-профілактичного чинника на біологічно активні точки (БАТ) і біологічно активні зони (БАЗ) тіла людини. Проте, наявний асортимент лікувально-профілактичної білизни має зазвичай широкий спектр дії без конкретного спрямування на вирішення проблеми профілактики якогось певного захворювання, що знижує ефект від її використання. Саме тому, проблема створення чоловічої натільної лікувально-профілактичної білизни, дія якої була б спрямована безпосередньо на здійснення профілактики хронічного простатиту, є актуальною.

Виклад основного матеріалу статті

Асортимент лікувально-профілактичних швейних виробів включає в себе різноманітні вироби, які використовують для лікування та профілактики широкого спектру захворювань. Однак, переважна більшість таких виробів розробляється та виготовляється іноземними виробниками, такими як Китай, США, Німеччина, РФ. В Україні ж подібні розробки є поодинокими та знаходяться на початковому рівні. Це зумовлено, насамперед, відсутністю систематизованої інформації щодо використання лікувально-профілактичних виробів, а також науково-обґрунтованих підходів до їх створення.

Сучасні лікувально-профілактичні швейні вироби в залежності від їх призначення поділено на три основні групи: лікувальні, лікувально-профілактичні та профілактичні вироби. До лікувальних віднесено вироби, що здатні здійснювати безпосередньо лікувальну дію на уражені органи або системи людини, полегшуючи стан та усуваючи прояви захворювання. До лікувально-профілактичних – вироби, що призначені як для лікування, так і для профілактики захворювань. До профілактичних – вироби, що направлені виключно на запобігання та попередження виникнення хвороб. В залежності від виду зазначених

виробів, наявний асортимент лікувально-профілактичної продукції поділено на: одяг, накладки та побутовий текстиль. Крім того, лікувально-профілактичні вироби класифіковано за статево-віковою ознакою на одяг чоловічий, жіночий та дитячий, а за місцем застосування – це головні убори, рукавичні, панчішно-шкарпеткові вироби, білизна та домашній одяг. На основі вищезазначеної інформації розроблено класифікацію виробів лікувально-профілактичного призначення (рис. 1).

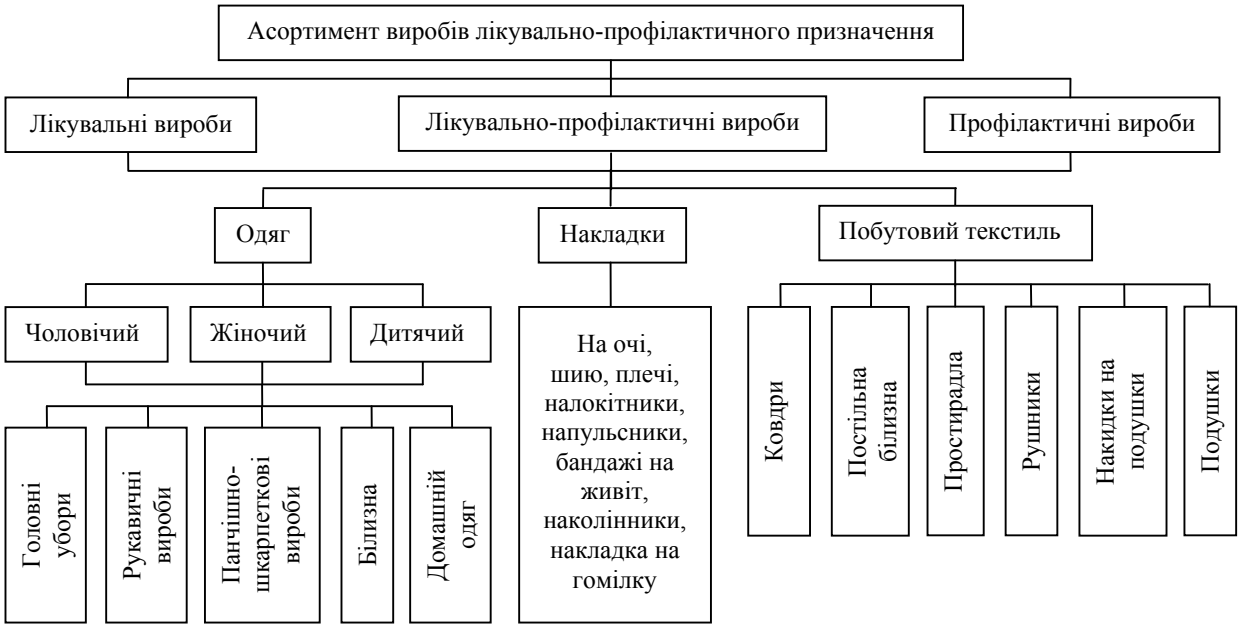


Рис. 1. Класифікація виробів лікувально-профілактичного призначення

Отже, сьогодні існує велика кількість виробів лікувально-профілактичного призначення та методів надання цим виробам специфічних властивостей, що обумовлюють їх конструктивно-технологічні особливості та можливості застосування. Встановлено, що основною відмінністю цих методів є наявність лікувально-профілактичного чинника, за рахунок якого і здійснюється потрібний вплив на організм людини. Авторами запропоновано методи надання швейним виробам лікувально-профілактичних властивостей умовно поділити на чотири групи у відповідності до того, який лікувально-профілактичний чинник використовується [4].

Перший метод – це просочування волокон матеріалу лікувальними речовинами, які при експлуатації виробу проникають через шкіру та чинять лікувальний вплив на організм людини.

Нанесення мікрочастинок на поверхню швейного виробу – є другим методом надання їм лікувально-профілактичних властивостей. Такими мікрочастинками можуть бути: наночастинки рослинного або мінерального походження, а також наночастинки металів (наприклад срібла). Ефект від впливу таких виробів полягає в тому, що мікрочастинки випромінюють біохвилі, що проникають в клітини органів та викликають резонанс молекул клітинної рідини, це викликає поліпшення кровообігу органів та поліпшення їх функціонального стану.

Третім методом надання виробам лікувальних властивостей є нанесення на поверхню виробу різних лікувальних речовин у вигляді гелю, мікрокапсул або мінералів, магнітів, металізованих ниток, металевих елементів. У результаті використання таких виробів покращується мікроциркуляція крові та процеси обміну, що позитивно впливає на органи та системи органів людини.

Четвертим методом надання швейним виробам лікувально-профілактичних властивостей є використання волокон з лікувальними властивостями. Такі волокна можуть бути натуральними та штучними. Прикладом натуральних волокон рослинного походження є бамбукові, евкаліптові, льняні та конопляні, котрі, крім високих показників фізико-гігієнічних властивостей, мають специфічні властивості, такі як: антисептичні, протизапальні та гіпоалергенні, які позитивно впливають на організм людини. Представниками натуральних волокон тваринного походження є волокна верблюжої та собачої вовни. Особливістю їх є порожниста структура, а також наявність такої речовини як ланолін (тваринний віск). За рахунок таких особливостей ці волокна володіють зігріваючим ефектом та здатністю нейтралізувати негативні електричні заряди. При використанні виробів із цих волокон відбувається розширення кровоносних судин, посилення мікроциркуляції крові та активізація обміну речовин у тканинах. Прикладом штучних волокон є, так звані, «розумні волокна» із специфічною мікропористою структурою, які здатні поглинати лікарський розчин, а потім передавати його в організм через шкіру людини.

З метою систематизації отриманої інформації розроблено класифікацію розглянутих чотирьох методів надання швейним виробам лікувально-профілактичних властивостей (рис. 2).

Рис. 2. Класифікація методів надання швейним виробам лікувально-профілактичних властивостей

Слід зазначити, що застосування в медицині лікувально-профілактичного одягу відноситься до альтернативних методів лікування, що базуються на сучасних науково-технічних відкриттях із використанням інформаційної медицини, яка представляє собою сукупність передових медичних технологій, що ґрунтуються на використанні інформаційно-хвильового впливу на організм людини. Суть такого впливу пояснюється тим, що усі речі та предмети оточуючого нас світу, характеризуються інформаційно-хвильовим випромінюванням електромагнітної природи, особливістю якого є те, що воно здатне впливати на процеси життєдіяльності організму.

Слід зазначити, що стан здоров'я людини віддзеркалює динамічний процес коливань реакцій організму, що підтримують динамічну рівновагу самостійної регуляції. Організм зазвичай реагує на подразники навколишнього середовища не тільки за допомогою відомих п'яти органів чуття, але й оминаючи їх. У таких випадках енергоінформаційний вплив чиниться на клітинному рівні посередництвом спеціалізованих біологічних структур клітин. Отже клітина та її біополе є вирішальною ланкою в організмі людини, що трансформує енергоінформаційні впливи [5].

Відомо, що у сприйнятті організмом впливів різних за природою факторів зовнішнього середовища важливе значення мають БАТ і БАЗ [5, 6]. Вони доповнюють відомі органи чуття людини і розглядаються як полімодальні рецептори екоцептивної чутливості, тобто ті, що сприймають та регулюють інформаційні взаємовідносини організму із зовнішнім світом. Різноманітні захворювання та вплив на організм агресивних зовнішніх факторів викликають, в першу чергу, пошкодження клітинних рецепторів та деструктуризацію біологічних електромагнітних полів клітини, що призводить до метаболічних порушень на клітинному рівні, котрі ведуть до негативних наслідків. Отже, враховуючи зазначені механізми виникнення патології на клітинному рівні, лікувальним чинником поряд з речовиною та енергією, може бути інформація, лікувальний вплив якої залежить від того, наскільки близько вона за своїми характеристиками відповідає біополю того чи іншого органа.

Авторами розроблено спосіб лікування, який полягає в енергоінформаційному впливі на БАТ і БАЗ тіла людини металевими пластинами, на котрі попередньо записано інформацію лікувальних препаратів. Запропонований авторами спосіб дозволяє підвищити ефективність процесу лікування, і, одночасно, спростити процес надання лікарської послуги [7, 8].

Розроблений спосіб відноситься до рефлексотерапевтичних методів лікування, в основі яких лежить уявлення про те, що здоровий організм – це цілісна взаємопов'язана система, в якій усі інформаційно-обмінні процеси між її ланками протікають гармонійно, а будь-яке порушення рівноваги в одній із складових системи відображається на усіх інших. Енергоінформаційний вплив лікувальних препаратів, інформація яких записана на металевих пластинах, на БАТ і БАЗ викликає певну реакцію організму і забезпечує необхідний лікувальний ефект. Східна медицина пояснює лікувальний ефект рефлексотерапії тим, що за такого методу лікування не тільки чиниться вплив на фізичне тіло людини, а й коригується його ментальна і емоційна енергетика, адже, впливаючи на БАТ і БАЗ, можна регулювати рух життєвої енергії в організмі людини, домагаючись гармонізації потоку енергії, що, в свою чергу, приводить до зняття патологічних проявів захворювання.

Особливістю розробленого способу є застосування металевих пластин із записаною на них інформацією лікувальних препаратів. В залежності від виду лікування та профілактики на металеві пластини за допомогою репринтера записують інформаційно-хвильові характеристики необхідних лікувальних препаратів. Металеві пластини закріплюють з виворотного боку натільної білизни в місцях, що є проекціями

БАТ і БАЗ, необхідних для здійснення енергоінформаційного впливу. При контакті пластин із визначеними БАТ і БАЗ забезпечується необхідний терапевтичний ефект. При цьому кількість металевих пластин і конфігурація їх розташування відповідають розмірам і формі БАЗ.

Відповідно до атласу зон інформаційно-хвильової терапії [9], на поверхні тіла людини розташовано 77 БАЗ, впливаючи на які можна здійснювати лікування та профілактику різних захворювань. Для досягнення терапевтичного ефекту при лікуванні хронічного простатиту необхідним є вплив на БАЗ, що розташовані в нижній частині тулуба чоловіка, і які мають зв'язок з сечовидільною та статевою системами чоловіка. Це пояснюється тим, що БАТ, котрі входять до складу цих зон, мають безпосередній зв'язок з органами, які піддаються ураженню хронічним простатитом. Саме тому, при проектуванні білизни для профілактики хронічного простатиту доцільним є використання шести основних зон – БАЗ-30С, БАЗ-37, БАЗ-38, БАЗ-39, БАЗ-47, БАЗ-48, які надалі будуть позначатись як зони БАЗ-1, БАЗ-2, БАЗ-3, БАЗ-4, БАЗ-5 та БАЗ-6 (рис. 3).

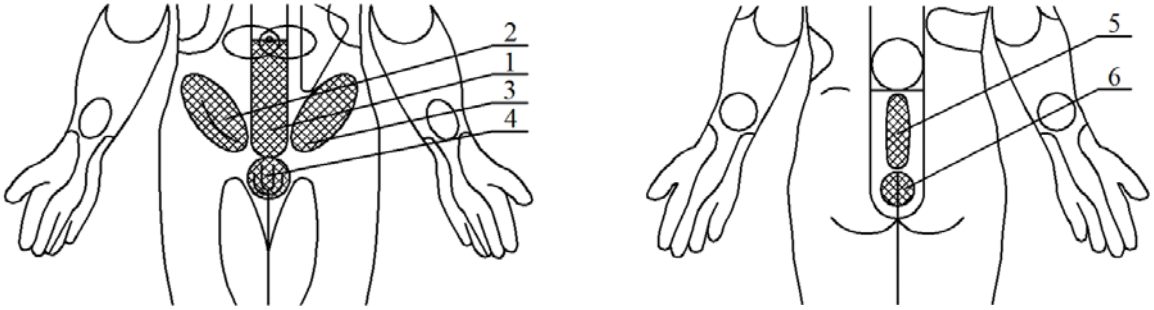


Рис. 3. Розташування БАЗ нижньої частини тулуба чоловіка:
1 – БАЗ-1; 2 – БАЗ-2; 3 – БАЗ-3; 4 – БАЗ-4; 5 – БАЗ-5; 6 – БАЗ-6

Усі ці зони досить легко знайти на поверхні тіла людини, так як орієнтирами для їх знаходження є певні точки на поверхні тіла, більшість з яких відповідають чітко вираженим та легко фіксованим утворенням скелету, або ж точно окреслені межами м'яких тканин.

Вихідною інформацією для дослідження необхідних БАЗ служить топографії зон [9], яка дозволяє знайти БАЗ на поверхні тіла людини, а також визначити їх основні розміри: довжину (Д) та ширину (Ш). Однак, цієї інформації недостатньо для визначення проекції БАЗ на кресленні конструкції лікувально-профілактичної білизни, саме тому виникає необхідність внесення додаткових конструктивних вимірів, які дозволять визначити місця розташування проекцій досліджуваних БАЗ відносно лінії талії (Т) (рис. 4):

B_1 – відстань від лінії талії до крайньої точки БАЗ-1;
B_2 – відстань від лінії середини переду до рівня верхньої крайньої точки БАЗ-2;
B_3 – відстань від лінії талії до верхньої крайньої точки БАЗ-2;
B_4 – відстань від лінії талії до рівня нижньої крайньої точки БАЗ-2;
B_5 – відстань від лінії середини переду до нижньої крайньої точки БАЗ-2;
B_6 – відстань від лінії талії до нижньої крайньої точки БАЗ-5.

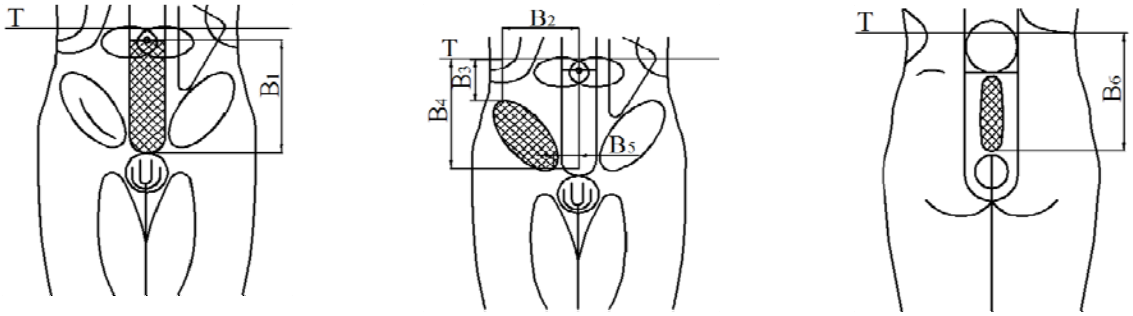


Рис. 4. Визначення місця розташування досліджуваних БАЗ відносно лінії талії

Для побудови креслення конструкції чоловічих трусів для профілактики хронічного простатиту обрано методику конструювання «М.Мюллер і син». Такий вибір пояснюється простотою методики у розрахунках та побудові, невисокою трудомісткістю, а також оптимальним рівнем якості посадки виробу на фігурі.

Основні геометричні параметри проектованого виробу визначаються параметрами БАЗ, які використовують для досягнення лікувально-профілактичного ефекту. Крім того, місце розташування, розміри та форма накладок, за рахунок яких запропоновано здійснювати відповідний вплив на організм чоловіка, також повинні відповідати параметрам обраних БАЗ. Відповідно до вище зазначеного, розроблено чоловічі лікувально-профілактичні труси для профілактики хронічного простатиту [10], зовнішній вигляд яких представлено на рис. 5.

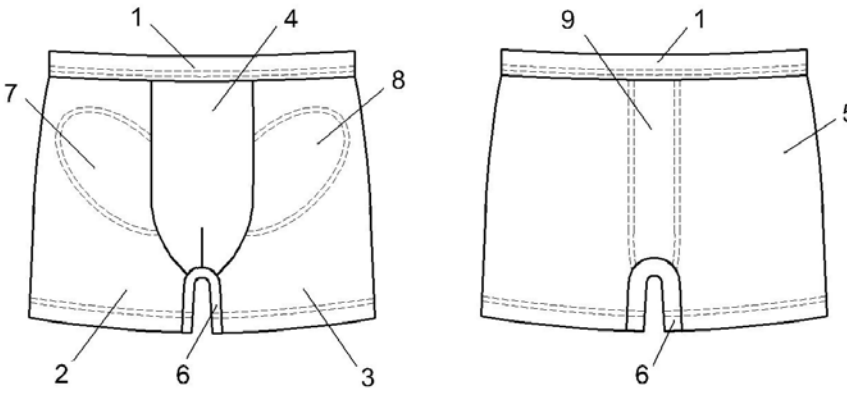


Рис. 5. Розташування накладок в лікувально-профілактичних трусах у відповідності до розташування БАЗ

Труси лікувально-профілактичні (рис. 5) містять з'єднані між собою пояс 1, передню частину, що складається із двох половинок 2 і 3 із вставкою 4 між ними, задню частину 5, що з'єднані із ластовицею 6. На обидві половинки передньої частини 2 і 3 із виворотного боку настрочені накладки 7 і 8, на задню частину 5 із виворотного боку настрочено накладку 9, на ластовицю 6 із виворотного боку також настрочено накладку (на рисунку не показано).

Клінічна апробація розробленого способу та лікувально-профілактичних трусів проводилась в Хмельницькій міській поліклініці № 4, де вони були апробовані на десяти пацієнтах, що хворіли на хронічний простатит з сезонним загостренням восени. Тривалість хвороби продовжувалась від п'яти до семи років. Вік хворих коливався від двадцяти одного до сорока чотирьох років.

Усім хворим було проведено загально клінічні лабораторні аналізи: загальний аналіз крові з лейкограмою, загальний аналіз сечі, аналіз крові на цукор, аналіз секрету передміхурової залози та обстеження простато-везикулярного комплексу за допомогою УЗД. Окрім загально клінічних лабораторних та апаратних методів, хворим було проведене дослідження функціонального стану організму, зокрема сечостатевої системи, за допомогою апаратно-програмного діагностичного комплексу (АПДК) «Intera-DiaCor».

У дев'яти хворих із десяти виявлене латентне (субклінічне) загострення хронічного простатиту, яке на момент обстеження не супроводжувалось маніфестними симптомами, що характерні для вказаної хвороби.

У одного пацієнта виявлений початок загострення хвороби, що супроводжувався клінічними ознаками, зокрема: больовим, дизуричним синдромами та еректильною дисфункцією.

Усім обстеженим пацієнтам рекомендовано носіння натільної лікувально-профілактичної білизни (трусів), з виворотного боку якої в місцях, що є проекціями біологічно активних точок і біологічно активних зон, що мають безпосередній зв'язок з органами чоловічої сечостатевої системи, закріплені металеві пластини із записаною інформацією лікувальних препаратів. Зазначену білизну призначено носити на протязі одного місяця упродовж двох годин на добу (з 15 до 17 години) в період найвищої активності каналу сечового міхура.

Хворому з клінічними проявами хронічного простатиту призначено курс лікування згідно клінічних протоколів з урології, а також рекомендовано носіння зазначеної білизни за описаною вище методикою.

Через місяць усім пацієнтам, що приймали участь в експерименті, були проведені контрольні дослідження: загально клінічні лабораторні аналізи, лабораторне дослідження секрету передміхурової залози, обстеження за допомогою УЗД та АПДК «Intera-DiaCor».

Слід зазначити, що в жодного з дев'яти пацієнтів з субклінічним перебігом хронічного простатиту не відбулося сезонного загострення, яке було регулярним у попередні роки.

У хворого з клінічними ознаками загострення хронічного простатиту період загострення скоротився від чотирнадцяти днів до шести, а покращення хворий відчув на третій день комплексного лікування.

Таким чином встановлено, що використання розроблених лікувально-профілактичних трусів дозволяє покращити функціональний стан організму чоловіка, хворого на хронічний простатит.

Висновки

1. Показано, що використання натільної білизни (трусів чоловічих) із закріпленими на ній металевими пластинами, що утримують інформацію лікувальних препаратів, є простим і доступним способом лікувально-профілактичного впливу на біологічно активні зони, котрі розташовані в нижній частині тулуба чоловіка і мають зв'язок з органами чоловічої сечостатевої системи.

2. Встановлено, що запропонований спосіб лікування та профілактики шляхом впливу на біологічно активні зони у випадках субклінічного загострення хронічного простатиту чинить виразну профілактичну дію, блокуючи подальше загострення хвороби, а у випадку клінічного перебігу загострення значно скорочує період лікування та прискорює зворотний розвиток (ремісію) даного захворювання.

Література

1. Музика Н. Я. Експериментальне обґрунтування клінічного застосування оригінального простатопротекторного засобу рослинного походження – супозиторів альтабору : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. фарм. наук : спец. 14.03.05 "Фармакологія" / Н. Я. Музика. – Харків, 2010. – 21 с.

2. Казьмірова О. М. Особливості проектування чоловічої натільної білизни для профілактики урологічних захворювань / О. М. Казьмірова, О. Й. Янцаловський, О. М. Лущевська, О. М. Троян // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 2. – С. 107–111.

3. Троян О. М. Використання лікувально-профілактичного одягу для лікування хронічного простатиту / О. М. Троян, О. М. Лущевська, О.Й. Янцаловський // Збірник тез допов. Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. молодих вчених та студентів ["Ресурсозберігаючі технології легк., текстильн. і харч. пром.-ті"], (Хмельницький, 22–24 жовтня 2014 р.) / МОН України, Хмельницький націон. університет. – Хмельницький, 2014. – С. 28–29.

4. Лущевська О. М. Особливості проектування чоловічої натільної білизни профілактичного призначення / О. М. Лущевська, О. М. Троян, О. Й. Янцаловський // Збірник тез допов. Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. молодих вчених та студентів ["Ресурсозберігаючі технології легк., текстильн. і харч. пром.-ті"], (Хмельницький, 22–24 жовтня 2014 р.) / МОН України, Хмельницький націон. університет. – Хмельницький, 2014. – С. 26–27.

5. Троян О. М. Особливості проектування багатофункціональних швейних виробів з використанням енергоінформаційних технологій / О. М. Троян, О. Й. Янцаловський, Л. В. Краснюк // Збірник тез доповідей ІІ Міжнародної науково-практичної конференції ["Сучасний стан легкої і текстильної промисловості: інновації, ефективність, екологічність"], (Херсон, 27-28 жовтня 2016 р.) / МОН України, Херсонський націон. технічний ун-т. Видавництво ХНТУ. – Херсон, 2016. – С. 116–118.

6. Краснюк Л. В. Перспективи створення багатофункціональних швейних виробів із урахуванням біологічно активних точок та біологічно активних зон тіла людини / Л. В. Краснюк, О. М. Троян, О. Й. Янцаловський, В. С. Тороканець // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 5. – С. 110–115.

7. Пат. № 104889 Україна, МПК A61H39/00. Спосіб лікування та профілактики шляхом впливу на біологічно активні точки і біологічно активні зони / О. Й. Янцаловський, Л. В. Краснюк, О. М. Троян, О. М. Лущевська. – № u201507874 ; заявл. 07.08.2015 ; опубл. 25.02.2016, Бюл. № 4. – 4 с.

8. Краснюк Л. В. Особливості проектування чоловічої натільної білизни лікувально-профілактичного призначення / Л. В. Краснюк, В. С. Тороканець // Збірник тез допов. Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. молодих вчених та студентів ["Ресурсозберігаючі технології легк., текстильн. і харч. пром.-ті"], (Хмельницький, 17-18 листопада 2016 р.) / МОН України, Хмельницький націон. університет. – Хмельницький. 2016. – С. 42-43.

9. Колбун Н. Д. Атлас зон информационно-волновой терапии / Н. Д. Колбун, Ю. П. Лиманский. – К. : Биополис, 2000. – 115 с.

10. Пат. № 101373 Україна, МПК A41B 9/02. Труси лікувально-профілактичні / О. М. Троян, О. Й. Янцаловський, О. М. Лущевська, Л. В. Краснюк. – № u201502183 ; заявл. 12.03.2015 ; опубл. 10.09.2015, Бюл. № 17. – 4 с.

Рецензія/Peer review : 11.1.2017 р. Надрукована/Printed :5.2.2017 р.
Рецензент : д.пс.н., проф. Потапчук Є.М.

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

УДК 621.373.52

А.П. САМІЛА, Л.Ф. ПОЛІТАНСЬКИЙ
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

ГЕНЕРАЦІЯ ГАРМОНІЧНОГО КОЛИВАННЯ ДЛЯ СИНТЕЗУ ЦИФРОВИХ СИГНАЛІВ НА ОСНОВІ ВБУДОВАНИХ АПАРАТНИХ СИСТЕМ

Проведено параметричне оцінювання ефективності алгоритмів генерування, найбільш придатних для синтезу цифрових періодичних сигналів на основі вбудованих апаратних систем. Встановлено, що при зміні розмірності таблиці перекодування від 2^5 до 2^{26} рівень спектральних складових вищих порядків зменшується і при дробових значеннях приросту фази та прямій дискретизації за точками змінюється в інтервалі 2×10^{-2} – 5×10^{-8}, а при застосуванні лінійної інтерполяції – в інтервалі 2×10^{-3} – 5×10^{-8}. Застосування інтерполяції значень функції sin, представленої дискретними відліками на часовому інтервалі 0 – 2π забезпечило зменшення об'єму ПЗП з 768 Мбіт до 192 кбіт, при цьому зростання КНС не перевищувало 5 %.

Ключові слова: цифровий синтез, лінійна інтерполяція, CORDIC апроксимація, нелінійні спотворення.

A.P. SAMILA, L.F. POLITANSKY
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University

WAVEFORM GENERATION FOR THE DIGITAL SYNTHESIS SYSTEMS BASED ON EMBEDDED HARDWARE

Parametric estimation of the efficiency of periodical signals digital synthesis algorithms based on embedded hardware systems was performed. It was found that the level of the higher-order spectral components is reduced by changing the dimensions of the lookup table from 2^5 to 2^{26}. For fractional values of the phase increment and direct lookup the THD varies in the range 2×10^{-2} – 5×10^{-8}. When applying linear interpolation the THD varies in the range 2×10^{-3} – 5×10^{-8}. The interpolation of sine function discrete values in the range 0 – 2π provides the reduction of the ROM from 768 Mbit to 192 kbit. In this case, an increase of harmonic distortion doesn't exceed 5 percent.

Keywords: digital synthesis, linear interpolation, CORDIC approximation, harmonic distortion.

Вступ

Інтенсивний розвиток сучасних технологій передавання інформації, систем зв'язку ультрависокочастотних діапазонів, радіофізичних методів досліджень призвів до удосконалення існуючих і створення принципово нових методів та систем генерування і формування сигналів. Звісно, що фундаментальну роль в даному напрямку розвитку радіотехнічних та телекомунікаційних систем відіграли методи формування сигналів на основі алгоритмів прямого цифрового синтезу частот. Теоретичні основи методу набули розвитку ще з 70-х років минулого століття. Однак, практичного впровадження вони набули тільки з підвищенням рівня інтеграції пристроїв твердотільної електроніки завдяки впровадженню нових технологічних процесів, що уможливлюють виготовлення нанорозмірних структур. Реалізовані на базі цифрової архітектури, сучасні синтезатори частот забезпечують надзвичайно високі не притаманні для традиційних аналогових методів синтезу швидкість і точність встановлення параметрів генерованих коливань, переналаштування частоти носійного коливання без розриву його фази, можливість реалізації швидкісної модуляції чи маніпуляції, синтез спеціальних сигналів складної форми, миттєве числове управління параметрами та інші.

Метою даної роботи є дослідження та порівняльний аналіз основних методів генерації гармонічного коливання для синтезу в режимі реального часу цифрових сигналів на основі апаратних обчислювальних ядер, чи цифрових сигнальних процесорів.

Методи генерації гармонічного коливання

Найбільш точним методом синтезу того чи іншого сигналу є розрахунок миттєвого значення його функції на протязі заданого неперервного часового інтервалу. Очевидно, що у випадку генерації синусоїдального коливання, необхідно з максимальною точністю обчислювати значення функції $\sin(\omega t)$. Оскільки, у системах реального часу обчислювальні навантаження на центральний процесор є занадто великими, то реалізація такого методу унеможливлена.

У більшості випадків апаратної реалізації цифрових синтезаторів сигналів найбільшого поширення набули наступні методи нерекурсивної апроксимації синусоїдального коливання: табличний на основі записаних у постійний запам'ятовуючий пристрій (ПЗП) дискретних відліків синусоїдальної функції; гібридний – застосування інтерполяційних методів при знаходженні проміжних значень зчитаних з ПЗП даних; метод обертання координат [1–3]. Узагальнена структура прямого цифрового синтезатора частот (ПЦСЧ) приведена на рис. 1 [1]. Модифікації даної структури, що ґрунтуються на застосуванні нових теоретико-числових базисів та покращеної архітектури суматорів і перетворювачів фаза-амплітуда, а також удосконаленні методів формування лінійно-змінного сигналу керування фазою коливання детально розглянуті у роботах [3–5].

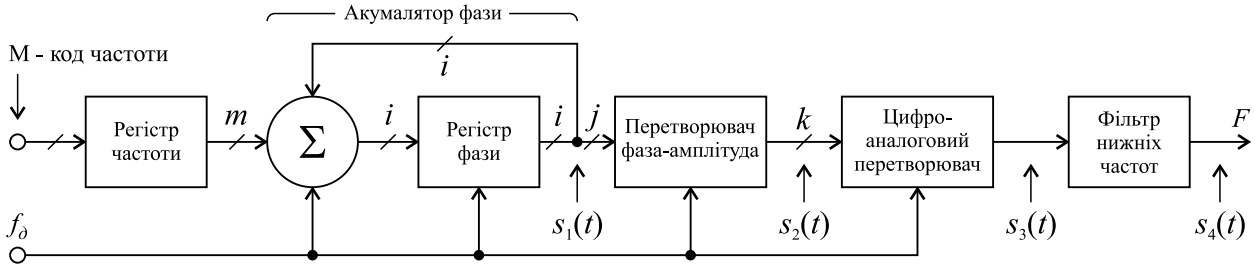


Рис. 1. Структура прямого цифрового синтезатора частот на основі акумулятора фази

Один із способів, що дозволяє уникнути труднощів з використанням обчислювальних ресурсів при цифровому синтезі сигналів, полягає у створенні таблиці N дискретних значень функції $\sin(\omega t)$, що описують її поведінку в інтервалі $0 - 2\pi$, або меншому (половина чи четверть періоду) завдяки властивості симетрії коливальної функції. Число вибірок значень функції та алгоритм перекодування самі по собі не визначають продуктивність даного методу, оскільки крім цього вона буде залежати від необхідної точності та стабільності формування сигналу у режимі реального часу і нелінійності процесу цифро-аналогового перетворення. Ефективність методу табличного перекодування визначається відношенням між точністю форми генерованого сигналу та чистотою реалізації його спектру [6]. Принцип сигнальних перетворень у ПЦСЧ (рис. 1) відображений на рис. 2.

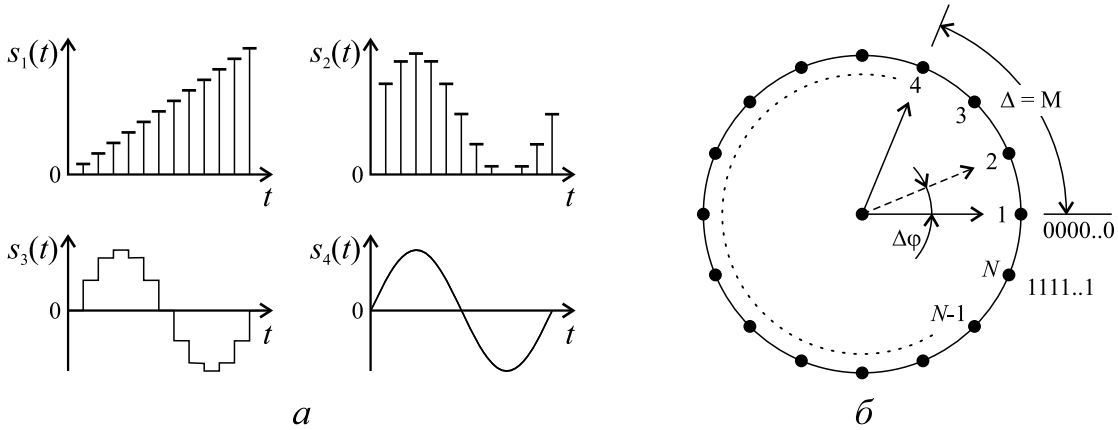


Рис. 2. Принцип роботи прямого цифрового синтезатора частот: *а* – епюри сигнальних перетворень, *б* – фазове коло цифрового обчислювального ядра

Іншим популярним способом апроксимації синусоїдального коливання є використання алгоритму CORDIC (Coordinate Rotation Digital Computer) рекурсивного або не рекурсивного типів [7]. Заснований на методі Гівенса (метод обертань), алгоритм CORDIC є одним із найбільш апаратно ефективних, оскільки в даному випадку необхідно реалізовувати лише ітеративні операції зсуву-додавання.

Гармонічний аналіз вихідного сигналу ПЦСЧ

Частота вихідного сигналу ПЦЧС, генерованого числовим методом залежить від частоти дискретизації $f_д$ та від приросту фази Δ

$$F = \Delta \frac{f_д}{2^i};\ \Delta \le N/2,$$

де i – розрядність таблиці перекодування. При цьому, мінімальний крок семплювання визначається розмірністю таблиці перекодування $N = 2^i$ і для одного циклу періодичного коливання складає

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{2^i}.$$

Якщо $\Delta = 1$, значення зчитуються послідовно з частотою $f_д$. Для генерації сигналів з довільними частотами в діапазоні $f_д/2^i - f_д/2$ (до частоти Найквіста) необхідно, щоб Δ приймало не тільки цілочисельні але й дробові значення. Як правило це призводить до суттєвого зростання коефіцієнту нелінійних спотворень (КНС) генерованого сигналу, що крім цього залежить і від помилок квантування, розмірності N та точності представлення записаних в таблиці вибірок n [8]. Крім того, відсікання молодших розрядів фази, що використовується для зменшення об'єму ПЗП, призводить до непоправних похибок апроксимації.

Для реалізації алгоритмів прямого цифрового синтезу та гармонічного аналізу вихідного сигналу ПЦСЧ складемо таблицю з N вибірок функції синусоїдального коливання. Значення вибірок коливальних функцій sin та CORDIC-sin розраховані у програмному середовищі MATLAB за їх математичними моделями:

$$s(n)=\begin{cases}\sin\left(\dfrac{2\pi(n-1)}{N}\right);\\ n\in\{1,2,...,N\}\end{cases}\qquad s_C(n)=\begin{cases}cordic\sin\left(\left(\dfrac{2\pi(n-1)}{N}\right):(I_C)\right),\\ n\in\{1,2,...,N\}\end{cases}$$

де n – номер вибірки а I_C – число ітерацій алгоритму CORDIC, збільшення якого забезпечує зростання точності, але призводить до зростання часу розрахунку.

При дробовому Δ для синтезу коливання з меншим рівнем спотворень необхідно до прямого табличного методу застосовувати інтерполяційний метод [8]. У випадку лінійної інтерполяції проміжні значення амплітуди генерованого сигналу обчислювалися за виразом:

$$s(n)_x = mx + \sin\left(\frac{2\pi(n-1)}{N}\right),$$

де $0 < x < 1$ – дробова частина приросту фази Δ, а m – тангенс кута нахилу апроксимаційної прямої:

$$m = \frac{s(n)-s(n-1)}{n-(n-1)} = \sin\left(\frac{2\pi n}{N}\right) - \sin\left(\frac{2\pi(n-1)}{N}\right).$$

Аналіз гармонічних спотворень проводився за методикою представленою в роботі [8], що базується на визначенні відношення енергії гармонік вищих порядків до сумарної енергії усіх гармонік:

$$K_H = \sum_{\kappa>1} E_\kappa \Big/ \sum_{\kappa\geq 1} E_\kappa ,$$

де E_κ – енергія спектральної складової з частотою F_κ. Оскільки коливання з дискретним відображенням є апроксимованим, то в його спектрі мають місце гармонічні F_κ та комбінаційні $F_{\kappa c} = f_\partial \pm F_\kappa$ складові.

Отримання точних і правильних результатів розрахунку енергетичних співвідношень можливе при оцінюванні усередненого значення КНС для повного циклу синтезованого коливання. При прямому табличному методі синтезу повний цикл в залежності від Δ може складатися з декількох періодів коливання. В загальному випадку, якщо $\Delta = A/B$, де A і B – прості числа, то мінімальне число вибірок повного циклу $N' = BN$. Наприклад, якщо $N = 256$ та $\Delta = 2{,}5 = 5/2$, $N' = 2\cdot 256 = 512$.

Комплексний ряд Фур'є дискретизованого сигналу, представленого послідовністю з N відліків на інтервалі спостереження $T_c = nN$ матиме вигляд [9]:

$$s_\partial(t) = T_\delta \sum_{\kappa=\infty}^{\infty} \dot{C}_\kappa e^{j2\pi\kappa\frac{t}{T_c}},$$

де $\kappa = 0, 1, 2, ..., N\text{-}1$, а комплексні коефіцієнти ряду є комплексними амплітудами спектральних складових:

$$\dot{C}_\kappa = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} s(n) e^{-j2\pi\kappa\frac{n}{N}}.$$

Для аналізу амплітудного спектру дискретизованого сигналу визначимо модулі (C_1, C_2, ..., $C_{N/2}$) та аргументи (φ_1, φ_2, ..., $\varphi_{N/2}$) комплексних коефіцієнтів ряду Фур'є та запишемо вирази для миттєвих значень гармонік [9]:

$$s_1(n) = 2C_1\cos\left(2\pi\frac{n}{N}+\varphi_1\right);$$

$$s_2(n) = 2C_2\cos\left(4\pi\frac{n}{N}+\varphi_2\right);$$

.....

$$s_{N/2}(n) = C_{N/2}\cos\left(\kappa 2\pi\frac{n}{N}+\varphi_{N/2}\right).$$

Знаючи сумарну енергію гармонік сигналу на протязі циклу BN та енергію коливання основної частоти запишемо вираз для розрахунку КНС:

$$K_H = \frac{\sum_{n=0}^{BN-1} s_\partial(n)^2 - 2BN\left|\dot{C}_1\right|^2}{\sum_{n=0}^{BN-1} s_\partial(n)^2}.$$

Моделювання та порівняльний аналіз алгоритмів генерації секвент

Розроблення форми сигналу та порівняння алгоритмів синтезу секвент проведено шляхом комп'ютерної параметричної ідентифікації з використанням інтеграції MATLAB і Simulink [10]. Застосування модулів Signal Processing Toolbox™ та DSP System Toolbox™, що суттєво розширюють можливості MATLAB Simulink в області цифрового формування сигналів, дозволило розробити і проаналізувати алгоритм генерації і пов'язані з ним якісні характеристики сигналу ще до реалізації на апаратному рівні (рис. 3).

Дослідження гармонічних спотворень проводилось для дискретизованого за точками, лінійно

інтерпольованого з кроком Δ та апроксимованого за алгоритмом CORDIC сигналів (50 ітерацій). При цьому $N = 256$ дискретних значень функції sin були представлені як числами подвійної точності з плаваючою крапкою, так і відліками 24-бітних чисел з фіксованою крапкою. При всіх інших однакових умовах, застосування таблиці подвійної точності забезпечує суттєве зниження КНС у випадку цілочисельних Δ. У випадку дробових Δ застосування лінійної інтерполяції забезпечує зниження розкиду абсолютних значень КНС з 10^{-3} до 10^{-5} (рис. 4). Розроблення форми сигналу для ПЦСЧ з покращеною спектральною чистотою ініціює вибір оптимальної розмірності N таблиці перекодування. Залежності величини КНС від N для таблиці з фіксованою крапкою приведені на рис. 5. При зміні N від 2^5 до 2^{26} рівень спектральних складових вищих порядків зменшується і змінюється в інтервалі 2×10^{-2} – 5×10^{-8} (рис. 5,*а*) при дробових Δ та прямій дискретизації за точками, а при застосуванні лінійної інтерполяції – в інтервалі 2×10^{-3} – 5×10^{-8} (рис. 5,*б*). Збільшення N покращує спектральну чистоту сигналу, проте спричиняє суттєве зростання об'єму ПЗП ПЦСЧ. Однак, існує оптимальне значення $N_{ОПТ}$, подальше зростання якого істотно не впливає на зміну величини КНС. Як показали результати моделювання, в найпростішому варіанті реалізації ПЦСЧ (у випадку дискретизації за точками) $N_{ОПТ} = 2^{25}$, при синтезі з лінійною інтерполяцією $N_{ОПТ}$ становить 2^{13}. Застосування інтерполяції значень функції sin, представленої дискретними відліками на інтервалі 0 – 2π забезпечило зменшення об'єму ПЗП з 768 Мбіт до 192 кбіт, а зростання КНС не перевищувало 5 %.

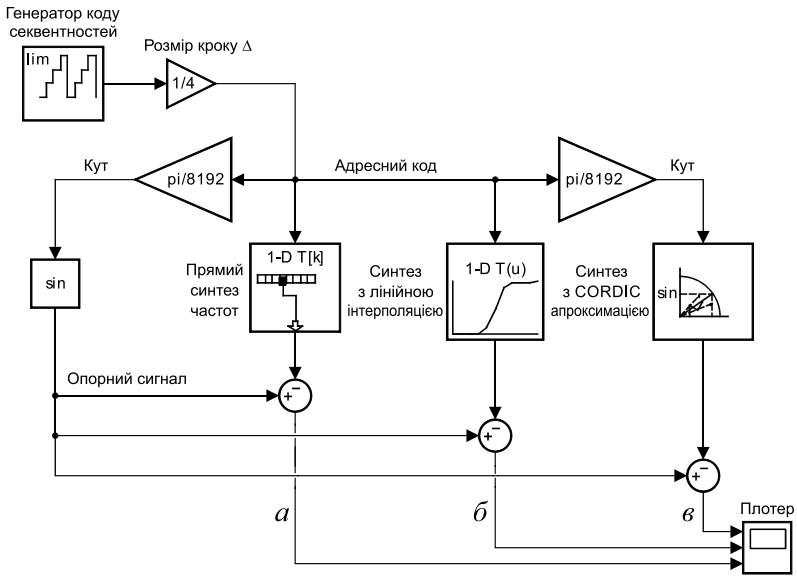


Рис. 3. Імітаційна модель для дослідження алгоритмів генерації гармонічного коливання

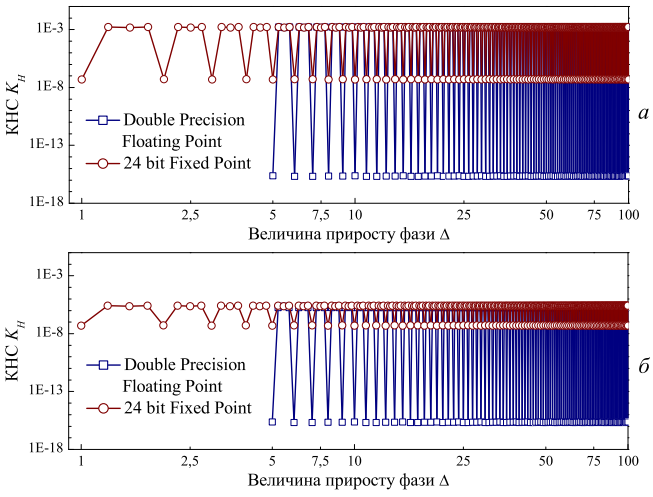


Рис. 4. Залежність КНС від величини приросту фази: *а* – прямий синтез, *б* – синтез з лінійною інтерполяцією

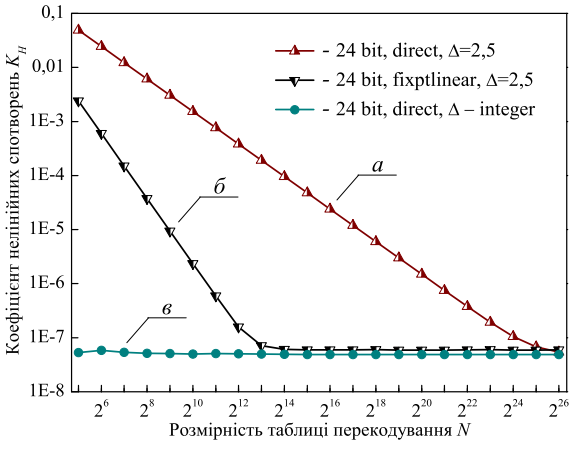


Рис. 5. Залежність КНС від розмірності таблиці перекодування

Застосування моделювання дозволило також провести візуалізацію форм синтезованих сигналів та їх порівняння з опорним сигналом функції sin(x) шляхом віднімання синтезованого і опорного сигналів. На рис. 6 показано абсолютні відхилення миттєвих значень сигналу $s(t)$ синтезованого трьома різними методами при $N_{ОПТ} = 8192$. Як і слід було очікувати з розрахунку КНС, лінійна інтерполяція вносить меншу похибку, ніж дискретизація за точками, проте алгоритм CORDIC наближення забезпечує більш низький поріг похибки (рис. 6,*в*) у порівнянні з лінійною інтерполяцією. Зазвичай, більшої точності можна досягти за рахунок збільшення числа ітерацій, а отже і збільшення часу обчислень.

Висновки

Проведено параметричне оцінювання ефективності використання основних методів генерації гармонічного синусоїдального коливання для синтезу цифрових сигналів на основі вбудованих апаратних систем. Із результатів досліджень нелінійних спотворень та порівняння точності форми сигналів

генерованих дискретизацією по точках, лінійною інтерполяцією та використанням алгоритму CORDIC наближення можна зробити висновок про наступне:

Перевагами синтезаторів на основі прямого табличного синтезу з лінійною інтерполяцією аргументу коливальної функції для дробових значень приросту фази є проста апаратна реалізація та низький рівень нелінійних спотворень. Недоліком є спотворення форми генерованого сигналу.

1. Перевагами синтезаторів із апаратним обчислювальним ядром CORDIC в якості перетворювача фаза-амплітуда є найнижчий рівень нелінійних спотворень та підвищення точності форми сигналу за рахунок збільшення числа ітерацій. Недоліком є зростання обчислювальних навантажень та часу обчислення при збільшенні числа ітерацій.

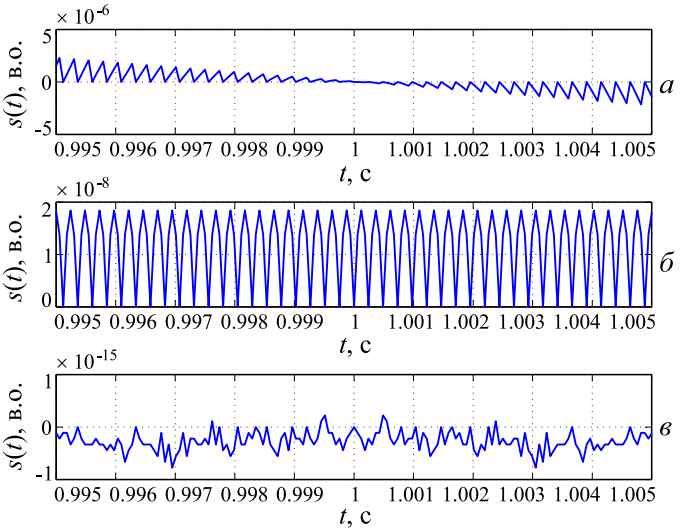


Рис. 6. Порівняння точності форми синтезованих сигналів: *а* – для прямого табличного методу, *б* – для інтерполяційного методу, *в* – для методу CORDIC апроксимації

CORDIC алгоритм мінімізує необхідність використовуваних помножувачів, тому може застосовуватися у випадку, якщо вони є мало ефективні або взагалі відсутні в наявному апаратному забезпеченні.

Література

1. Vankka J. Direct Digital Synthesizers:Theory, Design and Applications / J. Vankka // Helsinki University of Technology. – 2000. – 192 p.

2. Samila Andriy. Implementation of pulsed radiospectroscopy methods of NQR based on FPGA / Andriy Samila, Yuriy Bobalo, Zenon Hotra, Oleksandra Hotra, Leonid Politans'kyy // Metrol. Meas. Syst. – 2015. – Vol. 22, Issue 3. – P. 363–370.

3. Полікаровських О. І. Методи формування синусоїдальних сигналів у цифрових синтезаторах сітки частот / О. І. Полікаровських, О. І. Шевчук // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2009. – № 2. – С. 100–105.

4. Полікаровських О. І. Застосування нового теоретико-числового базису для побудови високошвидкісних обчислювальних синтезаторів частоти (DDS) / О. І. Полікаровських // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2013. – № 1. – С. 20–26.

5. Полікаровських О. І. Методи підвищення якості спектральних характеристик високошвидкісних обчислювальних синтезаторів частоти (DDS) / О. І. Полікаровських, В. В. Мішан // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2013. – № 5. – С. 208–211.

6. Brandon David. DDS design [Електронний ресурс] / David Brandon // EDN. – 2004. – P. 71–84. – Режим доступу : http://www.edn.com.

7. Mandal A. FPGA implementation of pipelined CORDIC for digital demodulation in FMCW radar / Amritakar Mandal, Rajesh Mishra // Infocommunications J. – 2013. – Vol. 5, No. 2. – P. 17–23.

8. Chrysafis Andreas. Motorola Digital Signal Processors. Digital Sine-Wave Synthesis Using the DSP56001/2 [Електронний ресурс] / Andreas Chrysafis // Motorola® Inc. – 1988. – 44 p. – Режим доступу : http://jcoppens.com/univ/data/pdf/dsp/apr1.pdf.

9. Мандзій Б. А. Основи теорії сигналів : підручник / Б. А. Мандзій, Р. І. Желяк. – Львів : Видавничий дім «Ініціатива», 2008. – 240 с.

10. Digital Waveform Generation: Approximating a Sine Wave [Електронний ресурс] MathWorks®. – 2016. – Режим доступу : https://www.mathworks.com/help/simulink/examples/digital-waveform-generation-approximating-a-sine-wave.html.

Рецензія/Peer review : 5.1.2017 р. Надрукована/Printed :5.2.2017 р.
Статтю представляє: д.т.н., проф. Політанський Л.Ф.

УДК 621.372

С.І. АЛТУНІН
Національний університет "Львівська політехніка"

АНАЛІЗ СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОГРАМНО РЕАЛІЗОВАНОГО ПРИСТРОЮ ФАПЧ

Ця стаття присвячена дослідженню та аналізу статичних характеристик програмно реалізованого пристрою ФАПЧ першого порядку. В статті наводиться структурна схема пристрою ФАПЧ та коротко пояснюється принцип роботи його основних компонентів. Також зображено блок-схему апаратної частини пристрою та алгоритм роботи програми. В статті представлено результати вимірювання смуги утримання ФАПЧ залежно від його параметрів, а також вплив початкового частотного розузгодження на різницю фаз між вхідним та вихідним сигналами в режимі синхронізму. Насамкінець, в статті пояснюється вплив паразитних нелінійних спотворень у фазовому детекторі на вигляд статичних характеристик.

Ключові слова: статична характеристика, програмно реалізований пристрій ФАПЧ, пристрій ФАПЧ першого порядку, початкове частотне розузгодження, фазовий детектор, опорна частота ГКН.

S.I. ALTUNIN
Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine

ANALYSIS OF THE STATIC CHARACTERISTICS OF THE SOFTWARE PHASE-LOCKED LOOP

The goal of this article is to carry out a research and analysis of the static characteristics of the 1st order software PLL. The article provides a block diagram of the PLL and briefly explains the principle of operation of its main components. The paper also shows a block diagram of hardware part of the PLL as well as an algorithm of the software part of the PLL. The article presents the results of measurement of PLL hold range depending on its parameters and an impact of initial frequency offset on the phase difference between input and output signals in locked state. Obtained diagrams of the PLL static characteristics show, that if PLL hold range is small, the phase difference between input and output signals is defined solely by normalized initial frequency offset. However, as hold range value approaches to the center frequency of the VCO, the PLL static characteristics become affected by non-linear distortions in phase detector. These distortions also cause PLL hold range asymmetry relative to the center frequency of the VCO. Consequently, 1st order PLLs are not widely used because it is harder to ensure proper filtering of spurious harmonics there, than in higher order PLL.

Keywords: static characteristic, software PLL, first-order PLL, initial frequency offset, phase detector, center frequency of VCO.

Постановка проблеми

Будь-яка радіоелектронна апаратура, яка є складовою частиною систем радіолокації чи телекомунікацій не зможе виконувати свого призначення при відсутності системи фазової синхронізації (СФС). Найпростішим прикладом такої системи є пристрій фазового автоматичного підстроювання частоти (ФАПЧ), який є водночас досить універсальним, адже він здатний виконувати різноманітні функції, такі як: відновлення несучої частоти, кутова модуляція і демодуляція, перетворення частоти, підсилення сигналів з кутовою модуляцією, синтез частот тощо [1]. Тому надійність систем радіолокації, керування чи обміну інформації залежить від характеристик ФАПЧ, який повинен забезпечити синхронізацію в будь-яких умовах експлуатації, і в першу чергу – в статичному режимі роботи.

Аналіз останніх джерел

Статичний режим роботи ФАПЧ є досліджений достатньо детально, причому як аналітично [2–4], так і з допомогою імітаційного моделювання [5–7]. Тим не менше, дедалі більш поширеними стають цифрові пристрої ФАПЧ (ЦФАПЧ), які поступово витісняють аналогові ФАПЧ, причому варіантів реалізації ЦФАПЧ є досить багато. Тому **метою цієї роботи є** провести аналіз статичного режиму роботи ФАПЧ на експериментально розробленому, програмно реалізованому пристрої.

Завданням цієї статті є дослідити вплив початкового частотного розбалансу на різницю фаз між вхідним та вихідним сигналом, а також визначити смугу утримання пристрою ФАПЧ.

Будова пристрою ФАПЧ та його математична модель

Структурна схема програмно реалізованого пристрою ФАПЧ зображена на рис. 1.

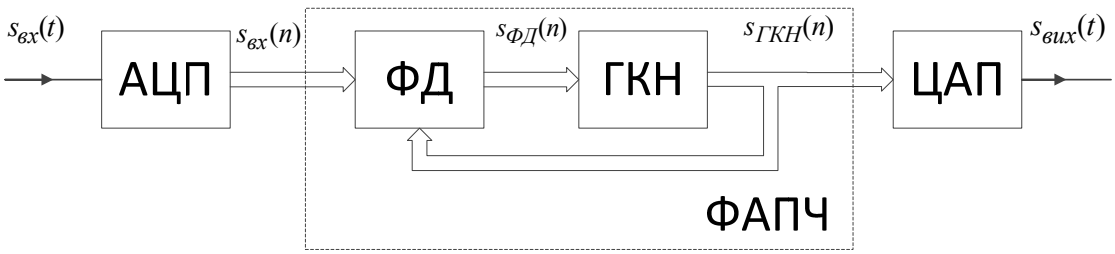


Рис. 1. Структурна схема безфільтрового пристрою ФАПЧ

Як видно з рис. 1, досліджуваний ФАПЧ є пристроєм 1-го порядку, оскільки він не містить у собі фільтра, який, як правило, розташований за фазовим детектором. Фазовий детектор (ФД) та генератор, керований напругою (ГКН), є програмно реалізованими і оперують цифровими сигналами, тому на вході та

виході схеми присутні АЦП і ЦАП відповідно.

Передавальна функція такого пристрою ФАПЧ матиме вигляд [2]:

$$H(s) = \frac{1}{1 + s / K_0 K_{ФД}} = \frac{K_0 K_{ФД}}{s + K_0 K_{ФД}}, \quad (1)$$

де $K_{ФД}$, K_0 – коефіцієнти передачі ФД та ГКН відповідно, s – комплексна змінна.

ФД в цьому пристрої виконує роль перемножувача відліків вхідного та вихідного сигналів. Нехай в режимі синхронізму вхідний сигнал з еталонного генератора (ЕГ) описується виразом $u_{вх}(n) = A_{вх} \sin(\omega_0 n\Delta T + \theta_{вх})$, а вихідний – $u_{вих}(n) = A_{вих} \cos(\omega_0 n\Delta T + \theta_{вих}(n))$, де $A_{вх}$ та $A_{вих}$ – амплітуди вхідного та вихідного сигналів відповідно, ω_0 – опорна частота ГКН, ΔT – інтервал дискретизації, $\theta_{вх}$ – початкова фаза вхідного сигналу, $\theta_{вих}(n)$ – поточна фаза вихідного сигналу з ГКН. Тоді сигнал на його виході визначається через різницю фаз між цими сигналами $\theta(n) = \theta_{вх} - \theta_{вих}(n)$:

$$s_{ФД}(n) = K_{ФД} \sin(\theta(n)) + K_{ФД} \sin\left(2\omega_0 n\Delta T + \theta(n)\right), \quad (2)$$

де $K_{ФД} = A_{вх} A_{вих} / 2$ – коефіцієнт передачі фазового детектора.

Попри те, що даний пристрій ФАПЧ є безфільтровим, його ФД містить у собі широкосмуговий фільтр, який придушує другу складову у виразі (2). За умови $\theta(n) << 1$, математична модель ФАПЧ стає лінеаризованою:

$$s_{ФД}(n) = K_{ФД}\theta(n). \quad (3)$$

ГКН цього пристрою реалізований як класичний DDS-синтезатор, складовими частинами якого є фазовий акумулятор великої розрядності, де постійно накопичується цифровий код (пропорційний поточній фазі гармонічного коливання) та перетворювач фаза-рівень, де цей код перетворюється на цифрове значення відліку синусоїдального коливання. Детально принцип роботи такого синтезатора описано в [8].

Сигнал на виході ГКН є гармонічним коливанням:

$$s_{ГКН}(n) = \cos\left(\varphi(n)\right), \quad (4)$$

фаза сигналу якого $\varphi(n)$ керується сигналом з ФД [9]:

$$\varphi(n) = \omega_0 \cdot \Delta T \cdot n + \theta_{вих}(n) = \omega_0 \cdot \Delta T \cdot n + (K_0 s_{ФД}(n-1) + \theta_{вих}(n-1)), \quad (5)$$

де K_0 – коефіцієнт передачі ГКН.

Апаратна і програмна частини пристрою ФАПЧ

Блок-схема експерименту зображена на рис. 2. Апаратна частина програмно реалізованого пристрою ФАПЧ розроблена на основі високопродуктивної демонстраційної плати STM32F4 Discovery. Крім самої плати, блок-схема також містить генератор гармонічних коливань, осцилограф, ПК та перетворювач USB-to-Serial для забезпечення обміну даними між ПК і мікроконтролером по інтерфейсу UART. Детальніша інформація з приводу роботи цієї схеми та основних параметрів демонстраційної плати STM32F4 Discovery наведена в роботі [9].

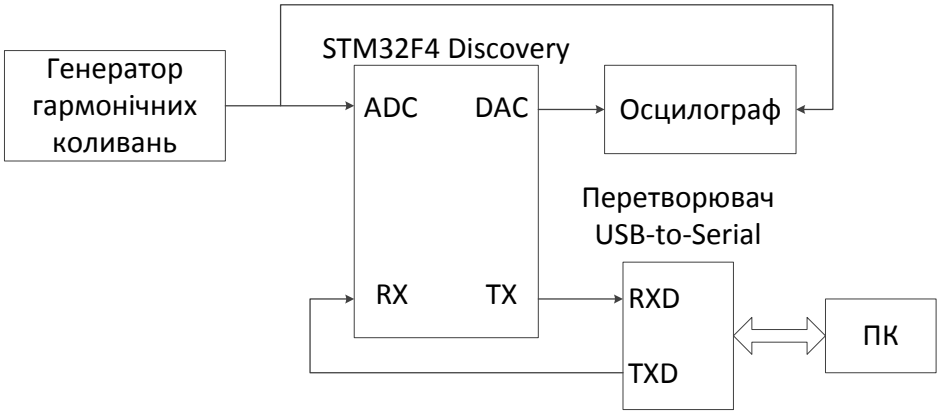


Рис. 2. **Блок-схема експерименту (аналогічна схемі в роботі [9])**

Програмне забезпечення розроблене в середовищі Keil µVision 5.15 з використанням стандартної бібліотеки периферії SPL. Алгоритм роботи ПЗ зображений на рис.3. Він майже повністю аналогічний алгоритму роботи ФАПЧ з роботи [9], тільки в цьому експерименті ФАПЧ є безфільтровим, тому сигнал з ФД відразу поступає на ГКН.

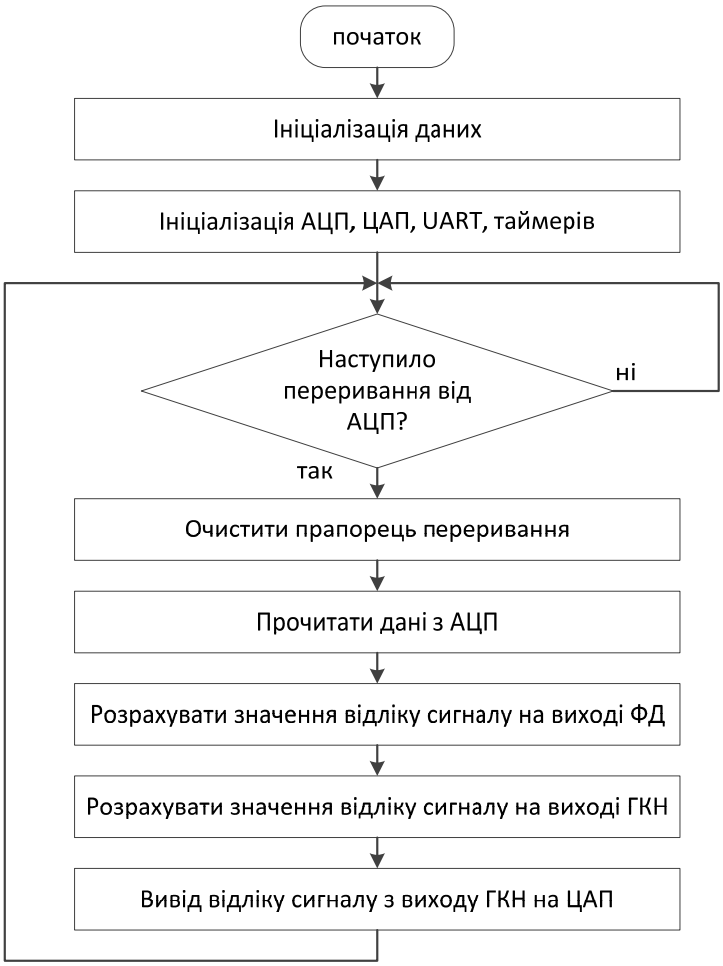


Рис. 3. **Алгоритм роботи ПЗ при замкнутому контурі зворотного зв'язку** [9]

Всі інші функціональні блоки безфільтрового ФАПЧ та пристрою ФАПЧ з роботи [9] є однаковими, *в тому числі і ГКН.* В [9] детально описаний механізм роботи такого ГКН в конкретному реалізованому пристрої та зображений алгоритм його роботи.

Результати вимірювання смуги утримання

Перед дослідженням статичних характеристик програмно-реалізованого пристрою ФАПЧ було задано значення частоти дискретизації $F_д$ = 100 кГц (інтервал дискретизації ΔT = 10 мкс), опорної частоти ГКН f_0 = 5 кГц, та частоти зрізу широкосмугового фільтра в ФД $f_{зр}$ = 5 кГц.

Спочатку було визначено смуги утримання програмно-реалізованого пристрою ФАПЧ в різних напрямах від опорної частоти при різних значеннях коефіцієнтів передачі ФД і ГКН. Результати вимірювань наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Результати вимірювання смуги утримання пристрою ФАПЧ

$K_{ФД}$	K_0	Ліва частина смуги утримання $-f_y$, Гц	Права частина смуги утримання $+f_y$, Гц
0,05	0,05	-38,1	38,7
0,1	0,05	-78,9	81,1
0,25	0,05	-199	204
0,25	0,1	-401	414
0,25	0,2	-807	828
0,5	0,2	-1621	1669
0,5	0,25	-2046	2094
0,5	0,5	-4025	4003

З отриманих значень видно, що величини лівої і правої частин смуг утримання не є однаковими. Це пояснюється наявністю нелінійних спотворень у фазовому детекторі через те, що частотна характеристика фільтра не є ідеальною. При перемноженні сигналів, крім низькочастотної складової формується високочастотна гармоніка, частота якої рівна сумі частот вхідного та вихідного сигналів ФАПЧ. Це означає,

що для вхідних сигналів з різними частотами, наприклад, $f_1 = f_0 - \Delta f$ та $f_2 = f_0 + \Delta f$, частота такої гармоніки також відрізнятиметься, а отже, коефіцієнт передачі широкосмугового фільтра у ФД для цих двох випадків також буде різним і водночас недостатньо малим, щоб цими спотвореннями можна було знехтувати. У вихідному сигналі нелінійні спотворення проявлятимуться в коливаннях його фази, і амплітуди цих коливань будуть різними для сигналів з частотами f_1 та f_2, причому відрізнятимуться вони тим більше, чим більший буде початкове частотне розузгодження Δf. З цієї причини смуга утримання сигналу не буде симетричною відносно опорної частоти ГКН.

Результати вимірювання статичних характеристик пристрою ФАПЧ

Крім того, було досліджено вплив початкового частотного розузгодження Δf (в межах смуги утримання) на різницю θ фаз між вхідним та вихідним сигналами. Для зручності сприйняття результатів було введено параметр нормованого початкового частотного розузгодження $\gamma = \Delta f / f_y$. Результати експерименту представлені на рис. 4 для трьох різних наборів значень K_0 та $K_{ФД}$.

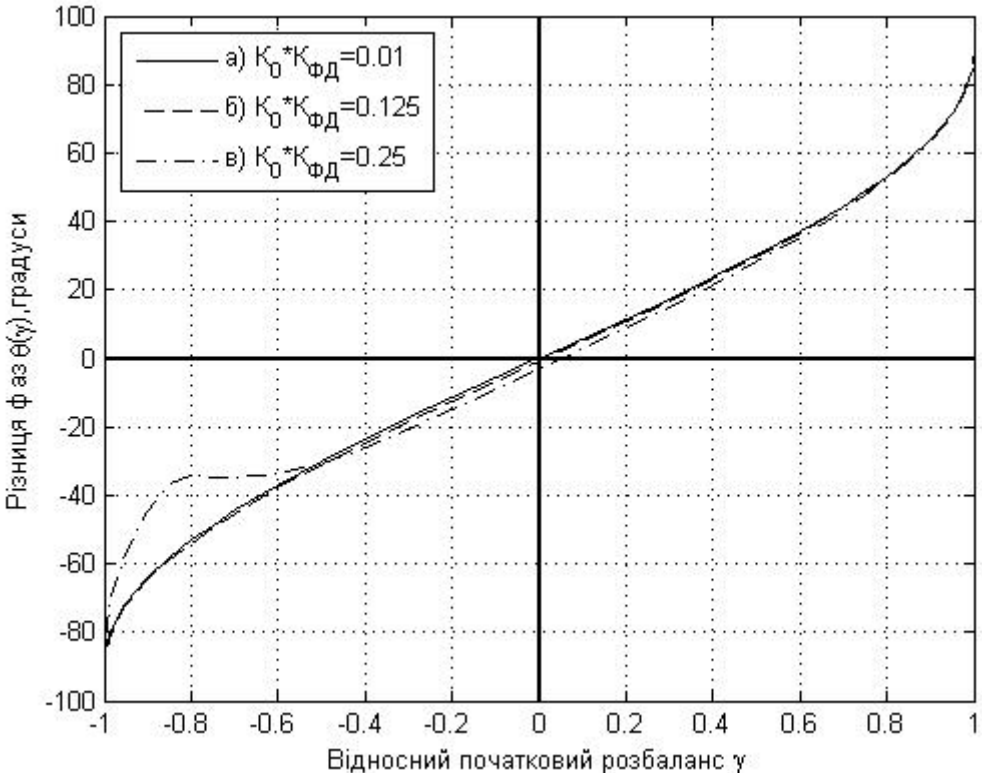


Рис. 4. Залежність різниці фаз між вхідним та вихідним сигналами в режимі синхронізму від нормованого початкового частотного розбалансу: а) $K_0 \cdot K_{ФД} = 0{,}01$; б) $K_0 \cdot K_{ФД} = 0{,}125$; в) $K_0 \cdot K_{ФД} = 0{,}25$

З отриманих графіків бачимо, що отримані криві мають форму близьку до функції арксинуса. Власне такою функцією описуються статичні характеристики аналогових ФАПЧ першого порядку [10]. Крім того, для малих коефіцієнтів підсилення пристрою ФАПЧ ($K_0 \cdot K_{ФД} < 0{,}125$) криві на рис. 4 практично збігаються. При подальшому збільшенні коефіцієнтів підсилення ФД та ГКН через наявність високочастотної складової форма вихідного сигналу сильно спотворюється, причому чим більший частотний розбаланс, тим гірше. Через це визначити різницю фаз між таким спотвореним коливанням та сигналом з еталонного генератора стає проблематично, адже втрачається зміст поняття «фази» для такого сигналу.

Приклад такої ситуації наведений на рис. 5 – тут зображено форми вихідного сигналу при різних значеннях початкового розбалансу. Параметри цього ФАПЧ були навмисно вибрані такими, щоб забезпечити йому широку смугу утримання (близько 4 кГц на кожну сторону від опорної частоти), співмірну із значенням опорної частоти ФАПЧ (5 кГц). У випадку початкового частотного розбалансу $\Delta f = -2$ кГц (рис. 5а) вихідний сигнал є більш спотворений, ніж при $\Delta f = +2$ кГц (рис. 5б). Про це свідчать також і графіки різниці фаз – амплітуда коливань різниці фаз є на суттєво меншою (в 5 разів). Для випадків $\Delta f = -4$ кГц та $\Delta f = +4$ кГц (рис. 5в,г) контраст проявляється ще більше.

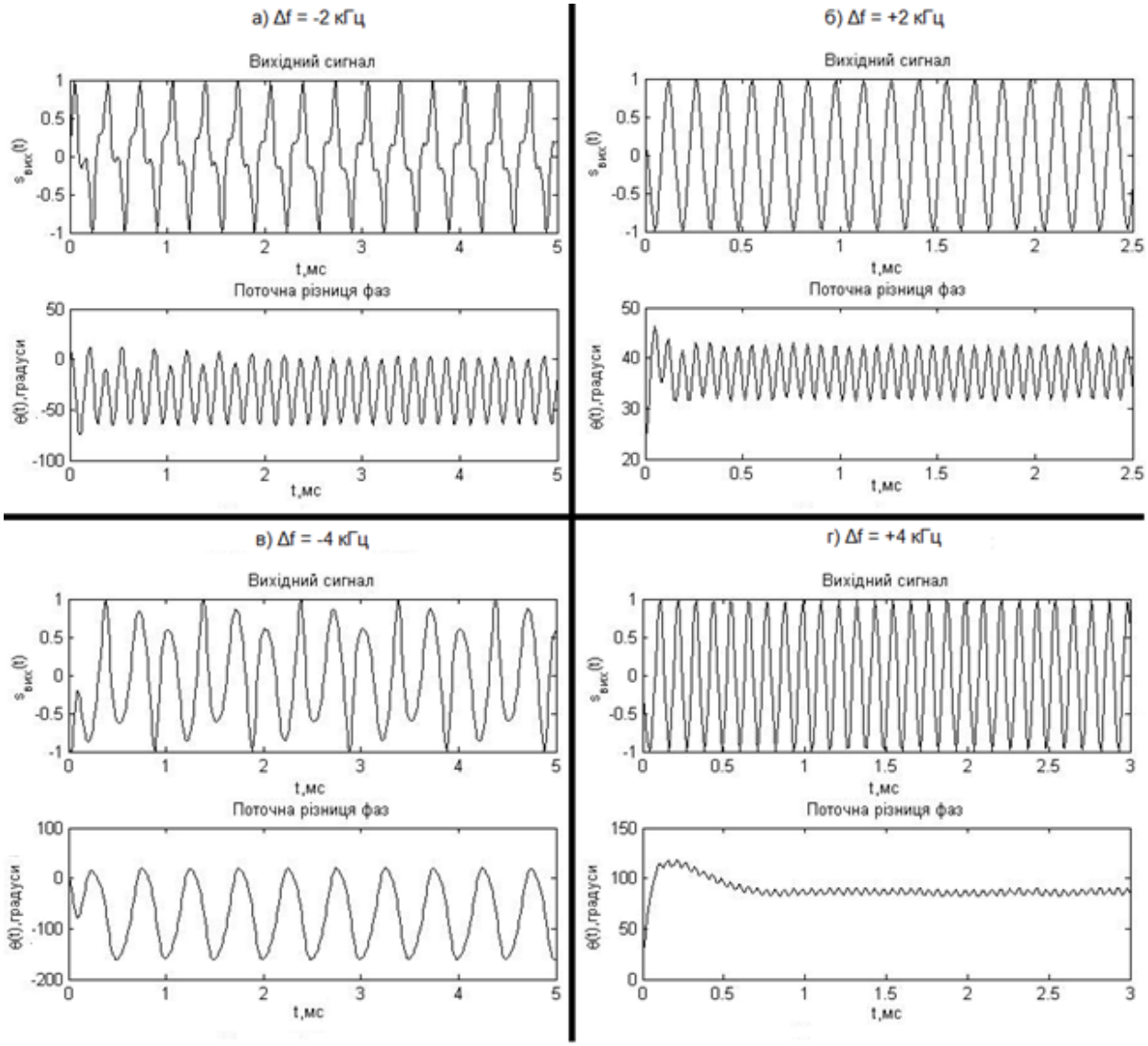


Рис. 5. Форми вихідних сигналів для різних випадків початкового частотного розбалансу та динаміка зміни різниці фаз між сигналами в часі: а) Δf = -2 кГц; б) Δf = +2 кГц; в) Δf = -4 кГц; г) Δf = +4 кГц

Графіки на рис. 5 демонструють вплив нелінійних спотворень лише для декількох можливих вхідних сигналів. Тому було проведено експерименти для значно більшої вибірки сигналів з різними частотами (в межах смуги утримання), їх результати було узагальнено і представлено на рис. 6. Тут побудовані статичні характеристики ФАПЧ з великою смугою пропускання ($2 \cdot f_y$ = 8028 Гц) для двох різних значень опорної частоти ГКН, а також відповідні характеристики при повній відсутності фільтрації подвійної складової. З графіків бачимо, що чим більшою є смуга утримання сигналу по відношенню до опорної частоти, тим більш спотвореною буде статична характеристика в зоні нижчих частот. Відсутність фільтрації ще більше посилює асиметричність цієї характеристики.

Висновки

Отримані результати дослідження статичних характеристик програмно-реалізованого пристрою ФАПЧ першого порядку наочно дозволяють пояснити, яким чином пристрій ФАПЧ зберігає режим синхронізму – доки різниця фаз між вхідним та вихідним сигналами залишається в заданих межах (±90°), доти сигнал на виході ФАПЧ повторює форму вхідного сигналу з ЕГ, і ці межі визначають смугу утримання ФАПЧ. За межами смуги утримання різниця фаз виходить за ці межі і тоді наступає зрив синхронізації.

Крім того, результати експерименту показали основний недолік безфільтрового ФАПЧ – наявність нелінійних спотворень, що можуть бути спричинені недостатньою фільтрацією побічних складових сигналу на виході детектора. У випадку, коли смуга утримання значно менша від опорної частоти ГКН, рівень цих спотворень достатньо малий, щоб ними можна було знехтувати. Проте при великих значеннях смуги утримання (співмірних з опорною частотою) ці спотворення суттєво впливають на статичну характеристику пристрою ФАПЧ. Тому збільшувати смугу утримання такого пристрою нераціонально, через що на практиці безфільтрові ФАПЧ практично не використовуються.

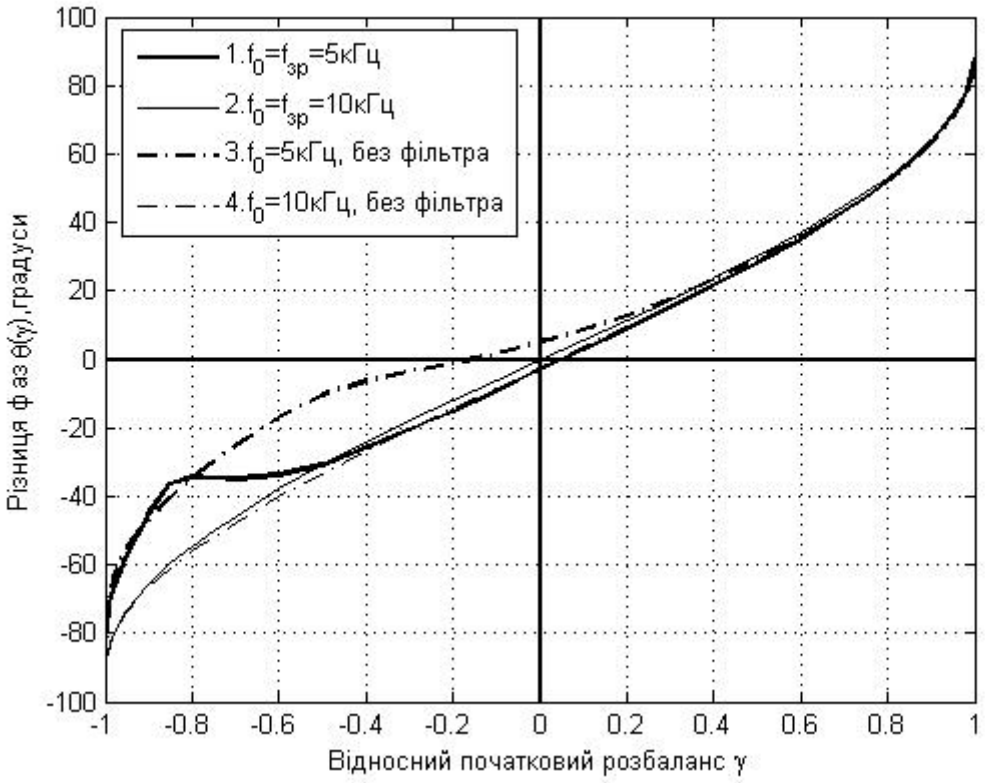


Рис. 6. Статистичні характеристики пристрою ФАПЧ при різних значеннях опорної частоти ГКН f_0 та частоти зрізу фільтра $f_{зр}$: 1) $f_0 = f_{зр} = 5$ кГц; 2) $f_0 = f_{зр} = 10$ кГц; 3) $f_0 = 5$ кГц, без фільтра; 4) $f_0 = 10$ кГц, без фільтра

Література

1. Basab Bijoy Purkayastha A Digital Phase Locked Loop based Signal and Symbol Recovery System for Wireless Channel. Basab Bijoy Purkayastha, Kandarpa Kumar Sarma. New Delhi: Springer, 2015. 254 p.

2. Best R.E. Phase-locked loops: design, simulation, and applications (professional engineering). New York: McGraw-Hill Companies Inc., 2003. 436 c.

3. Gardner F. M. Phaselock Techniques. New Jersey: Wiley, 2007. 425 p.

4. Abramovitch D. Phase-Locked Loops: A Control Centric Tutorial. Proceedings of the 2002 ACC. Agilent Laboratories, Palo Alto, 2002. 50 p.

5. Дядюра М.О. Исследование характеристик срыва слежения в системе фазовой автоподстройки частоты / М. О Дядюра, А. Р. Мухетдинова // 2-я Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых "Информационные технологии, телекоммуникации и системы управления" : сборник докладов. – Екатеринбург : [УрФУ], 2016. – С. 103–111.

6. Rueda-Germán C. Simulation of a Software Phase-Locked Loop for Typical Grid Disturbances / Rueda-Germán Clementina, Rivas- Cambero Ivan, Arroyo-Núñez J. Humberto // International Journal of Engineering Research & Technology. – 2015. – Vol. 4 Issue 06. – P. 998–1002.

7. Haque N. Modeling and Simulation of Second-order Phase-locked Loop for Studying the Transient Behavior during Frequency Acquisition and Tracking / N. Haque, P. K. Boruah, T. Bezboruah // Proceedings of the World Congress on Engineering 2010. Vol II, June 30 - July 2, 2010, London, U.K. – 5 p.

8. Полікаровських О.І. Фазове коло як основа класифікації прямих синтезаторів частоти / О.І. Полікаровських // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – № 5. – С. 133–139.

9. Алтунин С. И. Экспериментальное исследование переходных процессов в программно-аппаратном цифровом устройстве фазовой автоподстройки частоты / С. И. Алтунин, А.П. Бондарев // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2016. – № 4-5. – С. 15–22.

10. Системы фазовой синхронизации / Акимов В.Н., Белюстина Л.Н., Белых В.Н., и др. ; под ред. В.В. Шахгильдяна, Л.Н. Белюстиной. – М. : Радио и связь, 1982. – 288 с.

Рецензія/Peer review : 17.1.2017 р. Надрукована/Printed :5.2.2017 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Бондарєв А.П.

УДК 681.3

М.М. КАСЯНЧУК, І.З. ЯКИМЕНКО, Л.О. ДУБЧАК,
Н.А. РЕНДЗЕНЯК, Н.М. МАНДЕБУРА
Тернопільський національний економічний університет

МОДИФІКОВАНИЙ МЕТОД ШИФРУВАННЯ РАБІНА З ВИКОРИСТАННЯМ РІЗНИХ ФОРМ СИСТЕМИ ЗАЛИШКОВИХ КЛАСІВ

У роботі побудовано трьохмодульний алгоритм шифрування Рабіна, який має перед стандартним методом перевагу у стійкості за рахунок розширення блоку шифрування. Проведені дослідження часових складностей реалізації в VHDL-кодах на основі використання класичного методу, системи залишкових класів (СЗК) та модифікованої досконалої форми системи (МДФ СЗК) для різних наборів модулів. Результати досліджень вказали на переваги останньої, використання якої призводить до зменшення часу роботи алгоритму шифрування приблизно вдвічі. Побудовано та проаналізовано графіки залежності часу шифрування модифікованого трьохмодульного алгоритму Рабіна від набору модулів.

Ключові слова: шифрування, криптосистема Рабіна, модуль, обернений елемент, Китайська теорема про залишки.

M. KASIANCHUK, I. YAKYMENKO, L. DUBCHAK, N. RENDZENYAK, N. MANDEBURA
Ternopil National Economic University

RABIN'S MODIFIED METHOD OF ENCRYPTION USING DIFFERENT FORMS OF RESIDUAL CLASSES

Present work propose modified triple-module Rabin's encryption algorithm which has the advantage compare to the classical method related to stability by expanding of encryption block. The research of time complexity of its implementation in VHDL-codes based on usage of positional number system, the system of residual classes and its' modified perfect shape for different sets of modules were conducted . The results are pointed on the advantages of the mentioned above which helps to decrease time of the encryption algorithm by twice. Graphs of modified triple-module Rabin's encryption algorithm against set of modules were constructed and analyzed.

Keywords: module, the system of residual classes, triple-module Rabin's encryption algorithm, inverse element, VHDL-codes.

Вступ

З розвитком інформаційних технологій все більші вимоги ставляться до забезпечення високого рівня захисту інформаційних потоків у комп'ютерних мережах [1]. Сучасні підходи вирішення питань безпеки даних неможливі без використання криптографічних методів [2, 3]. Забезпечення необхідного рівня захисту можна досягнути, зокрема, при застосуванні асиметричної криптосистеми Рабіна [4], процес шифрування у якій подібний до RSA, але замість піднесення до степеня використовується піднесення до квадрату, що суттєво збільшує швидкодію алгоритму без втрати криптостійкості.

Поряд зі своїми перевагами, все більш вразливими до атак на реалізацію стають методи та підходи, які ґрунтуються на використанні позиційних систем числення [5]. Тому актуальною задачею забезпечення високого рівня захисту інформаційних потоків є застосування непозиційних систем числення, зокрема, системи залишкових класів (СЗК) [6] та її різних форм [7–10] в ході реалізації асиметричної криптосистеми Рабіна.

Огляд відомих рішень.

Система Рабіна стала першою асиметричною криптосистемою, яка ґрунтується на складності знаходження квадратичного лишку [4]. Схема шифрування починається з генерування ключів, тобто вибираються два випадкових багаторозрядних простих числа p і q, для яких виконується умова: $p \equiv q \equiv 3 \bmod 4$, виконання якої суттєво спрощує та прискорює пошук коренів за модулями p і q. Обчислюється значення $n = p \cdot q$, число n — відкритий ключ, а p і q — закритий.

Шифрування повідомлення M (текст) відбувається за допомогою відкритого ключа n за такою формулою:

$$C \equiv M^2 \bmod n. \tag{1}$$

У схемі Рабіна виконання операції піднесення до квадрату за модулем значно пришвидшує процес шифрування в порівнянні з методом RSA, де на даному етапі виконується операція модулярного експоненціювання.

При дешифруванні криптограми C вводяться додаткові допоміжні величини v і m:

$$\begin{aligned} v &= C \bmod p; \\ m &= C \bmod q. \end{aligned} \tag{2}$$

Для знаходження M необхідно знайти квадратичні лишки v, m відповідно за модулями p і q:

$$x^2 \equiv v(\bmod p), \tag{3}$$

$$y^2 \equiv m(\bmod q). \tag{4}$$

В результаті можна записати чотири системи порівнянь:

$$\begin{cases} M_1 \equiv x(\bmod p); \\ M_1 \equiv y(\bmod q); \end{cases} \begin{cases} M_2 \equiv x(\bmod p); \\ M_2 \equiv -y(\bmod q); \end{cases} \begin{cases} M_3 \equiv -x(\bmod p); \\ M_3 \equiv y(\bmod q); \end{cases} \begin{cases} M_1 \equiv -x(\bmod p); \\ M_1 \equiv -y(\bmod q). \end{cases} \quad (5)$$

Одне з рішень (5), яке ґрунтується на використанні китайської теореми про залишки [11], буде шуканим повідомленням M.

Однак у класичній криптосистемі Рабіна блок відкритого тексту обмежується величиною відкритого ключа ($M<n$). Тому для досить довгих повідомлень потрібно кожен блок шифрувати окремо. У даній роботі пропонується розширити блок відкритого тексту за рахунок використання у криптосистемі Рабіна таємного ключа, який складається з вибраних відповідним чином трьох простих чисел на основі звичайної цілочисельної та модифікованої досконалої форми (МДФ) СЗК.

Мета роботи

Побудова та проведення експериментальних досліджень у VHDL-кодах часових складностей реалізації трьохмодульного алгоритму шифрування Рабіна на основі використання звичайної цілочисельної та МДФ СЗК.

Трьохмодульна криптосистема Рабіна

Для шифрування інформаційних потоків з використання трьохмодульної криптосистеми Рабіна вибирається три великих простих числа p, q і r. Обчислюється значення $n = p \cdot q \cdot r$, де число n — відкритий ключ, а p, q і r – закритий.

Шифрування повідомлення M (текст) відбувається за допомогою відкритого ключа n за формулою (1).

При дешифруванні криптограми C вводяться додаткові допоміжні величини k, l і d:

$$\begin{aligned} k &= C \bmod p; \\ l &= C \bmod q; \\ d &= C \bmod r. \end{aligned} \quad (6)$$

Значення x, y і z шукаються з порівнянь:

$$x^2 \equiv k(\bmod p), \quad (7)$$

$$y^2 \equiv l(\bmod q), \quad (8)$$

$$z^2 \equiv d(\bmod r). \quad (9)$$

Для знаходження x, y і z необхідно обчислити значення кореня квадратного за модулем. Класичні підходи з використання символів Якобі або Лежандра є трудомісткими [12]. Тому пропонується метод, який вимагає тільки операції додавання та перевірки, чи є число повним квадратом, що суттєво зменшує обчислювальну складову методу Рабіна. Отже, для того, щоб знайти значення $\sqrt{k} \bmod p$, необхідно виконати наступну послідовність дій: $k + p$, $k + 2p$, …, $k + i \cdot p$, де i – значення, при якому $k + i \cdot p$ буде повним квадратом. Аналогічним чином шукається $y^2 \equiv l(\bmod q)$, $z^2 \equiv d(\bmod r)$. Оскільки розв'язками порівнянь (7)–(9) буде 6 значень, то для дешифрування потрібно розв'язати вісім систем порівнянь, що утворюються як комбінації можливих варіантів пошуку відкритого повідомлення:

$$\begin{cases} M_1 \equiv x(\bmod p); \\ M_1 \equiv y(\bmod q); \\ M_1 \equiv z(\bmod r); \end{cases} \begin{cases} M_2 \equiv -x(\bmod p); \\ M_2 \equiv y(\bmod q); \\ M_2 \equiv z(\bmod r); \end{cases} \begin{cases} M_3 \equiv x(\bmod p); \\ M_3 \equiv -y(\bmod q); \\ M_3 \equiv z(\bmod r); \end{cases} \begin{cases} M_4 \equiv x(\bmod p); \\ M_4 \equiv y(\bmod q); \\ M_4 \equiv -z(\bmod r); \end{cases}$$

$$\begin{cases} M_5 \equiv -x(\bmod p); \\ M_5 \equiv -y(\bmod q); \\ M_5 \equiv z(\bmod r); \end{cases} \begin{cases} M_6 \equiv -x(\bmod p); \\ M_6 \equiv y(\bmod q); \\ M_6 \equiv -z(\bmod r); \end{cases} \begin{cases} M_7 \equiv x(\bmod p); \\ M_7 \equiv -y(\bmod q); \\ M_7 \equiv -z(\bmod r); \end{cases} \begin{cases} M_8 \equiv -x(\bmod p); \\ M_8 \equiv -y(\bmod q); \\ M_8 \equiv -z(\bmod r). \end{cases} \quad (10)$$

Одне з рішень систем порівнянь (10) буде шуканим повідомленням M.

Для розв'язання задачі знаходження розв'язків (10) потрібно для кожної системи використати Китайську теорему про залишки, тобто для першої системи шукане число M_1 представлене у вигляді набору $(x, y, z)_{p,\ q\ ,r}$ найменших невід'ємних залишків від ділення цього числа на фіксовані цілі додатні попарно взаємно прості числа p, q, r ($x = M_1 \bmod p$, $y = M_1 \bmod q$, $z = M_1 \bmod r$), які є відкритими ключами. При цьому повинна виконуватись умова $0 \le M_1 < n-1$, де $n = p \cdot q \cdot r$.

Знаходження M_1 є досить складним та громіздким [13]:

$$M_1 = \left(x \cdot B_1 + y \cdot B_2 + z \cdot B_3\right) \bmod n, \quad (11)$$

де $B_i = S_i m_i$, $i = 1, 2, 3$, $S_1 = \frac{n}{p}$, $S_2 = \frac{n}{q}$, $S_3 = \frac{n}{r}$, m_i шукається з виразів $\left(S_1 m_1\right) \bmod p = 1$, $\left(S_2 m_2\right) \bmod q = 1$,

$(S_3 m_3) \bmod r = 1$.

Слід відмітити, що для знаходження m_i при використанні багаторозрядних чисел всі відомі методи пошуку оберненого елемента за модулем (повний перебір всіх можливих варіантів, використання алгоритму Евкліда або теореми Ейлера [5]) мають велику обчислювальну складність. Тому в даній роботі обрано метод [14], згідно якого для пошуку $a^{-1} \bmod b$ до числа 1 додається модуль і відбувається перевірка, чи ділиться отриманий результат на a. Якщо так, то отримана частка буде шуканим оберненим елементом. Якщо ж ні, то модуль додається відповідну кількість разів, поки результат від ділення не буде цілим числом, тобто шуканим оберненим елементом.

Задача суттєво спрощується, коли модулі p, q, r підібрано таким чином, що вони утворюють МДФ СЗК, тобто m_i=±1 [15, 16]. Це дозволяє уникнути виконання громіздкої процедури пошуку оберненого елемента за модулем та множення в (11) на базисні числа B_i.

Приклад реалізації запропонованого методу в HDL-кодах

Для дослідження часових характеристик модифікованого криптоалгоритму Рабіна та алгоритму, в якому модулі утворюють МДФ СЗК, було обрано Active-HDL – середовище розробки, моделювання і верифікації проектів для програмованих логічних інтегральних схем чи програмованих логічних матриць.

Для побудови часової діаграми симуляції роботи криптоалгоритму Рабіна без використання МДФ СЗК використовується такий ряд вхідних параметрів: p=11, q=13, r=17 – вхідні таємні ключі; Word = 1024 – блок для шифрування.

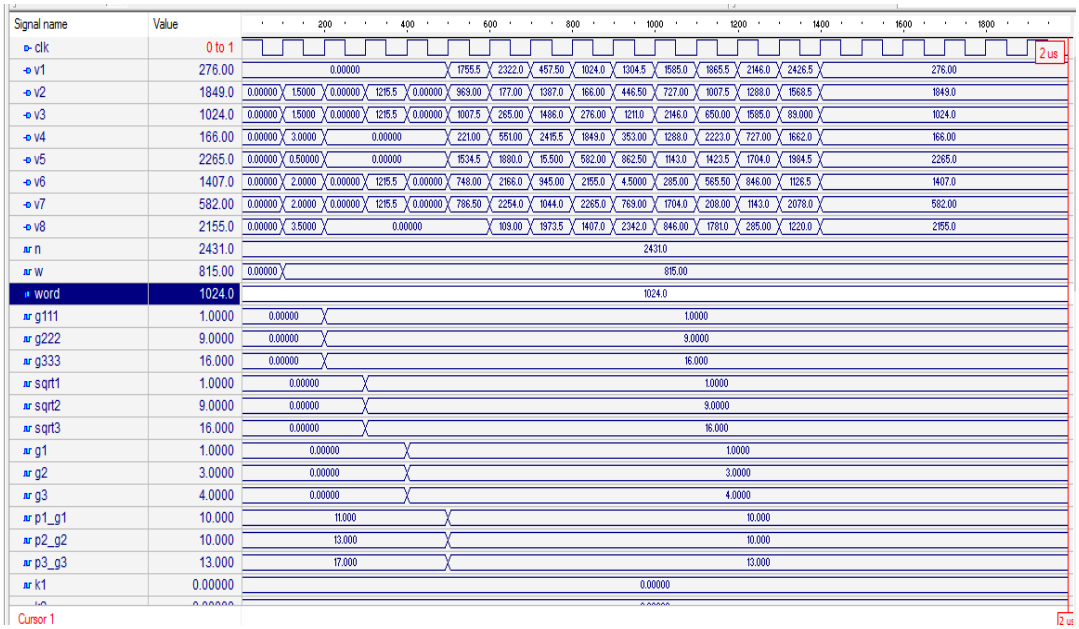


Рис. 1. Часова діаграма симуляції роботи модифікованого алгоритму Рабіна

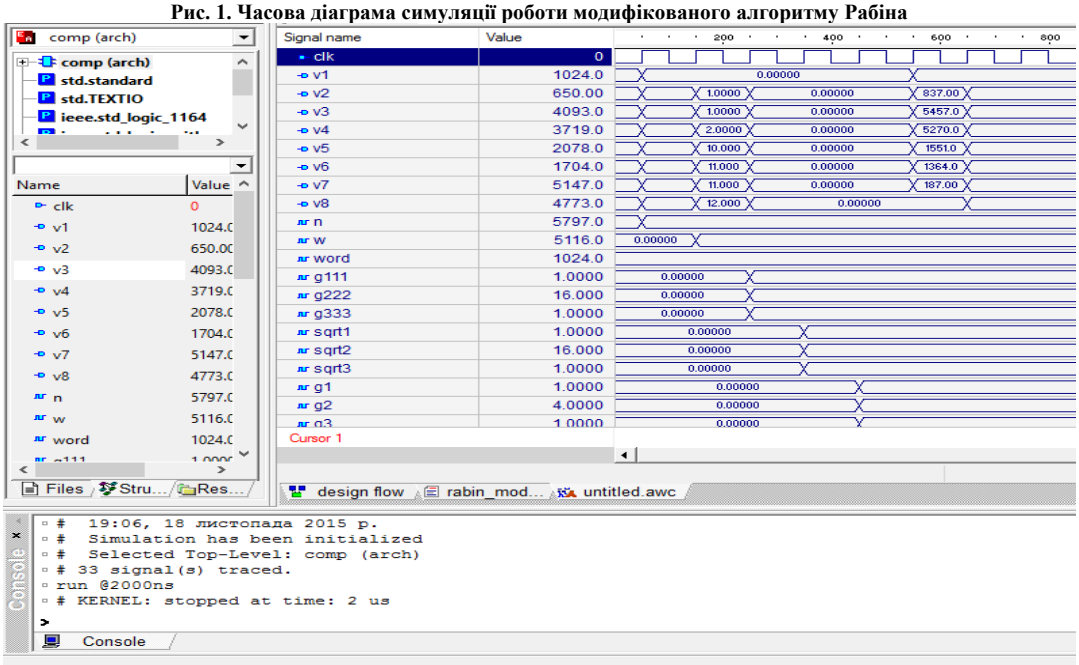


Рис. 2. Часова діаграма модифікованого криптоалгоритму Рабіна з використанням МДФ СЗК

На часовій діаграмі (рис. 1) показані результати моделювання роботи проектованого пристрою. З її аналізу випливає, що при проходженні 1,4 мікросекунди і встановлення усіх проміжних параметрів у статичний стан система виводить результат моделювання на один із вихідних портів.

Часова діаграма симуляції процесу шифрування модифікованого криптоалгоритму Рабіна з використанням МДФ СЗК подана на рисунку 2. В якості вхідних параметрів вибрано такі: p=11, q=13, r=17 – таємні ключі; Word = 1024 – блок для шифрування.

З рис. 2 видно, що час роботи трьохмодульного криптоалгоритму Рабіна з використанням МДФ СЗК становить 650 нс, тобто зменшився приблизно вдвічі в порівнянні з попереднім.

Крім того, даний метод при виборі модулів одного порядку має перевагу перед класичним у стійкості за рахунок збільшення блоку відкритого тексту для шифрування.

Дослідження часових характеристик модифікованого алгоритму Рабіна класичним та запропонованим методами

В таблиці 1 приведено час виконання модифікованого алгоритму Рабіна класичним та запропонованим методами для деяких значень модулів та блоків шифрування Word=131071 та Word=229376.

Таблиця 1

Час виконання модифікованого алгоритму Рабіна класичним та запропонованим методами

№	p	q	r	P	Word=131071		Word=229376	
					t_{11}	t_{12}	t_{21}	t_{22}
1	41	71	97	282367	4100	1000	4100	1300
2	43	71	109	332777	4200	3000	4200	1900
3	41	53	181	393313	4100	900	4100	1800
4	29	31	449	403651	2900	800	2900	1300
5	37	41	379	574943	3700	1500	3700	2200
6	53	89	131	617927	5300	3200	5300	1000
7	59	79	233	1086013	5900	5500	5900	5100
8	67	101	199	1346633	6700	2900	6700	3000
9	59	71	349	1461961	7300	7200	5900	2400
10	41	43	881	1553203	5000	4900	11900	11800
11	67	89	271	1615973	6700	3600	6700	4900
12	53	59	521	1629167	9900	9800	5300	4000
13	71	101	239	1713869	7100	4600	7100	2200
14	61	71	433	1875323	6100	4200	6100	3500
15	79	131	199	2059451	7900	3200	7900	3000
16	97	109	881	9314813	9700	4900	11900	11800

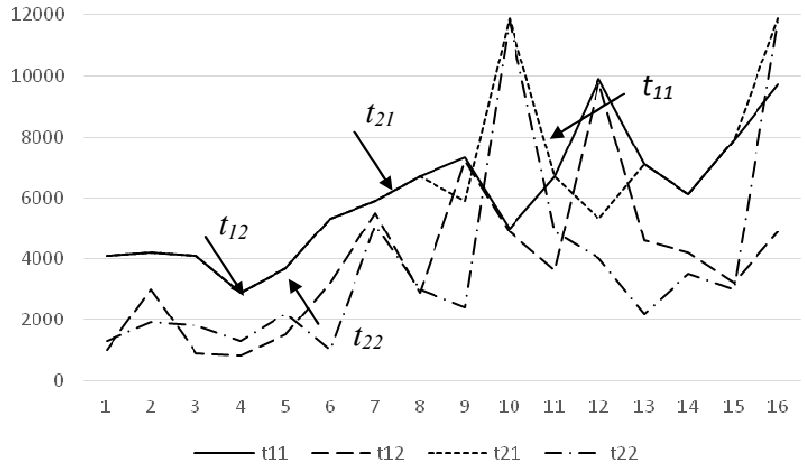


Рис. 3. Графіки часу виконання від номера наборів модулів

Результати експериментальних досліджень (таблиця 1) показують, що при шифруванні Word=131071 і для обраних модулів криптоперетворень p=41, q=53, r=181 досягається максимальна перевага запропонованого методу в порівнянні з класичним, час роботи менший приблизно в 4,6 разів. Це пояснюється тим, що пошук кореня за модулем в криптоалгоритмі Рабіна потребує меншої кількості ітерацій, тобто додавань модуля для отримання результату. В цей же час існують модулі криптоперетворень p=53, q=59, r=521, для яких спостерігається мінімальна перевага, тобто прискорення досягається 1,01 разів. Слід відмітити, що в даному випадку для досягнення результату пошуку кореня за модулем потрібна максимальна кількість кроків.

Для шифрування Word=229376 існують модулі криптоперетворень p=53, q=89, r=131 і p=97, q=109, r=881, для яких спостерігається максимальна і мінімальна переваги в 5,3 та 1,008 разів відповідно.

На рис. 3 представлені графіки часу виконання від номера наборів модулів згідно з попередньою таблицею, де t_{12}, t_{22} – вказаний час виконання трьохмодульного криптоалгоритму Рабіна з використанням МДФ СЗК, а t_{11}, t_{21} – трьохмодульного криптоалгоритму Рабіна.

Отже, результати досліджень вказали на переваги модифікованої форми системи залишкових

класів, використання якої призводить до зменшення часу роботи алгоритму шифрування Word=131071, Word=229376 в середньому в 1,58 і 1,63 разів відповідно.

Запропоновану HDL-модель модифікованого криптоалгоритму Рабіна можна реалізувати на сучасних ПЛІС чи ПЛМ з використанням МДФ СЗК.

Висновки

В роботі розроблено модифіковану трьохмодульну криптосистему Рабіна та досліджено часові характеристики реалізації в VHDL-кодах основних її трудомістких операцій знаходження квадратного кореня та оберненого елемента за модулем на основі використання позиційної системи числення, модифікованої та досконалої форм залишкових класів. Результати досліджень вказали на переваги модифікованої форми системи залишкових класів, використання якої призводить до зменшення часу роботи алгоритму шифрування приблизно вдвічі. Побудовано та проаналізовано графіки залежності часу шифрування модифікованого трьохмодульного алгоритму Рабіна від набору модулів.

Література

1. Романец Ю.В. Защита информации в компьютерных системах и сетях / Ю.В. Романец, П.А. Тимофеев, В.Ф. Шаньгин. – М. : Радио и связь, 2001. – 376 с.

2. Menezes A. Handbook of Applied Cryptography / A. Menezes, P. van Oorschot, S. Vanstone. – CRC Press., 2003. – 780 p.

3. Jeffrey H. An Introduction to Mathematical Cryptography / H. Jeffrey, P. Jill and H. Joseph. – 1st Edn. – Springer, Berlin, 2008. – 540 p. – ISBN-10:0387779949.

4. Arpit K. The Rabin cryptosystem and analysis in measure of chinese reminder theorem / K. Arpit and A. Mathur // Int. J. Sci. Res. Public. – 2013. – 3: 1-4. – 380 p.

5. Black J. Side-channel attacks on symmetric encryption schemes: the case for authenticated encryption / J. Black, H. Urtubia // Proc of 11th USENIX Security Symposium, 2002. – P. 327–338.

6. Omondi A. Residue Number System: Theory and Implementation. Imperial College Press / A. Omondi, B. Premkumar. – 2007. – vol. 2. – 296 p.

7. Kasianchuk M.M. Conception of theoretical bases of the accomplished form of Krestenson's transformation and its practical application / M.M. Kasianchuk // Proceedings of the 4-th International Conference "Advanced Computer Systems and Network: Design and Application" (ACSN–2009). – L'viv, 2009. – P. 299–301.

8. Касянчук М.М. Теорія та математичні закономірності досконалої форми системи залишкових класів / М.М. Касянчук // Праці Міжнародного симпозіуму „Питання оптимізації обчислень (ПОО–XXXV)". Т. 1. – Київ–Кацивелі, 2009. – С. 306–310.

9. Kasianchuк M.M. Theoretical Foundations of the Modified Perfect form of Residue Number System / M.M. Kasianchuk, Ya. M. Nykolaychuk, I. Z. Yakymenko // Cybernetics and Systems Analysis. – March, 2016. – Volume 52, Issue 2. – P. 219–223.

10. Kasianchuk M. Algorithms of findings of perfect shape modules of remaining classes system / M. Kasianchuk, I. Yakymenko, I. Pazdriy, O. Zastavnyy // XI²² International Conference "The Experience of Designing and Application of CAD Systems in Microelectronics (CADSM-2015)", 23–25 February, 2015. – P. 168–171.

11. Касянчук М.М. Аналітичний пошук модулів досконалої форми системи залишкових класів та їх застосування в китайській теоремі про залишки / М.М. Касянчук, І.З.Якименко, І.Р. Паздрій, Я.М. Николайчук // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015. – № 1(221). – С. 170–176.

12. Івасьєв С. В. Вдосконалений алгоритм пошуку символів Якобі [Електронний ресурс] / С. В. Івасьєв, І. З. Якименко, М. М. Касянчук // Методи та системи оптико-електронної і цифрової обробки зображень та сигналів. – 2015. – Том 29, № 1. – С. 45–50.

13. Николайчук Я.М. Теорія джерел інформації / Николайчук Я.М. – Тернопіль : ТзОВ «Терн граф», 2010. – 536 с.

14. Kasyanchuk M.M. Foundations for the Analytical Computation of Coefficients of Basic Numbers of Krestenson's Transformation / M.M. Kasyanchuk, Ya. M. Nykolaychuk, I. Z. Yakymenko // Cybernetics and Systems Analysis. – September, 2014. – Volume 50, Issue 5. – P. 649–654.

15. Николайчук Я.Н. Теория и методы построения системы модулей модифицированной совершенной формы системы остаточных классов / Я.Н. Николайчук, М.Н. Касянчук, И.З. Якименко / Международный научно-технический журнал «Проблемы управления и информатики», 2016. – № 4. – С. 109–115.

16. Iakymenko I. Construction of distributed thermal or piezoelectric sensor based on residue systems / I. Iakymenko, M. Kasianchuk, I. Kinakh, M. Karpinski // Przegląd Elektrotechniczny. – 2017. – No 1. – P. 290–294.

Рецензія/Peer review : 10.1.2017 р. Надрукована/Printed :5.2.2017 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Березький О.М.

УДК 004.4

Т.К. СКРИПНИК, Е.А. МАНЗЮК, С.С. МОСКАЛЮК
Хмельницький національний університет

ЕФЕКТИВНИЙ ІНТЕРФЕЙС КОРИСТУВАЧА

Найважливішим аспектом будь-якого програмного забезпечення є зручність і простота використання для цільової аудиторії. Саме інтерфейс слугує проміжною ланкою між користувачем і системою. Таким чином, важливо, щоб інтерфейс користувача був надійним, коротким і ясним. В даний час не існує певних правил або інструкцій для розробки інтерфейсу користувача. Дана стаття спрямована на надання пропозицій щодо дизайну інтерфейсу користувача, що дозволить користувачеві більш легко користуватися функціями системи, а також надасть можливість розробникам направляти користувачів в сторону більш ефективного використання системи.

Ключові слова: інтерфейс, веб-дизайн, юзабіліті, кольорова гама.

T.K. SKRYPNYK, E.A. MANZIUK, S.S. MOSKALIUK
Khmelnytsky National University

EFFICIENT USER INTERFACE

This article aims to provide proposals to design a user interface that allows the user to more easily use the system functions and will allow developers to direct users towards more efficient use of the system. The first thing a person sees, starting work with the information system is design. With usability, ease of use and other important nuances he will face later. One of the most important components is its adaptability. Locating the screen relative to each other should not be initiated in various sizes of the screen. The term "usability" describes the degree of comprehensibility website user, which implies its excellent ability to navigate. External interface should be highly visible. It should not distract the user from working with the information system. Although considered guidelines and rules for creating the user interface should be remembered that the quality of the user interface depends on the user and may not be ideal for all users. The goal of the developer should be to develop the required interface for most users, which should enable them to more effectively use the features of the system.

Keywords: interface, web design, usability, range of colours.

Постановка проблеми. Еволюція призначеного для користувача інтерфейсу почалась з появи простих програм, які використовували інтерфейс командного рядка. Цей інтерфейс вимагав від користувача знань команд, які будуть виконувати цільове призначення програми, що вимагає від користувача наявності попередніх знань роботи системи. Так як в той час використання комп'ютерів було не дуже широко поширене, в першу чергу обмежувалось аматорськими програмістами і науково-дослідницькими лабораторіями, зрозумілий інтерфейс користувача не був пріоритетним завданням розробників. Розповсюдження використання обчислювальних пристроїв збільшило аудиторію, яка мала взаємодіяти з програмним забезпеченням, тому вони мали отримати більш простий та передбачуваний інтерфейс [1]. Ця вимога, з урахуванням уявлень аудиторії, призводить до неоднозначних уявлень про дизайн користувальницького інтерфейсу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. На сьогодні існує ряд стилів інтерфейсу користувача, які одержали поширення в індустрії програмних засобів: графічний інтерфейс користувача (gui – graphical user interface), web-інтерфейс користувача (wui – web user interface), інтерфейс користувача кишенькових персональних комп'ютерів (hui – handheld user interface), прикладний рівень інтерфейсу користувача програмного забезпечення, об’єктно-орієнтований інтерфейс користувача [2].

У графічному інтерфейсі застосовуються 4 елементи: вікна, піктограми, меню та покажчики. Найважливішими властивостями є можливість безпосереднього маніпулювання об'єктами, підтримка миші та інших вказівних пристроїв, використання графіки та наявність області для функцій [2].

Web-інтерфейс схожий на меню ієрархічної структури. Навігація виконується в рамках одного або декількох додатків з використанням текстових або візуальних гіперпосилань. Основні особливості WUI-додатків: інформація відображається в єдиному вікні (браузері), браузер забезпечує меню для Web-додатку; вибір дій обмежений; Web-сторінка має невисокий ступінь внутрішнього контролю над клієнтською областю для відкриття спеціалізованих контекстних меню; створення спеціалізованих меню потребує додаткового програмування; функціональні можливості додатку повинні відображатись в методи для виклику команд; клієнтська область не містить традиційних піктограм; деякі додатки використовують графіку та анімацію в естетичних або навігаційних цілях, що несе в собі загрозу зовнішнього візуального шуму і збільшення часу відгуку при завантаженні та відкритті файлів; браузер і додатки забезпечують можливість відключення графіки [3].

Інтерфейс користувача кишенькових персональних комп'ютерів застосовує “жестикуляційний” стиль з пером та сенсорним екраном для введення даних. У вікні пристрою одночасно відображається лише один об’єкт. Основні проблеми проектування: спрощення вимог до користувача по введенню даних і взаємодії; використання обмеженої області дисплею [4].

Прикладний рівень інтерфейсу користувача програмного забезпечення здійснює виведення інформації та забезпечує взаємодію з користувачем за допомогою екрану та надає користувачу піктограми та курсор. Прикладний рівень додатку, містить всі функціональні можливості, які виходять за межі

оформлення діалогових вікон та реалізовані із застосуванням різних стилів інтерфейсів користувача. Можливості прикладного рівня включають наступні аспекти: концептуальне проектування; семантику об'єктів і операцій; наочне представлення та стиль поведінки об'єктів в межах клієнтської області; синтаксис об'єктів – формати даних, діапазони вхідних даних та послідовність зміни вікон; методи взаємодії та безпосереднього маніпулювання; унікальні дії; використання фізичних пристроїв [2].

Постановка цілей. Інтерфейс має важливе значення для будь-якої програмної системи і є невід'ємною її складовою, орієнтованою, перш за все, на кінцевого користувача. Саме через інтерфейс користувач судить про прикладну програму в цілому, більше того, часто рішення про використання прикладної програми користувач приймає по тому, наскільки йому зручний і зрозумілий інтерфейс. Разом з тим, трудомісткість проектування і розробки інтерфейсу досить велика. За оцінками фахівців в середньому вона складає більше половини часу реалізації проекту. Актуальним є зниження витрат на розробку і супровід програмних систем або розробка ефективного програмного інструментарію.

Для вирішення поставленої проблеми в межах роботи поставлено такі завдання — визначити основні правила, які впливають на якість інтерфейсу користувача.

Виклад основних матеріалів дослідження. Інтерфейс користувача відіграє дуже важливу роль у кожній інформаційній системі. Звісно ідеальних інтерфейсів не існує, але є деяке уявлення про ідеальний для користувача інтерфейс, який має певні характеристики [5]:

- адаптивність;
- юзабіліті;
- чіткість;
- лаконічність.

Для підтримки цих характеристик дизайнери інтерфейсів користувача повинні дотримуватись наступних правил.

Перше, що бачить людина, починаючи роботу з інформаційною системою це дизайн. З юзабіліті, зручністю користування і іншими важливими нюансами він зіткнеться пізніше. Однією з найважливіших його складових є адаптивність. Ця властивість з'явилась після того, як з'явились дисплеї з різними форматами. Більшість сучасних дисплеїв мають формат 1920*1080, який дозволяє розробникам відображати велику кількість контенту, але потрібно також враховувати інші формати, тому рекомендується розробляти інтерфейс адаптивно через діапазон розширення, без перерозподілення. Розміщення елементів на екрані відносно один одного не повинно бути порушено при різних розмірах екрану. Інтерфейс повинен не часто змінюватись і реагувати на зміну розміру екрану. Створення візуально привабливого змісту має важливе значення для привернення уваги користувача. Ієрархічний і логічний порядок прив'язки контенту є невід'ємною частиною гарної ідеї. Користувач повинен мати можливість легко відрізнити елементи більш високого значення або з менш важливим. Ієрархічне впорядкування також створює місце для користувача, щоб індивідуально аналізувати зміст, а не пропустити його. Також потрібно об'єднувати контент, який схожий за призначенням, комбінувати стилі оформлення, рамки та інше. Наявність єдиної колонки макету замість декількох є кращим, оскільки вона забезпечує кращу навігацію читачу в більш доступному для огляду шляху – від початку до кінця. Більша кількість стовпців має ризик відволікти користувача від основної мети сторінки [6].

Поняття «юзабіліті» характеризує ступінь зрозумілості веб-сайту для користувача, з чого випливає його здатність відмінно орієнтуватися. Сюди входять такі поняття, як зручність, швидкість, простота, інтуїтивність, широкі можливості інтерфейсу. Розташування елементів повинно бути звичним для людей. Не змушуйте людину зайвий раз думати, вона повинна знайти все на звичних для себе місцях. Зручні і диференційовані виклики дій допомагають користувачеві визначити відповідну відповідь. Виклик дії може бути кнопкою, посиланням або будь-яким іншим елементом, який може викликати певну дію. Для того, щоб зробити їх більш помітними, розробник може використовувати більш темний відтінок кольору або навпаки. Він може навіть регулювати глибину елемента, надаючи йому тінь і перехід кольору, щоб зробити його ближче, тоді як інші візуально віддаляються [7].

Реалізація розбиття на сторінки при обробці великих обсягів даних допомагає користувачам організовувати думки і полегшує розуміння контенту. Наприклад, реалізація прокрутки дозволяє відображати більше контенту на одній сторінці ніж фактичний розмір екрану, але створення занадто довгих стрічок прокрутки часто створює складності в навігації для користувачів. Просте рішення цієї проблеми полягає в реалізації розбиття на сторінки, або категоризації і розділивши весь вміст на різні сторінки і потім застосовуючи стрічку прокрутки індивідуальному порядку [2].

Форма перевірки повинна бути зроблена для кожного рядка окрема, а не в кінці процесу коли кнопка "Зберегти/Відправити" натиснута. У цьому випадку метод перевірки викликається в кінці і відображається повідомлення про помилку. Користувачеві буде необхідно повернутися назад і виправити невірні дані, які він раніше зробив. Це збільшує час роботи з інформаційною системою, а також втомлює користувача. При застосуванні перевірки в кожному рядку повідомлення буде показано користувачеві відразу після завершення вводу інформації, відповідно зменшить час корекції цієї інформації за рахунок відсутності втрат на повернення до рядку, а також сфокусованості саме на цій інформації.

Зовнішній вигляд інтерфейсу повинен бути не сильно помітним. Він не повинен відволікати увагу користувача від роботи з інформаційною системою. Але при цьому інтерфейс повинен викликати у

користувача правильні емоції, які підготують його до продуктивного проведення часу у системі. При створенні якісного, чистого і елегантного інтерфейсу, не потрібно використовувати більше 2-3 кольорів. Це істина, якою не варто нехтувати. Йдеться лише про колірну схему самої інформаційної системи. Інші кольори з'являться пізніше в фотографіях, схемах, малюнках, це нормально. Не потрібно використовувати кричущі, їдкі кольори, вони викличуть лише негативні емоції, людина не зможе довго працювати у такій системі. Краще використовувати м'які і спокійні кольори і колірні схеми, вони будуть викликати умиротворення і довіру. В цілому, в дизайні інтерфейсу користувача не повинно бути нічого зайвого, все повинно виглядати гранично акуратно, ніщо не повинно відволікати увагу користувача від контенту та уникати його перевантаження інформацією. Не потрібно створювати зайвих елементів, якщо вони не несуть ніякого сенсу і від них можна відмовитися. Кращий дизайн – легкий і просторий, що не обмежений і не переобтяжений. Також потрібно проаналізувати аудиторію користувачів інформаційної системи, так як в кожної групи різні вимоги та можливості використання [8].

Іншим важливим аспектом при розробці інтерфейсу є сумісність. Однак не слід прагнути до неї прагнути будь-якою ціною. Одною з основних її переваг є те, що користувачі можуть перенести свої знання і навички з старої програми, якою вони користувалися раніше, в нову. Принципи створення сумісності інтерфейсу:

1) Проектування послідовного інтерфейсу.

Користувачі повинні мати опорні точки при переміщенні в інтерфейсі. Це заголовки вікон, навігаційні карти і деревовидні структури. Інша візуальна допомога надає негайний, динамічний огляд місця розташування. Користувач також повинен мати можливість завершити поставлене завдання без зміни середовища роботи або перемикання між стилями введення інформації. Якщо спочатку він використовував клавіатуру, то повинна бути забезпечена можливість завершити роботу теж з нею як з головним інструментом для взаємодії.

2) Загальна сумісність всіх програм.

Вивчення однієї програми не повинно кардинально відрізнятися від вивчення подібної програми. Коли схожі об'єкти не працюють однаково в різних ситуаціях, у користувачів відбувається зміна розумінь функцій програми. Це гальмує вивчення програми і призводить до того, що користувач втрачає впевненість в своїх знаннях.

3) Збереження результатів взаємодії.

Якщо результати можуть бути відмінні від того, що очікує користувач, то потрібно інформувати його перед виконанням дії. Дати йому опції виконання дії, можливість скасувати дію або провести інше.

4) Естетична привабливість і цілісність.

Привабливий для погляду інтерфейс не повинен приховувати недолік функціональності програмного продукту [5].

Іншою проблемою інтерфейсу користувача є перевантаженість елементами управління. Перевантаженість вікон програми елементами управління зустрічається часто. Взяти інтернет-браузер. Крім того, що він сам містить кілька панелей інструментів, більше десятка кнопок, меню, скролери і т.д., вміст більшості сайтів включає безліч елементів управління – списки, кнопки. За всім цим користувачеві дуже складно знайти дійсно потрібну йому інформацію. Часто розробники програм не знають, як зробити по-іншому, і мають у своєму розпорядженні всю необхідну, на їхню думку, інформацію в одному вікні, яке при цьому перетворюється в нагромадження написів і елементів управління. Навіть досвідчений користувач буде відчувати складності при роботі з такою програмою, не кажучи вже про новачка.

Програми призначені для того, щоб допомагати користувачеві робити свою роботу. Користувач не повинен витрачати свій час на маніпуляції з програмою. Перевантаженість елементами управління призводить до того, що людина відволікається від основного завдання і приймається розглядати вікно програми, намагаючись зрозуміти, що тут, де, і як з цим працювати. Велика кількість сторонніх елементів затуляє необхідну інформацію. В результаті продуктивність роботи з програмою знижується. Крім того, користувачеві в цьому випадку практично неможливо створити у себе в голові модель поведінки цього вікна, і пізніше її використовувати. Кожен раз при роботі з цим вікном процес пізнавання починається спочатку. Необхідно завжди прагнути до мінімізації числа елементів управління на екрані. Чим менше їх буде, тим краще. Може скластися враження, що це абсурд, адже виходить, що ідеальний інтерфейс повинен бути зовсім непомітним. Так воно і є. Існує поняття програм-агентів, які працюють у фоновому режимі, збираючи і накопичуючи інформацію, на основі якої виконують певні дії. Проблемою є пункт головного меню, що спрацьовує відразу. Користувачі звикли, що пункт головного меню в програмах містить підменю [2].

Якщо в головному меню присутній пункт, який спрацьовує відразу при натисканні на нього, робить програму непередбачуваною. Ще гірше, якщо це пункт «Вихід», який закриває програму без жодного попередження. Уявіть, користувач досліджує меню програми і несподівано програма зникає. Найчастіше таким пунктом дійсно є пункт «Вихід». Наприклад, пункт «Вихід» з програми краще розташовувати самим нижнім пунктом самого лівого підміню, незалежно від того, чи підходить він туди за змістом, чи ні. Користувачі починають шукати його в першу чергу саме тут. Іншою неприємністю є невідповідні малюнки на кнопках. Практично жодна програма не обходиться без панелей інструментів з кнопками. Кнопки мають малюнки. Натискання на кнопку викликає певну дію. Видається логічним, що малюнок на кнопці повинен

відповідати її дії, проте багато про це забувають. Деякі розробники просто не вміють малювати картинки, деякі просто не хочуть, і беруть готові (з інших програм). В результаті важко без підказки визначити, що означає та чи інша кнопка. Малюнки іноді виходять абсолютно не пов'язаними зі змістом. Чіткий і зрозумілий малюнок сприяє підвищенню ефективності роботи. Якщо малюнок відповідає дії, ця асоціація легко запам'ятовується користувачем, і в подальшому один тільки погляд на кнопку дозволяє миттєво згадати її призначення. Якщо ж ні, то призначення доводиться згадувати, або дізнаватися заново кожен раз.

Висновки. Незважаючи на розглянуті інструкції та правила для створення інтерфейсу користувача слід пам’ятати, що якість призначеного для користувача інтерфейсу залежить від конкретного користувача і не може бути ідеальною для усіх користувачів. Метою розробника повинна бути розробка бажаного інтерфейсу для більшості користувачів, який має дозволити їм найбільш ефективно використовувати особливості системи.

Тема дослідження буде залишатись актуальною завжди, так як технічний прогрес не стоїть на місці, а погляди людей на ідеальний інтерфейс змінюються з кожним роком.

Література

1. Константайн Л. Разработка программного обеспечения / Л. Константайн, Л. Локвуд. – Санкт-Петербург : Питер, 2004. – 592 с.

2. Тидвелл Д. Разработка пользовательских интерфейсов / Д. Тидвелл. – 2-е изд. – Санкт-Петербург : Питер, 2011. – 480 с.

3. Розенфельд Л. Информационная архитектура в Интернете / Л. Розенфельд, П. Морвиль. – 3-е изд. – Санкт-Петербург : Символ-Плюс, 2010. – 608 с.

4. Раскин Д. Интерфейс: новые направления в проектировании компьютерных систем / Джеф Раскин. – Санкт-Петербург : Символ-Плюс, 2004. – 272 с.

5. Торрес Р. Практическое руководство по проектированию и разработке пользовательского интерфейса / Р. Торрес. – Москва : Вильямс, 2002. – 400 с.

6. Мандел Тео Дизайн интерфейсов / Тео Мандел. – Москва : ДМК Пресс, 2005. – 410 с.

7. Нильсен Я. Web-дизайн: удобство использования Web-сайтов / Якоб Нильсен, Хоа Лоранжер. – Москва : Вильямс, 2007. – 368 с.

8. Феличи Д. Типографика: шрифт, верстка, дизайн / Д. Феличи. – Санкт-Петербург : BHV-СПб, 2004. – 360 с.

Рецензія/Peer review : 6.12.2016 р. Надрукована/Printed :6.2.2017 р.
Рецензент: д. т. н., проф. Сорокатий Р.В.

УДК 621.317.7

Б.Р. ТРЕМБАЧ, Р.В. КОЧАН
Національний університет "Львівська політехніка"
Р.Б. ТРЕМБАЧ
Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя

МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЕКТУВАННЯ СТРУКТУРНИХ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИХ ЗАСОБІВ ЗАДАЧІ РОЗПІЗНАВАННЯ ПРОСТОРОВИХ ПАРАМЕТРІВ ДЖЕРЕЛ АКУСТИЧНИХ СИГНАЛІВ

Викладені теоретичні засади та проектні рішення синтезу структури програмно-апаратних засобів розпізнавання просторових параметрів джерел акустичних сигналів. Запропоновані методи оптимізації проектних рішень структури багатоканальних цифрових кореляторів системи акустичної локалізації накопиченої інформації з різним числом приймачів акустичних сигналів. Обґрунтовані переваги застосування багатоканальних структур для обчислення модульної кореляційної функції у порівнянні з мультиплікативною інтегральною оцінкою на основі центрованої функції взаємокореляції.

Ключові слова: кореляція, акустика, програмно-апаратні засоби, сигнал.

B.R. TREMBACH, R.V. KOCHAN
National University "Lviv Polytechnic"
R.B. TREMBACH
Ternopil Ivan Puluj National Technical University

METHODS OF STRUCTURAL DESIGN OPTIMIZATION OF SOFTWARE HARDWARE PROBLEM IDENTIFICATION OF THE SPATIAL PARAMETERS OF ACOUSTIC SIGNALS SOURCES

Theoretical principles and design decisions of the structure software - hardware synthesis identification of the spatial parameters acoustic signal sources have been presented. The methods of the design solutions decision optimization of the multichannel digital correlator structure of the acoustic localization of the accumulated information with different number of the acoustic signal receivers have been proposed. The advantages of multi-use modular structures for calculating of the correlation function compared with the multiplicative integrated estimation based on the centered function of intercorrelation, have bee interpreted.

Keywords: correlation, acoustics, software and hardware instruments, signal.

Вступ

Потужний розвиток сучасної мікроелектроніки підвищує можливість первинного проектування утилітів на програмованих логічних інтегральних схемах (ПЛІС), які є тиражованими компонентами спецпроцесорів, значно спрощує та підвищує ефективність процесів синтезу проблемно – орієнтованих обчислювальних засобів для вирішення задач статистичного, кореляційного та спектрального опрацювання сигналів. До класу таких задач належить розпізнавання та ідентифікація просторових параметрів джерел акустичних сигналів (ДАС) [1–3].

Огляд існуючих рішень та постановка задачі досліджень

У роботах [3, 4] викладені принципи та теоретичні засади методу пеленгації та ідентифікації просторового кута пеленгації ДАС на основі двох приймачів акустичних сигналів (ПАС).

На рис. 1. в точках А та В знаходяться звукоприймачі, відстань відрізку АВ називають довжиною акустичної бази. Нехай в точці О знаходиться ціль, що виявила себе звуком пострілу, тоді від неї у всіх напрямках зі швидкістю розповсюдження звуку розповсюджуються акустичні хвилі, які пройшовши шлях S1 реєструються звукоприймачем в точці А, а пройшовши шлях S2 – в В. Тоді справджується співвідношення

$$\begin{cases} S1 = c \times t_1, \\ S2 = c \times t_2 \end{cases}, \quad (1)$$

де c – швидкість розповсюдження звуку у атмосфері, t_1 та t_2 – часи проходження акустичних хвиль відстані $S1$ та $S2$ відповідно.

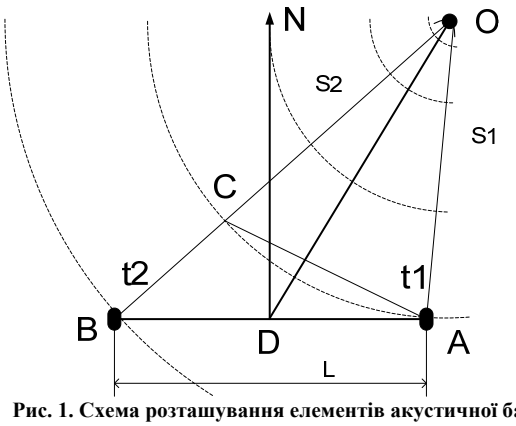


Рис. 1. Схема розташування елементів акустичної бази

Нехай точка С лежить на відрізку ВО так, що довжина відрізку СО рівна довжині відрізку АО, тобто звук пострілу одночасно реєструється в точках А та С, а точки D та N розташовані таким чином, що довжина відрізків BD та DA рівні (точка D лежить посередині відрізку АВ), а кут NDA є прямим (відрізок DN є нормаллю до відрізку АВ, який в артилерії прийнято називати директрисою акустичної бази). Якщо довжина відрізка АВ значно менша від довжин відрізків АО та ВО то значення кута АСВ прямує до 90^0 [4]. В такому випадку відрізки ВС та СА – катети прямокутного трикутника АВС, а відрізок ВА – його гіпотенуза. Кут NDO рівний куту САВ і для нього справджується

$$\sin(CAB) = \sin(NDO) = \frac{BC}{BA} = \frac{(t_2 - t_1)\times C}{BA} = \frac{\Delta t \times C}{L}, \quad (2)$$

де Δt – різниця часу реєстрації звуку пострілу між двома звукоприймачами, L – довжина акустичної бази.

Таким чином вихідними даними при розрахунку напрямку на ціль є різниця часу реєстрації звуку між двома звукоприймачами, відстань між ними, та орієнтація акустичної бази на місцевості. Для визначення координати цілі необхідно визначити напрямки на ціль із, як мінімум, двох акустичних баз.

Функціональними обмеженнями такого методу є відсутність можливості визначення просторового розміщення ДАС, а також розпізнавання типу ДАС.

У роботі [5] викладено структурне рішення побудови системи акустичної локалізації накопиченої кореляції (ALAC) та теоретичні засади визначення інтегральної оцінки мультиплікативної взаємокореляційної функції на основі аналітичної оцінки:

$$L(q) = G(\int_{\tau(i,q)-\frac{w}{2}}^{\tau(i,q)+\frac{w}{2}} x_i(t)\times x_j(t-\tau_{i,q}+\tau_{j,q})dt) + \alpha V_E, \quad (3)$$

де q – ідентифікатор ДАС; G – інтегральна функція взаємокореляції; $x_i(t)$ та $x_j(t-\tau_{i,q})$ – відповідно поточні та затримані на інтервалі часу $\pm\tau_{i,q}$ акустичні сигнали (АС); αV_E – коефіцієнт затухання енергії функції взаємокореляції на інтервалі $\tau_{i,q}$.

Обчислення інтегральної оцінки кореляції між сигналами $x_i(t)$ та $x_j(t-\tau_{i,q})$ виконується над їх центрованими трендами, як це показано на рис. 2 [5].

Авторами [5, 6] встановлено, що кореляційний метод є найбільш ефективним оскільки забезпечує найвище відношення сигнал/шум.

На рис. 3 показана структура кореляційної системи (ALAC), яка містить чотири приймачі АС, пари виходів яких з'єднані з відповідними входами шести кореляторів, виходи яких з'єднані з входами відповідних накоплюючих помножувачів-суматорів, виходи яких є виходами азимуту та віддалі до ДАС.

Необхідність застосування у системі ALAC шести взаємокореляторів обумовлена симетричністю кореляційної матриці:

$$\begin{matrix} 1 & R_{12} & R_{13} & R_{14} \\ - & 1 & R_{23} & R_{24} \\ - & - & 1 & R_{34} \\ - & - & - & 1 \end{matrix}.$$

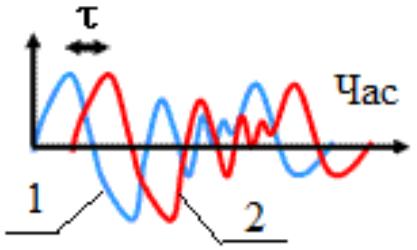


Рис. 2. Кореляційна взаємодія центрованих трендів сигналів 1 – $x_i(t)$; 2 – $x_j(t-\tau_{i,q})$

Очевидно, що при мінімальній кількості ПАС, необхідній для ідентифікації азимуту та віддалі до ДАС, рівній трьом, необхідне число кореляторів буде рівне трьом, а для двох ПАС – відповідно один.

Таким чином аналіз існуючих методів опрацювання АС на прикладі структури кореляційної системи ALAC показує, що при заданій кількості ПАС згідно з наведеною матрицею, число взаємокореляторів практично зростає квадратично.

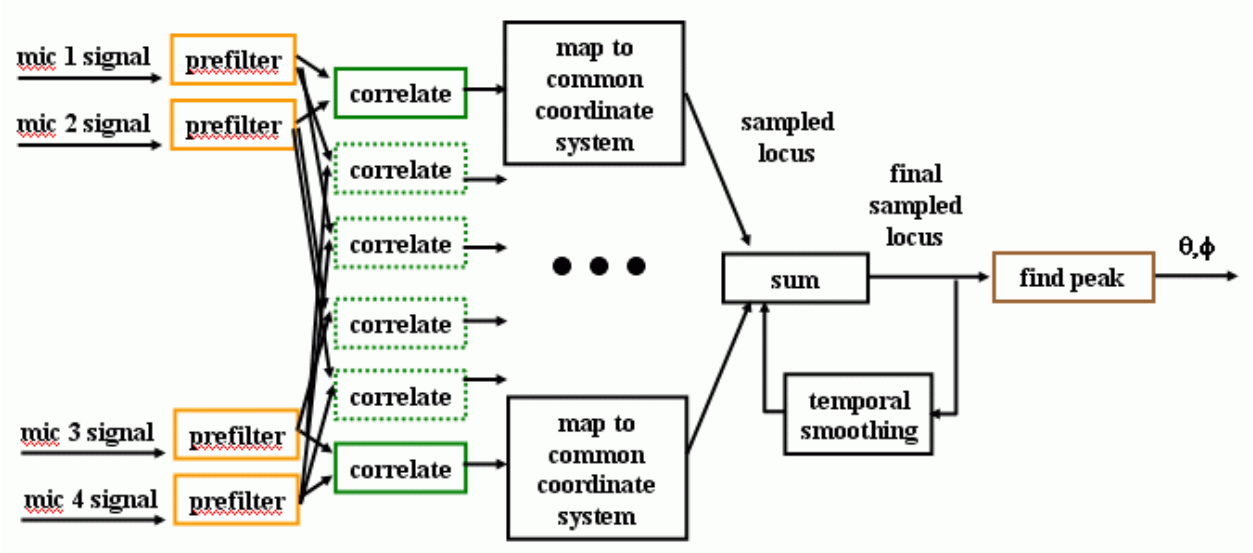


Рис. 3. Структура кореляційної системи просторової ідентифікації ДАС

Зменшення кількості кореляторів для реалізації моніторингу та визначення азимуту та віддалі до ДАС є актуальною науково-прикладною задачею.

1 Методи оптимізації структурних рішень засобів кореляційного моніторингу та ідентифікації просторових параметрів АС

1.1 Структура багатоканального цифрового корелятора (БЦК) при хаотичному просторовому розміщені ДАС і ПАС

Розглянемо приклад для $q = 3$ ПАС і багатьох ДАС показаний на рис.4. При хаотичному розміщені ПАС по відношенню до ДАС структура багатоканального корелятора відповідає принципам побудови ALAC (рис. 5)

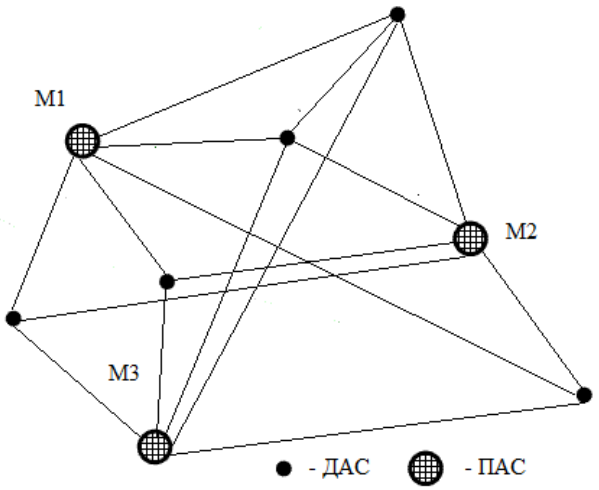


Рис. 4. Приклад хаотичного просторового розміщення ДАС і ПАС

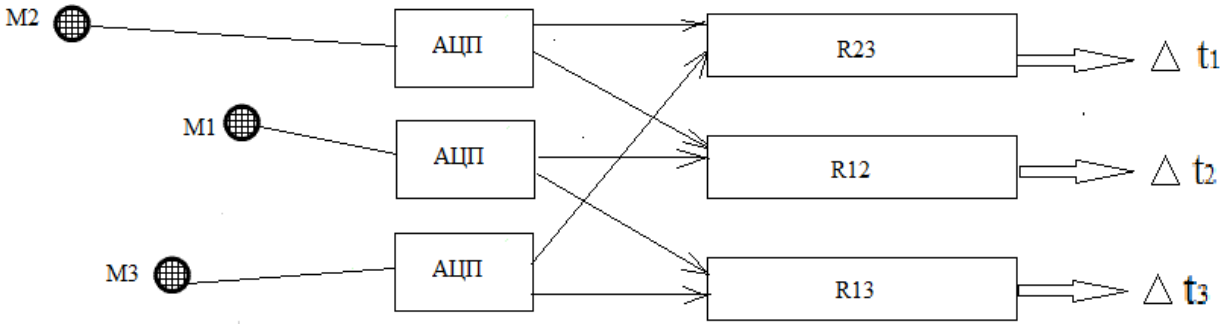


Рис. 5. Структура кореляційної системи опрацювання АС при хаотичному просторовому розташуванні ДАС і ПАС

1.2 Структура БЦК при розмежованому просторовому розташуванні ДАС і ПАС

В окремому випадку існує розмежування розташування ДАС і ПАС, приклад якого показаний на рис. 6. При хаотичному просторовому розміщені ПАС за границю смуги розміщування число необхідних кореляторів як і в попередньому випадку рівне трьом.

Причому для надійної ідентифікації певного типу ДАС в обох випадках після АЦП необхідно розмістити керований узгоджений цифровий фільтр, що адаптований до певного ДАС, наприклад артилерії певного калібру, міномета, стрілецької зброї та ін. У цьому випадку структура кореляційної системи отримує вид, показаний на рис. 7.

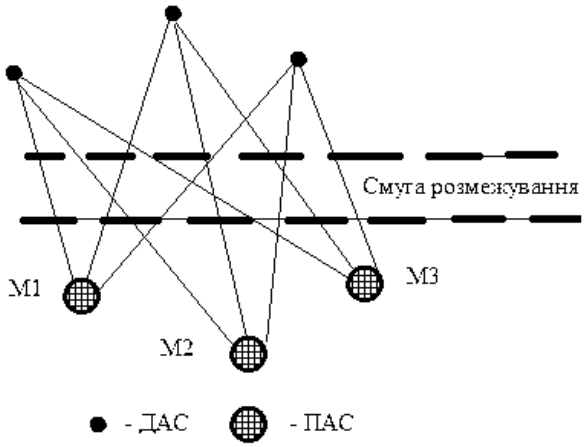


Рис. 6. Приклад розмежованого просторового розміщення ДАС І ПАС

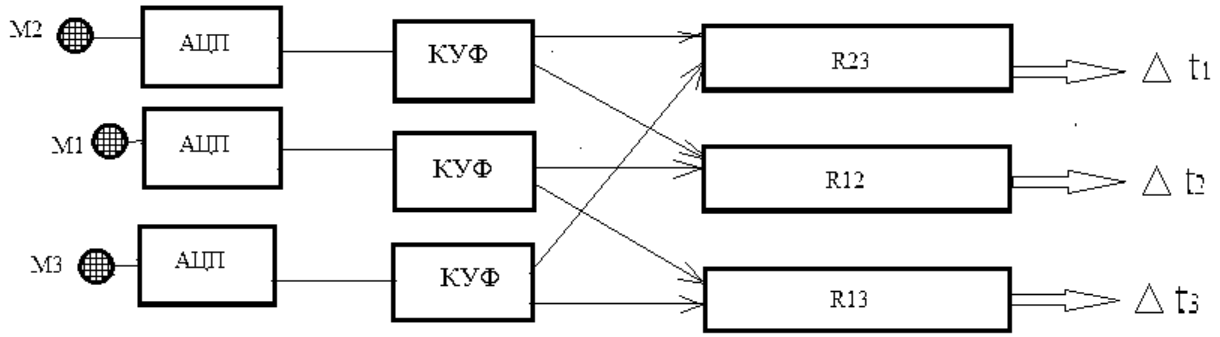


Рис. 7. Структура БЦК оснащеного КУФ

2 Оптимізація аналітики обчислення кореляційної функції БЦК

Програмно-апаратна реалізація аналітичного виразу визначення інтегральної оцінки кореляції згідно виразу (3) є недостатньо ефективним при створені засобів розпізнавання та ідентифікації просторового розміщення ДАС оскільки алгоритм обчислення мультиплікативної кореляції потребує центрування сигналів $x_i(t)$ та $x_j(t)$, а також виконання їх перемноження та накопичення з врахуванням знаків ±. Ці фактори суттєво ускладнюють структуру апаратної реалізації та знижують швидкодію кореляційних обчислень. Крім того, як показано в роботі [7], мультиплікативна корекція оцифрованих значень АС характеризується низькою інформативністю, оскільки за наявності нульових значень у центрованих кодах x_i та x_j з *n*-розрядної вибірки більше 30–40% добутків є нульовими, що значно знижує інформативність мультиплікативного корелятора по відношенню до, наприклад, структурного та модульного згідно з виразами (4) та (5) [8].

$$C_{xx}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - x_{i+j})^2 ; \quad (4)$$

$$G_{xx}(j) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}| x_i - x_{i+j} |. \quad (5)$$

Аналіз аналітичних виразів структурної (4) і модульної (5) кореляційних функцій показує, що остання характеризується значно простішим алгоритмом обчислення по відношенню до виразів (3) та (4), що визначає перспективність та ефективність застосування модульної кореляції для реалізації БЦК.

Висновки

Викладений аналіз існуючих систем розпізнавання та ідентифікації просторового розміщення ДАС і ПАС дозволяє встановити, що застосування мультиплікативної кореляції та хаотичного просторового розміщення ДАС та ПАС є недостатньо ефективним при проектуванні програмно-апаратних засобів спецпроцесорів на ПЛІС. Запропонована структура багатоканального цифрового корелятора з пріоритетним просторовим розміщення мікрофонів ПАС за смугою розмежованості з ДНС та застосування модульної функції кореляції для опрацювання акустичних сигналів дозволяє спростити алгоритм обчислень.

Література

1. Інновації для армії. Система для артилеристів ГІС "Арта" [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://life.pravda.com.ua/technology/2015/06/2/194846/

2. ГИС «Арта» – незаменимая помощь артиллеристу [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://arta.center/#ua.

3. Кривошеєв А.М. Основи артилерійської розвідки : навч. посібник / А.М. Кривошеєв, В.М. Петренко, А.І. Приходько. – Суми : Сумський державний університет, 2014. – 393 с.

4. Кочан Р.В. Концепція розподіленої автоматичної системи звукової артилерійської розвідки на базі стільникового зв'язку / Р.В. Кочан, Б.Р. Трембач, Р. Б. Трембач // Вісник Хмельницького національного університету. – 2016. – № 2 (235). – С. 101–104.

5. S. T. Birchfield and D. K. Gillmor. Acoustic Localization by Accumulated Correlation. Original. URL: http://www.ces.clemson.edu/~stb/research/acousticloc/

6. S. T. Birchfield. A Unifying Framework for Acoustic Localization, Proceedings of the 12th European Signal Processing Conference (EUSIPCO). – Vienna, Austria, 2004.

7. Албанський І.Б. Спецпроцесори кореляційної обробки сигналів / І.Б. Албанський, Т.О. Заведюк // Питання оптимізації обчислень (ПОО-XXXV) : міжнар. симпозіум : праці. – К., 2009. – Т. 1. – С. 8–13.

8. Николайчук Я.М. Теорія джерел інформації : монографія / Я.М. Николайчук. – Тернопіль : ТНЕУ, 2008. – 536 с.

Рецензія/Peer review : 13.1.2017 р. Надрукована/Printed :6.2.2017 р.
Рецензент: д.т.н., доц. Яцьків В.В.

УДК 004.7

О.А. МЯСІЩЕВ, О.О. МАРТИНЮК, Н.М. ГІНЕВСЬКА
Хмельницький національний університет

МЕТОД ЗАХИЩЕНОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ НА ЕТАПАХ ПРОЕКТУВАННЯ І ЕКСПЛУАТАЦІЇ

У статті розглядається метод захищеності комп'ютерних мереж на основі побудови дерева атак на етапах проектування і експлуатації. Детально описано постановку завдання дослідження та методику аналізу захищеності комп'ютерних мереж.

Ключові слова: система аналізу захисту, СУБД, ПЗ, комп'ютерна мережа, ОС, безпека.

O.A. MYASISCHEV, O.O. MARTYNYUK, N.M. GINEVSKA
Khmelnitsky national university, Ukraine

METHOD OF COMPUTER NETWORKS SECURITY DURING THE DESIGN AND OPERATION

In the article the method of protection of computer networks from attacks wood building during the design and operation. Described in detail the supply of research objectives and methods of security analysis of computer networks. The proposed method for analyzing the security of computer networks during the design and operation can detect vulnerabilities used software and hardware, violation of security policy "bottlenecks" in the security of a computer network to assist in planning and implementing information security during the design and operation computer networks. Also allows selecting used to justify (or planned for use) of information security and assess the effectiveness of various information security, to compare different versions of their use. The results of evaluation of the effectiveness of methods of security analysis of computer networks during the design and operation showed meet the requirements that were presented.

Keywords: protection system analysis, database, software, computer network, operating system security.

Вступ. На змістовному рівні наукове завдання даного дослідження можна сформулювати таким чином: розробити методику аналізу захищеності комп'ютерних мереж на етапах проектування і експлуатації, що базується на побудові дерева атак і розрахунку безлічі показників, що характеризують рівень захищеності комп'ютерної мережі в цілому і окремих її компонентів. Реалізація цієї методики системами аналізу захищеності повинна дозволяти не лише оцінювати рівень захищеності мережі, але і досягати його необхідного значення шляхом зміни конфігурації аналізованої мережі і політики безпеки, що реалізовується в ній [1].

Для реалізації аналізу захищеності комп'ютерних мереж на етапах проектування і експлуатації необхідно розробити моделі комп'ютерних атак і порушника, аналізованої комп'ютерної мережі, побудови дерева атак і оцінки рівня захищеності [3].

Постановка завдання дослідження. В ході постановки завдання дослідження скористаємося представленням системи аналізу захищеності (рис. 1).

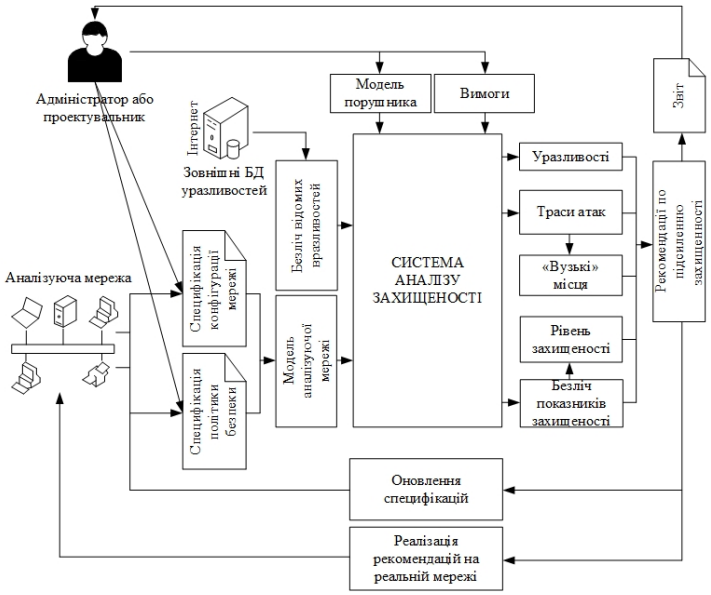


Рис. 1. Представлення системи аналізу захищеності

Система аналізу захисту (САЗ) повинна реалізовувати аналіз захищеності комп'ютерних мереж на етапі проектування і експлуатації. Для задоволення цієї вимоги передбачається використати підхід, при якому аналізується модель комп'ютерної мережі. Ця модель будується на базі специфікацій, що описують конфігурацію мережі (топологію, склад програмного забезпечення і апаратного забезпечення) і політику безпеки, що реалізовується в ній. Специфікації описуються на спеціалізованих мовах, ґрунтованих на XML.

На етапі проектування комп'ютерної мережі специфікації формуються проектувальником, на етапі експлуатації — в автоматичному режимі за допомогою програмних агентів, що функціонують на хостах [2].

Під час роботи САЗ повинна формувати сценарії (траси) комп'ютерних атак, враховувати модель порушника(первинне положення, рівень знань і умінь, первинні знання про аналізовану мережу), робити розрахунок безлічі показників, що характеризують захищеність комп'ютерної мережі в цілому і її окремих компонентів, враховувати топологію аналізованої мережі, склад програмного і апаратного забезпечення, політику безпеки, що реалізовується. Результатами роботи САЗ являються безліч виявлених вразливостей, траси атак, «вузькі» місця в захищеності комп'ютерної мережі (найбільш критичні компоненти комп'ютерної мережі, вірогідність атаки яких найвища), безліч показників захищеності, рекомендації по підвищенню рівня захищеності аналізованої мережі. Отримані результати гарантують вироблення обґрунтованих рекомендацій по усуненню виявлених «вузьких» місць і посиленню захищеності комп'ютерної мережі в цілому.

На змістовному рівні наукове завдання даного дослідження можна сформулювати таким чином: розробити методику аналізу захищеності комп'ютерних мереж на етапах проектування і експлуатації, що базується на побудові дерева атак і розрахунку безлічі показників, що характеризують рівень захищеності комп'ютерної мережі в цілому і окремих її компонентів [3]. Реалізація цієї методики системами аналізу захищеності повинна дозволяти не лише оцінювати рівень захищеності мережі, але і досягати його необхідного значення шляхом зміни конфігурації аналізованої мережі і політики безпеки, що реалізовується в ній.

Для реалізації аналізу захищеності комп'ютерних мереж на етапах проектування і експлуатації необхідно розробити моделі комп'ютерних атак і порушника, аналізованої комп'ютерної мережі, побудови дерева атак і оцінки рівня захищеності [4].

Методика аналізу захищеності комп'ютерних мереж. Пропонована методика аналізу захищеності ґрунтується на обліку програмно-технічної складової аналізу захищеності і не використовує активні засоби тестування (передбачається використання імітації дій порушника, спрямованих на модель аналізованої мережі). Основними етапами пропонованої методики аналізу захищеності комп'ютерних мереж на етапах проектування і експлуатації є:

1. Підготовчий етап. Цей етап реалізується проектувальником мережі або її системним адміністратором вручну або за допомогою різних автоматизованих засобів. Результатами цього етапу є дані, що обробляються за запропонованою методикою аналізу захищеності. Підготовчий етап складається з наступних основних кроків:

a) визначення ресурсів аналізованої мережі (хостів, ОС, СУБД, додатків і тому подібне), їх рівнів критичності і конфіденційності;

b) визначення використовуваних(чи планованих до використання) засобів забезпечення інформаційної безпеки (міжмережеві екрани, персональні засоби фільтрації мережевого трафіку, антивірусне програмне забезпечення і тому подібне);

c) створення на основі даних, отриманих на перших двох кроках, специфікації комп'ютерної мережі, вираженої на спеціалізованій мові System Description Language (SDL);

d) визначення політики безпеки і її представлення на спеціалізованій мові Security Policy Language (SPL).

2. Етап ініціалізації. Цей етап реалізується проектувальником комп'ютерної мережі або її системним адміністратором. Етап ініціалізації складається з наступних основних кроків:

a) вибір специфікації аналізованої мережі і специфікації політики безпеки (зовнішнє представлення моделі комп'ютерній мережі);

b) формування на основі заданих специфікацій комп'ютерної мережі і політики безпеки внутрішнього представлення моделі аналізованій мережі, що реалізовується;

c) формування завдання на оцінку захищеності;

d) формування вимог на захищеність.

3. Етап побудови дерева атак і його аналізу. Цей етап виконується автоматично програмними засобами аналізу захищеності.

4. Етап аналізу отриманих результатів і виконання рекомендацій, спрямованих на підвищення рівня захищеності комп'ютерної мережі. Результати аналізу захищеності відображаються проектувальникові або системному адміністраторові мережі. Якщо результати не задовольняють проектувальника (адміністратора), він може внести зміни в специфікації мережі і політики безпеки, керуючись сформованими системою аналізу захищеності рекомендаціями, і зробити повторний аналіз.

Методика аналізу захищеності комп'ютерних мереж для етапів проектування і експлуатації має відмінність у формуванні специфікацій аналізованої мережі і політики безпеки, що реалізовується в ній: на етапі проектування цей процес здійснюється проектувальником вручну, на етапі експлуатації специфікації можуть бути створені в автоматичному режимі з використанням різних засобів збору інформації про мережу (наприклад, за допомогою хостових програмних агентів) [5].

Усі операції, що проводяться у рамках методики, розділені на дві групи (рис. 2): (1) дії проектувальника (системного адміністратора) і (2) автоматичні процедури, що виконуються системою аналізу захищеності.

Множина дій проектувальника (адміністратора) складається з наступних елементів:

1) вибір файлу із специфікацією комп'ютерної мережі;
2) вибір файлу із специфікацією безпеки, що реалізовується в мережі політики;
3) завдання первинного положення порушника;
4) завдання первинних знань порушника про мережу;
5) завдання множини аналізованих об'єктів;
6) формування завдання на оцінку рівня захищеності;
7) формування вимог на захищеність мережі;
8) аналіз результатів;
9) ручна модифікація (коригування) специфікацій комп'ютерної мережі і політики безпеки, що реалізовується в ній, згідно з представленими системою аналізу захищеності рекомендаціям по збільшенню загального рівня захищеності мережі у разі отримання незадовільного результату;
10) збереження (запис у файли) остаточних специфікацій мережі і політики безпеки у разі отримання задовільного результату.

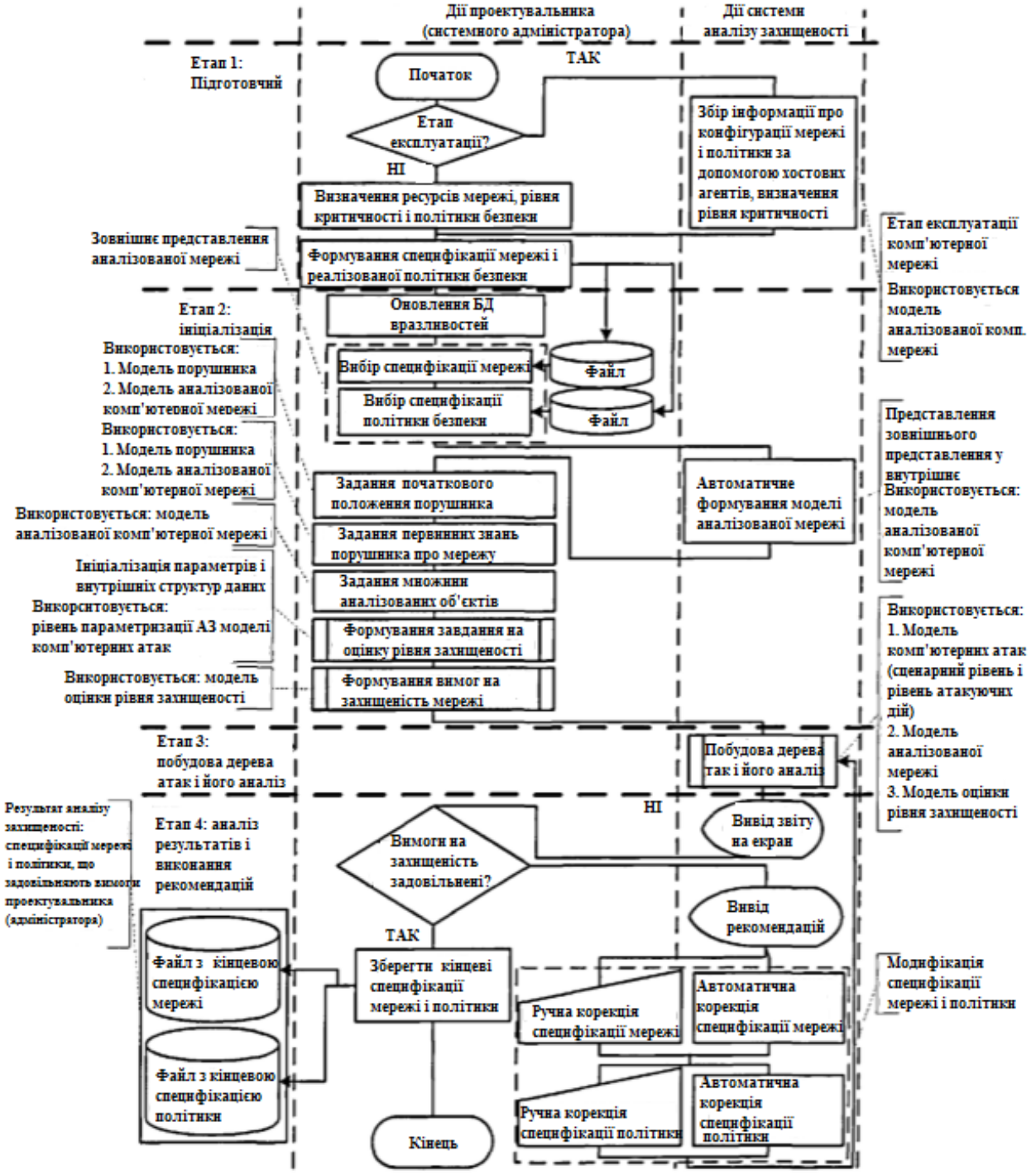


Рис. 2. Методика аналізу захищеності комп'ютерних мереж на етапах проектування і експлуатації

Множина процедур, що виконуються системою аналізу захищеності, складається з наступних елементів: (1) автоматичне формування моделі аналізованої комп'ютерної мережі (формування на базі заданих специфікацій конфігурації мережі і політики безпеки внутрішньої моделі мережі); (2) побудова дерева атак і його аналіз; (3) виведення звіту аналізу захищеності на екран; (4) автоматична модифікація (коригування) специфікацій мережі і політики безпеки на основі сформованих рекомендацій у разі отримання незадовільного результату [5].

Висновки. Пропонована методика аналізу захищеності комп'ютерних мереж на етапах проектування і експлуатації дозволяє виявити уразливості використовуваного програмного і апаратного забезпечення, порушення політики безпеки, «вузькі місця» в захищеності комп'ютерної мережі, надати допомогу в плануванні і здійсненні інформаційного захисту на етапах проектування і експлуатації комп'ютерних мереж. Також дозволяє обґрунтувати вибирання використовуваних (чи планованих до використання) засобів захисту інформації і оцінити ефективність різних засобів захисту інформації, порівняти різні варіанти їх використання.

Література

1. Введение в компьютерные сети [Электронный ресурс] / Электрон. текстовые дан. и граф. дан. — [Б. м.: б. и.]. — Режим доступа : http://www.kgtu.runnet.ru/E-Library/C_Networks/intro.htm. – (по состоянию на 01.01.2006).

2. Кононов А. Страхование нового века. Как повысить безопасность информационной инфраструктуры / А. Кононов // Connect. — М., 2001. — № 12.

3. Котенко И. В. Интеллектуальная система анализа защищенности компьютерных сетей на различных этапах жизненного цикла / И. В. Котенко, М. В. Степашкин // Труды Международных научно-технических конференций «Интеллектуальные системы (AIS—05)» и «Интеллектуальные САПР (CAD-2005)». — М. : Физматлит, 2005. — Т. 1. — С. 231–237.

4. Механизм работы алгоритма анализа рисков [Электронный ресурс] / Электрон. текстовые дан. и граф. дан. — [Б. м. : б. и.]. — Режим доступа : http://www.usk.ru/articles/905.html. – (по состоянию на 01.01.2006).

5. СУБД MySQL [Электронный ресурс] / Электрон. текстовые дан. и граф. дан. — [Б. м.: б. и.]. — Режим доступа : http://mysql.org. – (по состоянию на 01.03.2007).

Рецензія/Peer review : 27.1.2017 р. Надрукована/Printed :7.2.2017 р.
Статтю представляє: д.т.н., проф. Мясіщев О.А.

УДК 004.491.2

О.С. САВЕНКО
Хмельницький національний університет

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ ПОШИРЕННЯ ВІРУСНИХ КОДІВ В ГЕТЕРОГЕННИХ МЕРЕЖАХ

Розроблено програмне забезпечення інформаційної технології моделювання поширення вірусних кодів в гетерогенних мережах для прогнозування часу і напрямку розповсюдження вірусних програм з врахуванням топології мережі та системного програмного забезпечення, встановленого на комп'ютерних системах. Застосування розробленого програмного забезпечення надає можливість передбачати ймовірність проникнення вірусів в комп'ютерні системи мережі із врахуванням рівня захищеності комп'ютерних систем та часу їх експлуатації.

Ключові слова: гетерогенна комп'ютерна мережа, комп'ютерний вірус, модель поширення вірусів.

O.S. SAVENKO
Khmelnytsky National University

THE SOFTWARE OF INFORMATION TECHNOLOGY FOR SIMULATION OF VIRAL CODES PROPAGATION IN THE HETEROGENEOUS NETWORKS

The software of information technology for simulation of viral codes propagation in the heterogeneous networks was developed. It allows to predict the time and the direction of spread of malwares and take in to account the network topology and system software. The developed software is based on the using of the most common models of the spread of viruses in the networks such as SI, SIS, SIR, PSIDR, SEIQR and Markov chains. Usage of the developed software makes it possible to predict the possibility of viruses penetrating in the network computer system with accounting the level of security of computer systems and the time of their operation.

Keywords: heterogeneous computer network, computer virus, model of viruses propagation.

Вступ

Прискорений розвиток інформаційних та мережних технологій створює сприятливі передумови для кіберзлочинності. Одним із широко застосовуваних засобів для здійснення кіберзлочинів в мережі Інтернет є комп'ютерні віруси, здатні створювати власні копії та поширюватись по каналам зв'язку з метою здійснення деструктивних дій: зниження продуктивності або пошкодження комп'ютерних систем (КС) та мережних пристроїв, перехоплення або пошкодження інформації на комп'ютерних системах тощо. Зростаючі масштаби кіберзлочинності підтверджують необхідність створення нових систем інформаційної безпеки.

Постановка задачі

З метою підвищення надійності роботи та інформаційної безпеки комп'ютерних мереж, що перебувають в експлуатації, а також на етапі їх проектування, важливим питанням є можливість прогнозування напрямків поширення вірусних кодів в комп'ютерних мережах. Тому, постає задача розробки програмного забезпечення (ПЗ) інформаційної технології моделювання поширення вірусних кодів в гетерогенних мережах, що надасть можливість враховувати характеристики окремих комп'ютерних систем мережі та топологію мережі.

Моделі розповсюдження вірусів в гетерогенних комп'ютерних мережах

Найбільш поширеними моделями розповсюдження вірусів в гетерогенних комп'ютерних мережах є наступні: SI (Suspected-Infected), SIS (Suspected-Infected-Suspected), SIR (Suspected-Infected-Recovered), PSIDR (Progressive Suspected-Infected-Detected-Recovered), SEIQR (Suspected-Exposed-Infected-Quarantined-Recovered) [1-10].

Модель SI не враховує топології мережі та може бути подана узагальненим виразом: $N = S(t) + I(t)$, де N – загальна кількість елементів в мережі; $S(t)$ – кількість вразливих об'єктів; $I(t)$ – кількість інфікованих об'єктів. За моделлю SI, поширення інфекції в мережі не може бути припинене, оскільки вона не враховує роботу антивірусного ПЗ. Внесення функції зв'язності з метою врахування топологічних характеристик мережі трансформує модель SI в SIT (SI-Topology).

Відмінністю моделі SIS є врахування можливості повернення вузла комп'ютерної мережі із інфікованого у вразливий стан, що уповільнює поширення вірусної інфекції в мережі.

Структура комп'ютерної мережі на основі моделі SIR в узагальненому вигляді може бути представлена наступним чином: $N = S(t) + I(t) + R(t)$, де $R(t)$ – кількість вилікованих об'єктів, які володіють імунітетом. За моделлю SIR вірусна епідемія можлива за умови, якщо частота інфікування більша за частоту виліковування. Врахування фактору лікування інфікованих вузлів дозволяє підвищити точність моделювання за наявності антивірусного ПЗ в мережі. Проте ця модель не враховує часових витрат, необхідних для ідентифікації та локалізації шкідливого програмного забезпечення (ШПЗ) з метою подальшого лікування вузла. Внесення функції зв'язності з метою врахування топологічних характеристик

мережі трансформує модель SIR в SIRT (SIR-Topology).

Модель PSIDR в узагальненому вигляді може бути представлена наступним виразом: $N = S(t) + I(t) + D(t) + R(t)$, де $S(t)$ – кількість не інфікованих об'єктів; $I(t)$ – кількість інфікованих об'єктів; $R(t)$ – кількість об'єктів, що володіють імунітетом; $D(t)$ – кількість знайдених інфікованих об'єктів. В моделі PSIDR виділяються два етапи, що уможливлюють незалежність аналізу процесів інфікування та лікування: інфікування об'єктів (ідентичний моделі SI) та лікування (за якого вилікувані вузли не інфікуються повторно). Врахування часової затримки між початками етапів інфікування та лікування, а також часових витрат на ідентифікацію, локалізацію та лікування інфікованих об'єктів дозволяє усунути відповідний недолік моделі SIRT та робить модель PSIDR найбільш придатною для моделювання поширення вірусів мережею. Внесення функції зв'язності з метою врахування топологічних характеристик мережі трансформує модель PSIDR в PSIDRT (PSIDR-Topology).

Відмінністю моделі SEIQR є введення латентного стану, за якого вузол інфікований, але ще не здатен інфікувати інші вузли, і з якого він може перейти до інфікованого стану.

Згідно моделі на основі ланцюгів Маркова, загальний стан мережі в момент часу *t* є сукупністю станів всіх вузлів мережі, та може бути описаний вектором з *N* елементів, де значення *i*-го елемента відповідає стану *i*-го вузла: *I* (infected, якщо вузол інфікований), і *S* (suspected, якщо вузол не інфікований). Стан мережі в наступний момент часу залежить від поточного стану мережі і не залежить від попередніх станів. Перевагою цієї моделі є досить потужне математичне забезпечення, яке дозволяє описати ймовірнісні процеси, що відбуваються в комп'ютерних мережах під час поширення вірусних кодів, і тому надає широкі можливості для аналізу та прогнозування вірусних епідемій в мережах. Основними недоліками моделі на основі ланцюгів Маркова є потреба у значних обчислювальних ресурсах, а також невизначеність певної частини ймовірностей переходів системи.

Програмне забезпечення ІТ моделювання поширення вірусних кодів в гетерогенних мережах

З метою прогнозування поширення вірусів в мережах розроблено інформаційну технологію моделювання поширення вірусних кодів в гетерогенних мережах, яка ґрунтується на використанні вищеописаних моделей поширення вірусів в мережі та ланцюгів Маркова [1–10]. Інформаційна технологія реалізована у вигляді програмного забезпечення, що надає можливість моделювати поширення атак на КС мережі, а саме: прогнозувати напрямки поширення атак; визначати оптимальний шлях від інфікованої КС до КС, на яку спрямовано загрозу; визначати часові характеристики поширення ШПЗ мережею. ПЗ надає можливість здійснювати налаштування характеристик комп'ютерної мережі, зокрема її топології. Процес моделювання відбувається дискретно з покроковим відображенням результатів, допоки не буде досягнуто мети, або до завершення заданої кількості кроків.

UML діаграма варіантів використання розробленої ІТ надана на рис. 1.

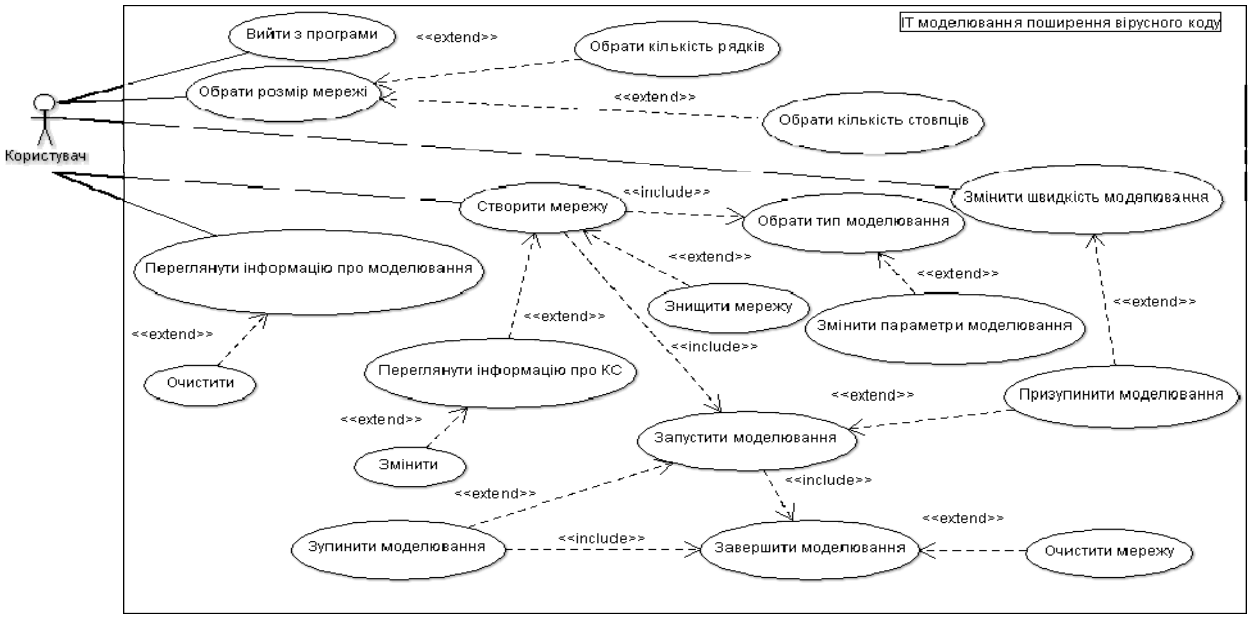


Рис. 1. Діаграма варіантів використання ІТ моделювання поширення вірусних кодів в гетерогенних мережах

Функціонування комп'ютерної мережі розміром n×m моделюється за допомогою взаємодії множини спеціальних класів. Об'єкт класу Comp характеризується властивостями, що містять параметри КС мережі: операційна система (OS), антивірусне програмне забезпечення (AntiVir), фаєрвол (Firewall), вразливості (Vulnerability). Здатність комп'ютерної системи бути інфікованою іншими КС мережі визначається врахуванням її зв'язків з іншими вузлами мережі (у вигляді чотирьох булевих змінних) та прив'язкою до відповідних масивів параметрів комп'ютерних систем мережі: OS_list, Firewall_list, Antivirus_list, Software_list.

Клас Comp пов'язаний з ієрархією класів, що представлена поліморфізмом абстрактного класу Virus.

За опис розміру та структури мережі відповідає клас PC_Matrix. На початку моделювання створюється масив V_Matrix розміром n×m, який заповнюється об'єктами одного з наслідуваних класів відповідно до обраної моделі поширення вірусів: SI , SIS, SIR, PSIDR, SEIQR.

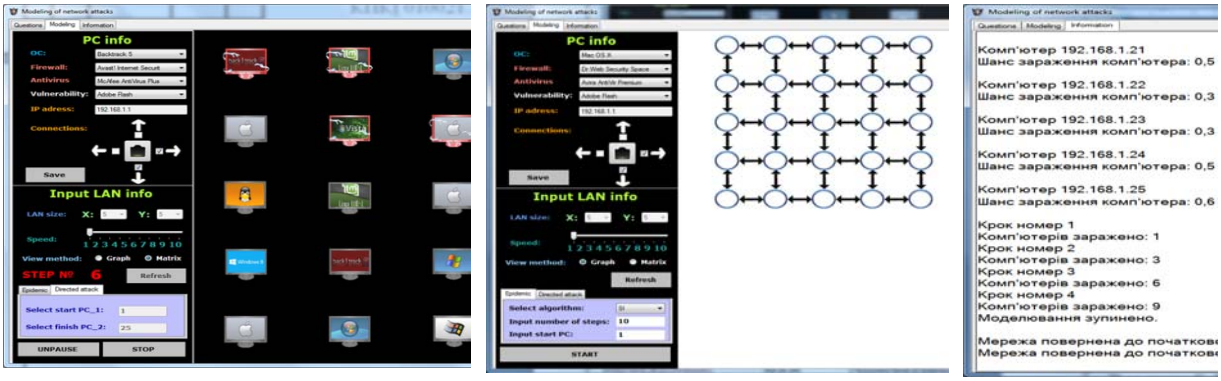
Візуалізація модельованої мережі здійснюється у двох представленнях – у вигляді матриці та графа (рис. 2, а, б) за допомогою двовимірних динамічних масивів об'єктів класу PictureBox та класу ImageList, в яких зберігаються необхідні зображення для відтворення зміни станів масивів PC_Matrix та V_Matrix.

При запуску програмного забезпечення розробленої ІТ користувач має можливість встановити початкові дані на панелі управління моделюванням, а саме: обрати метод моделювання, задати характеристики КС та розмір модельованої мережі. Для відображення інформації стосовно вузла мережі з метою її перегляду або зміни потрібно обрати необхідний елемент мережі на її візуальному представленні. Інформація стосовно обраного вузла буде відображена у блоці PC Info. Зміна прапорців Connections дозволяє змінити мережні з'єднання між КС мережі. Кількість кроків моделювання та швидкість моделювання (від 200 до 2000 мс за 1 крок) також є опціональними параметрами та обираються користувачем.

Вкладка Epidemic (епідемія) надає можливість змоделювати неконтрольоване вільне поширення ШПЗ за обраним алгоритмом з врахуванням номера КС, яка є початковим джерелом поширення інфекції. В режимі «епідемія» від початкової КС, яка позначається інфікованою, для кожної КС мережі перевіряється здатність інфікувати з'єднані з нею КС. Для алгоритму SEIQR віруси в інкубаційній стадії здатні переходити в активну стадію і вже на наступному кроці можуть інфікувати інші КС. В залежності від алгоритму, спроба інфікування може бути успішною за виконання наступних умов: (1) є зв'язок з іншою КС; (2) КС не є інфікованою; (3) КС не є імунною від вірусу; (4) спроба інфікування закінчилась успішно. Для інфікованої КС здійснюється спроба виявити вірус або вилікуватись. Ймовірність інфікування КС визначається з врахуванням встановленого на ній програмного забезпечення та її зв'язків з іншими КС, які визначають ймовірності вразливостей.

Вкладка Directed attack (напрямлена атака) слугує для пошуку найкоротшого шляху поширення ШПЗ між заданими КС мережі. Пошук оптимального шляху відбувається за алгоритмом рекурсивного пошуку. При моделюванні режиму Directed attack масив V_Matrix заповнюється об'єктами наслідуваного класу SI, в якому реалізовано алгоритми здійснення та пошуку оптимального шляху атаки від обраної стартової КС до цільової КС мережі. Реалізація цього алгоритму використовує клас Attack_trace, властивості якого містять послідовність ідентифікаторів комп'ютерних систем мережі та поле, що зберігає добутки ймовірностей їх інфікування. Для пошуку оптимального шляху здійснюється рекурсивний виклик функції від стартової КС, яка позначається інфікованою, у всіх напрямках по мережі до цільової КС зі збереженням ідентифікаторів КС у списку. Подальша побудова шляху можлива, якщо існує зв'язок з іншою КС, і її ідентифікатор відсутній у сформованому списку. Далі перевіряється умова, чи знайдена КС здатна інфікувати наступну, допоки не буде інфіковано цільову КС. Умовою виходу з рекурсії є знаходження шуканої КС або відсутність шляху далі. В останньому випадку шлях відкидається. Після проходження всіх можливих напрямків обирається найбільш успішний шлях, який є найкоротшим.

Стан процесу моделювання відображається на вкладці Information (рис. 2, в)



а) **б)** **в)**

Рис. 2. а) Представлення мережі у вигляді матриці; б) представлення мережі у вигляді графу; в) інформація про результати моделювання

Інтерфейс програмного забезпечення розробленої ІТ дозволяє змінювати параметри об'єктів класу Comp до початку або під час моделювання, що призводить до зміни параметрів відповідного об'єкту класу Virus.

Візуалізація станів КС мережі під час моделювання представлена різнокольоровими позначеннями. В залежності від обраної моделі поширення вірусів, стани КС мережі можуть бути наступними: (1) вразлива до інфікування КС; (2) інфікована КС; (3) імунна до інфікування КС; (4) інфікована КС, на якій виявлено вірус (модель PSIDR); (5) інфікована КС, на якій вірус перебуває в латентній стадії (модель SEIQR).

Експерименти

Для проведення експериментів було обрано множину найбільш поширеного програмного забезпечення (операційні системи, фаєрволи, антивірусне ПЗ) та враховано властиві йому вразливості.

З метою демонстрації роботи розробленого ПЗ інформаційної технології моделювання поширення вірусних кодів в гетерогенних мережах було проведено моделювання із застосуванням різних алгоритмів для мережі 10×10 КС (табл. 1, рис. 3).

Таблиця 1

Результати моделювання для мережі 10×10 КС

Крок	Номер досліду					Середня кількість інфікованих КС
	1	2	3	4	5	
Модель SI						
5	10	8	7	10	10	9
10	40	38	33	32	32	35
15	72	73	74	71	64	70,8
Модель SIS						
5	4	1	10	7	6	5,6
10	19	10	27	25	17	19,6
15	48	29	39	43	47	41,2
Модель SIR						
5	3	2	4	6	4	3,8
10	10	9	10	10	6	9
15	16	10	7	13	3	9,8
Модель PSIDR						
5	8	10	10	5	8	8,2
10	20	20	21	9	15	17
15	31	33	29	21	30	28,8
Модель SEIQR						
5	4	4	2	3	6	3,8
10	5	4	2	3	4	3,6
15	4	1	1	3	2	2,2

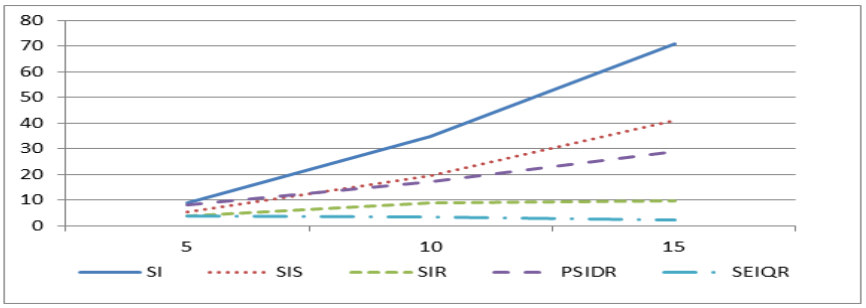


Рис. 3. Залежність кількості інфікованих КС мережі від кількості кроків для різних моделей

Як видно з одержаних результатів моделювання, при використанні моделі SI поширення вірусного коду відбувається без перешкод. При використанні моделі SIS КС мережі можуть бути вилікувані, проте це не впливає на їх захист від інфікування у майбутньому. Для обох моделей через певний проміжок часу мережа скінченних розмірів буде повністю інфікована. Моделі PSIDR та SIR. враховують здатність набування імунітету стосовно вірусу, проте для моделі PSIDR для цього потрібно вдвічі більше часу. Для мережі скінченного розміру через певний проміжок часу всі КС стануть імунними. Модель SEIQR показала найменшу швидкість поширення вірусів, що пов'язане з тим, що в латентному стані вірус не має змоги інфікувати інші КС, хоча і не може бути знищеним. За цією моделлю вірус є вразливим та може бути знищеним в проміжку часу між переходом в активну стадію та початком інфікування сусідніх КС, після чого КС стає імунною.

Результати пошуку оптимального шляху від КС з номером 1 до КС з номером 25 в мережі 5x5 подано на рис. 4, де інфіковані КС позначені колами. Пошук оптимального шляху відбувся за 12 кроків, тобто 3 спроби інфікування були неуспішними.

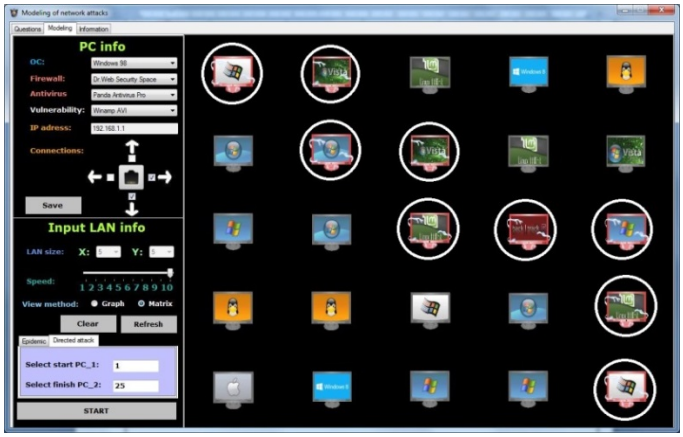


Рис. 4. Візуалізація результатів пошуку оптимального шляху

Висновки

Розроблено програмне забезпечення інформаційної технології моделювання поширення вірусних кодів в гетерогенних мережах. Наведено результати застосування розробленого програмного забезпечення, що надає можливість прогнозувати час і напрямок поширення вірусних програм в мережі з врахуванням топології мережі та системного програмного забезпечення, встановленого на КС мережі. Застосування розробленого ПЗ дозволить вживати заходів стосовно підвищення надійності роботи та інформаційної безпеки комп'ютерних мереж, що перебувають в експлуатації, а також на етапі їх проектування, та здійснювати оцінку ефективності застосування таких заходів.

Література

1. Белим С.В. Нахождение времени заражения локальной сети вирусами на основе сети формальных нейронов / С.В. Белим, С.Ю. Белим //Математические структуры и моделирование. – 2006. – № 1 (16). – С. 84–87.

2. Воронцов В.В. Аналитические модели распространения сетевых червей / В.В. Воронцов, И.В. Котенко // Труды СПИИРАН. – СПб : Наука. – 2007. – № 4. – С. 208–224.

3. Гусаров А.Н. Описание динамики распространения компьютерных угроз в информационно-вычислительных сетях с запаздыванием действия антивирусов / А.Н. Гусаров, Д.О. Жуков, А.В. Косарева // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». – 2010. – № 1. – С. 112–120.

4. Далингер Я.М. Математические модели распространения вирусов в компьютерных сетях различной структуры / Я.М. Далингер, Д.В. Бабанин, С.М. Бурков // Моделирование систем. – 2011. – № 4 (30). – С. 3–11.

5. Новиков С.В. Базовые принципы компьютерных вирусов. Математическая модель распространения вирусных эпидемий / С.В. Новиков // Труды научно-практической конференции «Информационные технологии в науке и образовании» (21-22 марта 2005 года). – Харьков. – С. 102–104.

6. Новиков С.В. Эпидемиологические модели прогнозирования вирусных атак / С.В. Новиков // X международная научно-практическая конференция «Теория и технологии программирования и защиты информации». Санкт-Петербург, 18 мая 2006. – С. 35–36.

7. Семенов С.Г. Математическая модель распространения компьютерных вирусов в гетерогенных компьютерных сетях автоматизированных систем управления технологическим процессом / С.Г. Семенов, В.В. Давыдов // Вестник Национального технического университета Харьковский политехнический институт. Серия: Информатика и моделирование. – 2012. – № 38. – С. 163–171.

8. Семыкина Н.А. Математическая модель защиты компьютерной сети от вируса с последствием / Н.А. Семыкина // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9. – С. 1982–1987.

9. Семыкина Н.А. Оптимальное управление защитой компьютерной сети от вредоносного кода / Н.А. Семыкина // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 7-3. – С. 562–567.

10. Jeffrey O. Kephart, Steve R. White. Directed-Graph Epidemiological Models of Computer Viruses // IEEE Symposium on Security and Privacy. – 1991. – P. 343.

Рецензія/Peer review : 26.1.2017 р. Надрукована/Printed :6.2.2017 р.
Рецензент: д.т.н., доц. Мартинюк В.В.

УДК 37.0.004(075.8)

Т.К. СКРИПНИК, С.С. ПЕТРОВСЬКИЙ, В.І. ДЕМЕШКО
Хмельницький національний університет

ВИКОРИСТАННЯ БІЗНЕС-СИМУЛЯЦІЙ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ ДІЛОВИХ ІГОР У НАВЧАННІ

В статті проаналізовано сучасні комп'ютерно ділові ігри. Досліджено їх ефективність у навчальному процесі, проведено пошук технології підвищення ефективності комп'ютерного моделювання та перспективи розвитку бізнес-симуляцій у майбутньому.

Ключові слова: бізнес-симуляція, комп'ютерна ділова гра, асесмент-центр, ефективне навчання.

T.K. SKRYPNYK, S.S. PETROVSKIY, V.I. DEMESHKO
Khmelnytsky National University

USING OF BUSINESS SIMULATIONS AND COMPUTER BUSINESS GAMES IN TEACHING

The article analyzes the current computer business games and provides insights of how to increase the efficiency of teaching students using computer business games and computer simulations. In this article the comparative analysis of the reality representation by a computer game/a computer simulation and other media has been done in the context of practical application to teaching; the didactic potential of a computer game/ a computer simulation for Business teaching has been defined. Studied prospects of business simulations in the future.

Keywords: business simulation, computer business game, assessment canter, effective teaching.

Постановка проблеми

З метою інтенсифікації навчального процесу, підвищення рівня сформованості професійної компетентності студентів, майбутніх спеціалістів сьогодні науковці ведуть активний пошук засобів, що підвищують ефективність навчання. Для розв'язання цієї цієї проблеми було проведено дослідження на тему використання комп'ютерно ділових ігор у навчальному процесі, та пошуку технології підвищення ефективності бізнес-симуляцій. Існуючий сьогодні спектр ділових ігор постійно зазнає розвитку, змін, нововведень, і також вимагає дослідження.

Активне й ефективне впровадження інформаційних технологій в освіту є важливим чинником створення системи освіти, що відповідає вимогам сучасного інформаційного суспільства. Сьогодні існує необхідність більш активної інтеграції інформаційних і освітніх технологій. Інформатизація освіти прагне до повного охоплення навчального процесу, тобто, мова йде не тільки про пояснення нового навчального матеріалу, закріплення та контроль знань. Пояснення нового матеріалу відбувається за допомогою візуалізації процесів через презентації, відеолекції, анімації і т.п. Для закріплення навчального матеріалу застосовуються комп'ютерні тренажери, симулятори, електронні підручники. Для контролю знань часто використовується комп'ютерне тестування. Але у виконанні різного роду вправ збереження алгоритмічності дій впливає негативно на формування творчих поглядів, спонтанність висновків і дій в непередбачуваних ситуаціях. У цьому випадку пригодницька, стратегічна комп'ютерна гра дає можливість побачити результати різних ходів, дій. Для навчальних цілей необхідно створювати комп'ютерні навчально-ділові ігри, що охоплюють різні види творчої діяльності з різних дисциплін, спеціальностей. Для комп'ютерних навчально-ділових ігор характерна інтерактивність і творчий характер діяльності, мислення. Ці дві переваги можуть бути успішно використані у розвитку e-learning. Подальшою перспективою досліджень є створення власної комп'ютерної ділової гри.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Численні фундаментальні дослідження різноманітних аспектів використання комп'ютерної гри, комп'ютерної симуляції, систем штучного інтелекту в навчанні, які проводяться нині в галузі психології та педагогіки, свідчать про його високий дидактичний потенціал [1; 3; 5; 8; 9; 11]. Саме тому все більше дослідників приходять до висновків, що використання комп'ютерної гри, комп'ютерної симуляції, систем штучного інтелекту в навчанні може значно підвищити його ефективність і взагалі змінити підхід до його організації в контексті інформаційного суспільства[1; 4; 7; 10].

У західних наукових колах почали активно обговорювати розроблення так званого "fresh approach" (нового підходу),"Curriculum for excellence" (навчальної програми для досягнення найкращих результатів) як нової концепції організації навчання як у загальноосвітній, так і у вищій школі [2]. Одним із суттєвих складників цього підходу є побудова навчання на основі використання спеціально розроблених комп'ютерних навчальних ігор (digital gamebased learning), що пов'язане з результатами дослідження способів використання новим поколінням комп'ютерних технологій для навчання [1; 2; 6].

Між тим, як зазначається у спільному дослідженні групи британських учених Інституту Серійних Ігор Ковентрі та їх колег з Технологічного університету Тампере, присвяченому використанню педагогічного потенціалу серійних комп'ютерних навчальних ігор, науковий світ добре розуміє, що стоїть лише на початку процесу вироблення ефективних методів їх розроблення та використання в навчальному процесі [3].

В останніх публікаціях західноєвропейських учених з'явилася тенденція розглядати розвиток

технології в соціальному аспекті як культурне надбання суспільства. З'явилося розуміння того, що культура є технологічною, тобто спирається на технологію у своєму розвитку. Так, у своїх публікаціях бельгійський дослідник Jan Van Looy [1] доводить, що комп'ютерна гра, як спроба відображення дійсності, є мистецтвом та відрізняється від інших форм мистецтва не лише тим, що відтворює дійсність в інший спосіб, а й тим, що дозволяє людині пізнавати цю дійсність через безпосередню взаємодію із системою, яка представлена комп'ютерною грою чи комп'ютерною симуляцією.

У спільному дослідженні групи британських учених Інституту Серійних Ігор Ковентрі та їх колег з Технологічного університету Тампере, присвяченому використанню педагогічного потенціалу серійних навчальних комп'ютерних ігор, зазначається, що серійні ігри є важливою можливістю для суттєвого підвищення якості освіти завдяки їх здатності пропонувати реалістичні симуляції, які відображають події реального життя [3].

Учені Університету Савуа (Франція) вважають, що навчання на основі комп'ютерної гри / симуляції може суттєво змінити сам процес навчання. Розроблене ними навчальне ігрове середовище дозволяє викладачеві будь-якої дисципліни змоделювати процес навчання через комп'ютерну гру та побудувати його на основі співпраці [4].

Учені Технологічного Університету Сингапура також відзначають ефективність навчання, побудованого на основі комп'ютерної симуляції. У результаті проведеного експерименту, де порівнювалася ефективність навчання хімії на основі комп'ютерної симуляції "Legends of Alkhimia" з традиційним підходом, виявилося, що студенти, які навчалися за першим підходом оволоділи знаннями значно краще, ніж студенти другої групи [5]. Дослідники пов'язують це з технологією експериментального навчання, яка лягла в основу побудови гри, та, звичайно, і з самим ігровим навчальним середовищем

На думку дослідника Jan Van Looy [1], гра, зокрема комп'ютерна гра, надає можливість випробувати нові типи поведінки в умовах жорсткої конкуренції, побороти страх, опанувати нові підходи до розв'язання проблеми та оволодіти стратегіями, які можуть бути корисними для реального життя.

Постановка задачі

Метою статті є дослідження сучасних комп'ютерних ділових ігор та аналіз ефективності бізнес-симуляцій у навчальному процесі.

Виклад основних матеріалів дослідження

Визначення. Комп'ютерна ділова гра (КДІ) – це навчально-тренінгова комп'ютерна система, побудована на основі імітаційної моделі, яка описує господарський процес і інші наближені до реальності ситуації за певними правилами. КДІ дозволяє відпрацьовувати навички прийняття управлінських рішень та комплексного економічного аналізу відповідно до зміни ситуації. КДІ є окремим випадком ділової гри. Як типовий приклад КДІ можна привести відому онлайн бізнес-симуляцію Віртономіка [12].

Визначення. Бізнес-симуляція — інтерактивна модель економічної системи, яка за своїми внутрішніми умовами максимально наближена до відповідної реальної економічної одиниці: підрозділу чи усього підприємства, галузі, держави. Бізнес-симуляція має чітко сформовану освітню мету — вироблення учасниками практичних навичок та компетенцій. Це якісно відрізняє її від інших програмних продуктів, зокрема економічних ігор, які в більшості відносяться до сфери розваг.

Слід відмітити, що комплексність підходів, які поєднанні в концепції бізнес-симуляції, також дозволяють застосовувати в навчальному процесі елементи ігрового процесу, що при правильному балансі з навчальними задачами підвищують ефективність освітніх результатів. Саме це дозволяє виділити бізнес-симуляцію в окрему категорію.

Інтерактивний характер бізнес-симуляцій надає широкі можливості учасникам отримувати та розвивати свої первинні навики і компетенції з управління компанією: побудови стратегії, вирішення тактичних та операційних завдань — тобто навчитися робити все те, що можна засвоїти лише в практичній діяльності. Інтерактивний характер бізнес-симуляції носить ознаки гри .

У західному світі, військові ігри беруть початок від німецьких військово-тактичних навчань на карті в середині дев'ятнадцятого століття (Фаріа і Дікінсон) [13]. Фаріа і Дікінсон зазначають, що різні військові ігри застосовувалися в Японії ще до Другої світової війни, а англійці та американці використовували їх для перевірки бойової стратегії.

В 1930-х і 1940-х років почали використовувати військовий досвід моделювання для управління цивільними підприємствами. Деякі аспекти з еволюції бізнес-симуляцій (ділових ігор) можна віднести до 1955 року, коли з'явилась ділова гра відомої корпорації Rand Corporation, яка моделювала управління запасами Військово-повітряних сил США в рамках існуючої системи харчування [14]. Грінлоу [15] стверджує, що бізнес-симуляції можна вважати наслідком ранніх розробок в трьох областях: військових ігор, дослідження операцій та освітньої рольової гри.

За Нейлор [16], використання ігор в бізнесі та економіці починається у 1956 році, коли American Management Association розробила першу, так звану «decision-making» гру, яка була названа Top Management Decision Game. У Фаріа і Дікінсон та у Грінлоу також можна знайти оцінку цього першого, широко відомого бізнес-моделювання, хоча Грінлоу зазначає датою впровадження гри 1957 рік і далі вказує, що це був перший невійськовий аналог конкурентної ділової гри. Грінлоу звернув увагу, що Top Management Decision Game стимулювала розробку і використання десятків інших бізнес-симуляцій.

Сьогодні існує низка чинників, що впливає на підвищення інтересу до бізнес-симуляцій в

академічних колах [17]:

- зростання числа студентів;
- збільшення числа нових курсів;
- підвищення популярності різноманітних методів навчання, в тому числі некласичних;
- підвищення доступності технологій.

Ларсен і Ломі [18] описують зрушення, які відбулися у сутності бізнес-симуляцій. Вони заявляють, що до початку 1980-х років моделювання використовувалось для прогнозу поведінки змінних підсистем різного рівня, починаючи від грошових потоків і фінансових показників компанії до інфляції і безробіття в країні. Вони заявляють далі, що протягом наступних 15 років змінилося відношення до моделювання.

Впродовж довгого періоду основним завданням моделювання було прогнозування економічних показників. Але останнім часом моделювання стало інструментом, за допомогою якого з'явилася можливість зрозуміти проблеми і перспективи окремого суб'єкта господарювання чи навіть цілого сектору економіки. Моделювання, як інструмент розуміння, стало широко використовуватися в бізнес-симуляціях. Ларсен і Ломі зазначили, що акцент у комп'ютерних імітаційних моделях змістився:

1) від передбачення майбутнього до розуміння того, як кілька сценаріїв розвитку подій у майбутньому можуть бути пов'язані з рішеннями і діями, які повинні бути прийняті сьогодні;

2) від проектування найкращої стратегії до аналізу того, як стратегія буде розвиватися за умови наявності різноманітних сценаріїв розвитку подій у майбутньому, і/або того, як минулі події впливають на сприйняття сьогодення.

Бізнес-симуляції можуть бути класифіковані за багатьма ознаками. У таблиці 1 вказано розподіл відповідно таксономії Біггса [22].

Таблиця 1

Класифікація бізнес-симуляцій

Типи	Опис альтернатив
Функціональні та цілісні	Розроблені для зосередження уваги на прийнятті рішення в вузькій функціональній області (наприклад: маркетинг, виробництво, фінанси тощо) чи для імітування діяльності цілого підприємства задля відшліфування навиків вищого рівня управління.
Конкурентні або неконкурентні	Наявність чи відсутність взаємозв'язку між рішеннями одного учасника та результатами інших.
Інтерактивні та не інтерактивні	Наявність чи відсутність у симуляції ролі адміністратора.
Галузеві та загальні	Спрямовані на імітацію економічних процесів окремої галузі чи на загальні економічні процеси.
Командні та індивідуальні	В залежності від виду діяльності
Детерміновані та стохастичні	Прийняття рішення і його результат мають ймовірнісний (стохастичні) або визначений (детерміновані) характер.
Ступінь складності	Два виміри складності: 1) складність економічної моделі; 2) наявність вибору складності у симуляції.
Період часу моделювання	Розмір періоду, який обраний для моделювання. Наприклад: квартал, день, рік тощо.

У бізнес-симуляції сценарій розігрується в штучно створеному середовищі, і учаснику пропонується зробити індивідуальне або командне обґрунтоване рішення про те, як діяти в конкретній ситуації. Найчастіше існує декілька варіантів, при цьому вибір є складовим елементом так званого «дерева рішень», на основі якого приймаються рішення. Протягом навчального процесу через певні проміжки часу забезпечується зворотний зв'язок.

Для спрощення інтерактивного зв'язку між імітаційною моделлю та учасником створюється спеціальний графічний інтерфейс, який на інтуїтивному рівні забезпечує розуміння вихідних даних моделі, а також структури логічних процесів.

Визначення. Асесмент-центр — це один з методів комплексної оцінки персоналу, заснований на використанні взаємодоповнюючих методик, орієнтований на оцінку реальних якостей співробітників, їх психологічних і професійних особливостей, відповідності вимогам посадових позицій, а також виявлення потенційних можливостей фахівців. На сьогоднішній день асесмент-центр є валідним методом оцінки компетенцій співробітників (надійніше — тільки тривалі спостереження за людиною в реальній роботі).

Асесмент-центр — це оцінка компетенцій учасників за допомогою спостереження їх реальної поведінки в ділових іграх. Зовні дуже схоже на тренінг — учасникам пропонуються ділові ігри та завдання, але їх мета — не розвиток умінь і навичок, а рівні для всіх можливості проявити свої сильні і слабкі сторони. У кожному завданні за кожним учасником закріплений експерт. Він докладно фіксує поведінку свого підопічного, яка відноситься до компетенції, що спостерігається.

Склад процедур асесмент-центрів:

Інтерв'ю з експертом, у ході якого йде збір даних про знання і досвід співробітника.

- Психологічні, професійні та загальні тести.
- Коротка презентація учасника перед експертами та іншими учасниками.
- Ділова гра. Під керівництвом спостерігача група співробітників або кандидатів розігрує бізнес-ситуацію по заздалегідь підготовленим сценарієм.
- Біографічне анкетування.
- Опис професійних досягнень.
- Індивідуальний аналіз конкретних ситуацій (бізнес-прикладів). Учаснику пропонується вибрати певну стратегію і тактику дій в запропонованій ситуації.
- Експертне спостереження, за результатами якого складаються рекомендації для кожного співробітника.

В даний час на заході практично кожна велика компанія застосовує цей метод для оцінки персоналу.

Бізнес-симуляції у наш час широко застосовуються в навчальних цілях. Свідченням цього є включення їх у навчальний процес вищих навчальних закладів. Можливість використання бізнес-симуляцій у навчанні тісно пов'язана з появою у західній педагогіки концепції «learning by doing», що переводиться як навчання дією або навчання практикою.

Бізнес-симуляції є однією з найефективніших освітніх технологій, оскільки дозволяють учасникам отримувати навики, компетенції та практичний досвід в процесі навчання. Саме тому вони широко використовуються в навчальному процесі багатьох університетів та бізнес-шкіл світу.

Імітаційні ігри на базі бізнес-симуляцій мають ряд переваг:

- безризикова зона — помилки в грі не приведуть до краху бізнесу;
- зміна масштабу — можливість зайняти різні позиції у ієрархії компанії: від економіста до топ-менеджера;
- підвищення фінансової грамотності — отримання нових знань в інноваційному форматі;
- командна робота — покращення навичок комунікації та взаємодії всередині колективу [20].

Крім того застосування бізнес-симуляцій у навчанні стало об'єктивною необхідністю нашого часу, оскільки, як зазначає Сімкінс, методи навчання, які сильно залежать від формату лекції, не достатньо ефективні для розвитку у студентів когнітивних навчальних навиків та зростання привабливості економіки серед найкращих студентів, щоб мотивувати їх продовжувати курсову роботу в даній дисципліні [21].

Вирішуючи ігрове завдання за допомогою комп'ютера, учасники КДІ оцінюють вихідний матеріал, що характеризує економічну обстановку, знаходять відповідь на поставлене перед ними імітаційно-ділову проблему, узгодять думку зі своїми партнерами по грі і виробляють разом з ними спільне управлінське рішення.

Поведінка учасників – основний інструмент як в КДІ, так і в традиційній діловій грі. Дуже важливим є правильний вибір тимчасового режиму проведення гри, відтворення реальної обстановки.

Таким чином, очевидні переваги КДІ як засобів навчання полягають у наступному:

1) навчальні заняття з їх використанням потребують менших витрат часу в порівнянні з традиційними лекціями і семінарами. В учасників КДІ виробляються навички і якості, які не можуть бути розвинені іншими методами навчання.

2) застосування КДІ сприяє інтенсивному засвоєнню і запам'ятовуванню необхідної навчальної інформації, пов'язаної з професійною підготовкою фахівців економічного профілю.

3) КДІ дозволяє контролювати знання учасників ігрових груп в процесі гри, що дозволяє скоротити час на спеціальну перевірку знань учнів.

4) за результатами діяльності в КДІ можна отримати досить відомостей про професійні і особистісні якості, оцінити їх готовність до керівної діяльності, до вирішення практичних завдань на підприємствах.

5) даний метод провокує включення рефлексивних процесів, надає можливість інтерпретації, осмислення отриманих результатів.

6) у грі формуються установки професійної діяльності, легше долаються стереотипи, коригується самооцінка.

7) ділова гра насичена зворотним зв'язком, причому більш змістовної в порівнянні з вживаною в традиційних методах.

На початку 90-х років у країнах колишнього Радянського Союзу почали вивчатися та застосовуватися моделі суспільного життя західного типу, в тому числі й моделі освіти. Вперше використання бізнес-симуляції, як методу навчання, на території України було зафіксовано у 1995 році, коли за сприяння і під контролем української бізнес-школи Міжнародний інститут менеджменту (МІМ) у місті Києві було впроваджено перші навчальні бізнес-симуляції.

За весь цей час в Україні використовувалися бізнес-симуляції, здебільшого, західних та російських компаній. І тільки у жовтні 2011 року Компанією інтелектуальних технологій КІНТ було анонсовано початок роботи мережевої навчальної бізнес-симуляції ViAL+, яка позиціонується як перша українська навчальна симуляція діяльності підприємства з реальним конкурентним середовищем [23].

Таблиця 2

Список КДІ та їх характеристики

Назва продукту, контактна інформація	**Дата створення, автор компанія**	**Сфера направлення і використання**	**Основні характеристики**
1	2	3	4
ViAL+ http://www.kint.com.ua	2008–2011 рр. Банщиков Петро, Грищенко Олександр, Паздрій Віталій; Компанія інтелектуальних технологій «КІНТ»	формування навиків з управління економічними процесами на підприємстві; стратегічний менеджмент; інтерактивні тренінги для фізичних і юридичних осіб	масштабна симуляційна система діяльності компанії в ринковому середовищі; розроблена для набуття учасниками практичних навиків та компетенцій по управлінню економічними процесами на підприємстві; за основу взято ринок молочної продукції з умовами, що відповідають існуючому українському ринку даної продукції; у віртуальній компанії функціонує основних 5 підрозділів: маркетингу і збуту, виробничий, персоналу, фінансовий і бухгалтерія; реалістичне, «живе», динамічне конкурентне середовище; широке методичне й організаційне забезпечення; чітка програма інтерактивного тренінгу; можлива індивідуальна й командна форма участі; необмежена кількість сеансів участі.
Бизнес Мания http://bizmania.ru/	2008, Олексій і Юрій Кузнєцови разом з компанією «МедиаМир»	економічна он-лайн гра	ігровий простір поділено на два реалма: «Лайт» (полегшена навчальна версія) і «Про» (професійний реалм для досвідчених гравців); гравець управляє акціонерними компаніями й підприємствами, співпрацює й конкурує з іншими гравцями, створюючи нові продукти й освоюючи нові ринки.
Рашка http://www.rashka.ru/	2005, Інвестиційний холдинг «Финам»	браузерна масова багатокористувацька он-лайн рольова гра	реалізація механізму моделювання ринку цінних паперів; гравці створюють комерційні підприємства, купуючи землю, будинки, заводи; підприємства виробляють різну продукцію, придуману гравцями, і яка продається в магазинах; існує банківська система; реалізовані 3 гілки влади— парламент, суд, виконавча влада.
Виртономика https://virtonomica.ru/	2003, Олексій Кузнєцов, GAMERFLOT TRADING Ltd	багатокористувацька стратегічна браузерна бізнес-гра	симулятор великого бізнесу; економічна он-лайн гра; представлено декілька десятків галузей економіки, понад 100 різних продуктів; беруть участь різні учасники; учасник реєструється й розвиває власний бізнес (-си); площадка для апробації різних бізнес-стратегій.
FAST (Financial Analysis and Security Trading)	поч. 90-их років, бізнес-школа Carnegie Mellon University (Пітсбург, США), в Україні пропонує МІМ-Київ	комп'ютерна симуляція біржових торгів	бізнес-симуляція фондового ринку; моделювання електронних торгів на основі міжнародних стандартів і правил; по закінченні програми слухачам видаються: сертифікат Академії Народного Господарства про підвищення кваліфікації міжнародний сертифікат Університету Карнегі Меллон (США).

Продовження табл. 2

1	2	3	4
Чемпіонат GMC (Global Management Challenge) http://gmcua.com http://gmc.in.ua	1980, Луис Алвес Коста, «GLOBAL MANAGEMENT CHALLENGE»	стратегічний менеджмент використання як змагання і тренінгу для великих компаній	відображення фінансової моделі діяльності компанії-виробника міжнародного масштабу; інструмент для оцінки та навчання персоналу; команди змагаються за максимальну ціну акції компанії; команда складається з 3–5 учасників; прийняття понад 60 стратегічних рішень; управлінські рішення команд-учасників обробляються одночасно програмним забезпеченням, що враховує обмежені ресурси й попит на ринку, а також конкуренцію в реальному часі між командами; проходить в 36 країнах.
MARKSTRAT http://www.stratxsimulations.com http://www.mim.kiev.ua/about/citt/games/	1974–1977, французька бізнес-школа INSEAD, Lovanium International Management Center (Брюссель, Бельгія), в Україні пропонує МІМ-Київ	стратегічна маркетингова бізнес-симуляція	учасники маркетингової симуляції виступають у ролі топ-менеджерів виробничої компанії, яка діє в інтенсивному конкурентному середовищі впродовж 6–12 років; безризикова платформа для тестування теорії і прийняття рішень; апробація дії конкурентних сил, ефектів продажу, побудови дистрибуції, проведення рекламної кампанії, НДДКР; галузі управління і прийняття рішень: ринкова сегментація, продуктові стратегії, маркетинговий комплекс, НДДКР, фінанси, персонал, виробництво, дистрибуція (збут), ринкові (маркетингові) дослідження.
Global Management Game (International Management Game)	1957, центр інтерактивних комп'ютерних симуляцій Carnegie Mellon University, США	бізнес-симуляція управління підприємства, неофіційний світовий чемпіонат по управлінню бізнесом	імітує діяльність компанії в міжнародному конкурентному середовищі; викладається у міжнародному і локальному форматах; команди учасників розробляють адаптивні конкурентоспроможні стратегії розвитку компанії і впроваджують їх у життя протягом 2—3 віртуальних років, приймаючи стратегічні рішення з маркетингу, виробництва, фінансів та розвитку.

Висновки

Пріоритетною у наш час є загальносвітова спрямованість освіти на діяльнісні, особистісно-зорієнтовані і компетентнісні підходи. При цьому слухачі, студенти є активним, творчим суб'єктом навчальної діяльності. Використання комп'ютерно ділових ігор орієнтоване на розвиток здібностей у суб'єктів навчання, їхніх умінь самостійно приймати рішення. Також використання ділових ігор цілеспрямовано впливає на мотиваційну, емоційну та когнітивну сфери майбутніх фахівців.

Таким чином, у результаті проведеного аналізу можемо зробити висновок, що використання комп'ютерної гри та комп'ютерної симуляції в навчанні може бути потенційно ефективним. Це пов'язане з низкою факторів / причин, а саме – із сутністю комп'ютерної гри та комп'ютерної симуляції як культурного та технологічного досягнення людства, високою процесуальною мотивацією, яку викликає взаємодія тих, хто навчається, із змодельованим віртуальним середовищем.

Література

1. Van Looy J. Understanding computer game culture. The cultural shaping of new medium / Van Looy Y. – Germany : Lambert Academic Publishing, 2010. – 271 p.

2. Razak A. The use of Game-Based Learning Within Curriculum for Excellence / Razak A., Connolly T., Hainey T. // Proceedings of the 5th European Conference on Games-Based Learning, The National and Kapodistrian

University of Athens, Greece, 20–21 October. – UK : Academic Publishing Limited, 2011. – P. 1.

3. Bellotti F. Designing Serious Games for Education: from Pedagogical Principles to Game Mechanisms / Francesco Bellotti, Michela Ott Sylvester Arnab, Sara de Freitas, Kristian Kiili and Alessandro De Gloria // Proceedings of the 5th European Conference on Games-Based Learning, The National and Kapodistrian University of Athens, Greece, 20–21 October. – UK : Academic Publishing Limited, 2011. – P. 3–4.

4. Bodin M. Specifying Collaborative Tools in Game-Based Learning Environments:Clues From the Trenches / Bodin M., Marty J, and Carron T. // Proceedings of the 5th European Conference on Games-Based Learning, The National and Kapodistrian University of Athens, Greece, 20–21 October. – UK : Academic Publishing Limited, 2011. – P. 5.

5. Yam San Chee. Learning Chemistry Through Inquiry With the Game Legends of Alkimia: an evaluation of learning Outcomes / Yam San Chee, Kim Chwee Daniel Tan, Ek Ming Tan and Mingfong Jan // Proceedings of the 5th European Conference on Games-Based Learning, The National and Kapodistrian University of Athens, Greece, 20–21 October. – UK : Academic Publishing Limited, 2011. – P. 10–11.

6. Foster A. PCARD: Integrating Games into Classroom / Foster A., Shah Mamta // Proceedings of the 5th European Conference on Games-Based Learning, The National and Kapodistrian University of Athens, Greece, 20–21 October. – UK : Academic Publishing Limited, 2011. – P. 18hgh

7. Vorderer P. Explaining the enjoyment of Playing Video Games. The Role of Competition / Vorderer Peter & Hartmann Tilo & Klimmt Cristoph // Proceedings of the second International Conference on Entertainment Computing, 2003. – P. 7–8.

8. Bartle R. "Hearts, Clubs, Diamonds, Spades: Players Who suit Muds". July 2001. URL: htpp:// www.mud.co.uk/richard/hcds.htmff.

9. Hainey T. Gender Differences in Motivations for Playing Computer Games: A combined Analysis of Three Studield / Hainey T., Boyle E., Connolly Thomas, Stansfield M. // Proceedings of the 5th European Conference on Games-Based Learning, The National and Kapodistrian University of Athens, Greece, 20–21 October. – UK : Academic Publishing Limited, 2011. – P. 2.

10. Mysirlaki S. Massively Multiplayer Online Games as Activity Systems: The Relationship between Motivation, Performance and Community / Mysirlaki S., Paraskeva Fotini // Proceedings of the 5th European Conference on Games-Based Learning, The National and Kapodistrian University of Athens, Greece, 20–21 October. – UK : Academic Publishing Limited, 2011. – P. 39.

11. Fabricatore C. Gaming for sustainability: an overview / Fabricatore C., Lopez Ximena // Proceedings of the 5th European Conference on Games-Based Learning, The National and Kapodistrian University of Athens, Greece, 20-21 October. – UK : Academic Publishing Limited, 2011. – P. 15

12. https://virtonomica.ru/

13. Lainema (2003). Enhancing Organizational Business Process Perception — Experiences from Constructing and Applying a Dynamic Business Simulation Game. Turku School of Economics, Series A-5:2003. ISBN 951-564-139-X. Online. URL: http://info.tse.fi/julkaisut/vk/Ae5_2003.pdf

14. Faria, A. J. and Dickinson, John R. (1994). Simulation Gaming for Sales Management Training. Journal of Management Development, Vol. 13, No. 1, pp. 47–59.

15. Jackson, J. R. (1959). Learning from Experience in Business Decision Games. California Management Review, Vol. 1, No. 2, pp. 92–107.

16. Greenlaw, Paul S., Herron, Lowell W. and Rawdon, Richard H. (1962). Business Simulation in Industrial and University Education. Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J.

17. Naylor, Thomas H. (1971). Computer Simulation Experiments with Models of Economic Systems. John Wiley & Sons, Inc, New York.

18. Burgess, Thomas F. (1995). Strategy Support during a Business Game using an Expert System. In Saunders, Danny and Severn, Jackie (eds.) The International Simulation & Gaming Research Yearbook: Simulations and Games for Strategy and Policy Planning. Kogan Page, London, pp. 87–101.

19. Larsen, Erik and Lomi, Alessandro (1999). System Dynamics and the 'New Technology' for Organizational Decisions: From Mapping and Simulation to Learning and Understanding. European Management Journal, Vol. 17, No. 2, pp. 117–119.

20. http://businesslab.com.ua/simulations/

21. Dickinson, John R. and Faria, A. J. (1995). Simulation Gaming for Sales Management Training and a Demonstration. In Saunders, Danny (ed.) The Simulation and Gaming Workbook Volume 3: Games and Simulations for Business. Kogan Page, London, pp. 99–109.

22. Simkins, S.P. (1999). «Promoting active-student learning using the World Wide Web in economics courses». Journal of Economic Education 30 (Summer) (3): pp. 278–91. doi:10.2307/1183067.

23. Biggs, William D. (1990). Introduction to Computerized Business Management Simulations. In Gentry (ed.) Guide to Business Gaming and Experiential Learning. Nichols/GP, London, pp. 23–35.

Рецензія/Peer review : 13.1.2017 р. Надрукована/Printed :6.2.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Бармак О.В.

УДК 004.056.53+638.14.071+638.14.075

М.С. МЕДВЕДЧУК, О.А. ПАСІЧНИК, Т.К. СКРИПНИК
Хмельницький національний університет

ІНФОРМАЦІЙНА БЕЗПЕКА ХМАРНИХ СЕРВІСІВ У ПРОВАДЖЕННІ БДЖІЛЬНИЦЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

В статті досліджено сучасний стан впровадження інформаційних технологій з використанням хмарних сервісів у бджільництві. Охарактеризовано технологію хмарних сервісів, визначено перспективи її розвитку та проаналізовано питання та принципи реалізації безпекових аспектів під час застосування в бджільництві. Цінність роботи полягає в тому, що проведені дослідження дозволили зрозуміти, що можливості хмарних технологій та сервісів дозволяють розв'язувати завдання бізнесу та надають реальні перспективи для ефективного впровадження інформаційних технологій у бджільництві.

Ключові слова: хмарні сервіси, інформаційна безпека, бджільництво, бази даних, захист персональних даних, нанотехнології, аналіз.

M.S. MEDVEDCHUK, O.A. PASICHNYK, T.K. SKRYPNYK
Khmelnytsky National University

INFORMATION SECURITY OF CLOUD SERVICES IN BEEKEEPING PROCEEDINGS

The current state of information technology with usage of cloud services in beekeeping has been investigated in this article. Cloud services technology has been characterized, perspectives of it`s growth have been defined and questions and implementation principles of safety aspects while using it in beekeeping have been analyzed. The value of the work is that the explorations helped to understand that the possibility of cloud technologies and services allow to solve business problems and provide real prospects for effective implementation of information technology in beekeeping.

Keywords: cloud services, information security, beekeeping, databases, personal data protection, nanotechnology, analysis.

Постановка проблеми. Інтенсифікація інноваційних процесів, розвиток інформаційних технологій, їх проникнення в усі сфери життєво важливих інтересів зумовили підкорення сфери фермерського господарства, що крім безперечних переваг призводить до появи низки стратегічних проблем. Посилюється небезпека несанкціонованого втручання в роботу комп'ютерних, інформаційних і телекомунікаційних систем. Проблеми захисту інформації потребують комплексного підходу, тобто створення системи інформаційної безпеки (ІБ).

Сучасні фермерські господарства знаходяться під постійним впливом факторів, пов'язаних з розвитком технологій, які, з одного боку, спрощують роботу з великими обсягами інформації, проте, з іншого – зумовлюють проблеми, пов'язані насамперед з інформаційною безпекою. Не виключенням відмітилось впровадження програмного забезпечення у бджільництві. На заміну стереотипним паперовим журналам-заміткам бджільника, які зазвичай загублювались або з часом просто набували не читабельного стану, було використано інформаційні технології.

Одним з сучасних та перспективних напрямків інформатизації є хмарні сервіси (хмарні обчислення), що з'явилися в 2006 році, коли Amazon's Elastic Computing Cloud побудували свої дата-центри. Багато підприємств, які займалися інформаційними технологіями, створювали підґрунтя для можливості реалізації збереження та обробки даних на віддалених, спеціально виділених серверах, що в подальшому отримало назву «хмарних технологій». Пізніше з'являються такі продукти, як Google's MapReduce, Microsoftware's Windows Azure, iCloud, Amazon CloudDrive тощо. Особливо цікавим з комерційної точки зору є можливість безкоштовного використання, хоча й з певними обмеженнями, які здебільшого не стосуються кінцевої функціональності.

Суттєвою та характерною особливістю хмарних технологій є віддалений, технічно та територіально відокремлений механізм збереження даних, що піднімає на принципово новий щабель питання їх конфіденційності та обмеження несанкціонованого доступу.

Стан дослідження. Проблеми безпеки діяльності, фінансової та інформаційної безпеки є актуальними і набули широкого висвітлення у вітчизняній і зарубіжній науці. Питанням інформаційної безпеки присвячені дослідження таких вітчизняних науковців: Г.С. Гриджука [1], Б. А. Кормича [2], В. Л. Гевко, а також російських учених, таких як Е.Б. Белов, В. П. Лось, Р.В. Мещеряков, А.А. Шелупанов [3].

Слід зазначити, що дослідження теоретичних і практичних засад функціонування хмарних сервісів у вітчизняній науці ще не набули достатнього поширення як проблема загалом, так й зокрема для роботи фермерських господарств.

Метою статті є аналіз теоретичних і практичних аспектів інформаційної безпеки хмарних технологій для впровадження у сфері фермерського господарства бджільництва з визначення їх принципів і перспектив.

Виклад основних положень. Інформаційна безпека підприємства – це захист інформації, якою володіє підприємство від несанкціонованого доступу, руйнування, модифікації, розкриття і затримок під час надходження. Крім того, під інформаційною безпекою розуміють захищеність інформації та підтримуючої її інфраструктури від будь-яких випадкових або зловмисних дій, результатом яких може бути нанесення

шкоди самій інформації, її власникам або підтримуючій інфраструктурі [3].

Архітектура ІБ охоплює процеси, людей, технології, різні типи інформації, адаптуючись до них, враховує складність і мінливість сучасного підприємства. Іншими словами, вона описує бажану структуру інфраструктури безпеки організації й інших, пов'язаних з інформаційною безпекою, компонентів та інтерфейсів.

Поділяють мету системи безпеки на такі події: захист прав підприємства (установи), його структурних підрозділів і співробітників, збереження й ефективне використання інформаційних, матеріальних і фінансових ресурсів, підвищення іміджу системи за рахунок забезпечення якості послуг щодо інформаційної безпеки.

Поява хмарних технологій спровокувала розгортання великомасштабних розподілених систем постачальників програмного забезпечення для широкого кола кінцевих споживачів.

Хмарні системи забезпечують просту й уніфіковану взаємодію між постачальником і користувачем та включають програмне забезпечення, тобто сервісну підсистему введення, виведення інформації та базу даних для довготривалого їх зберігання з багаторазовим доступом. Ці системи динамічно розподіляють обчислювальні ресурси у відповідь на запити про резервування ресурсу користувачем з дотриманням певних стандартів якості обслуговування користувачів.

Хмарні технології загалом й обчислення зокрема (англ. cloud computing) – це технологія розподіленої обробки та збереження даних, в якій комп'ютерні ресурси та потужності надаються користувачам як Інтернет-сервіс [2]. Хмарний сервіс є особливою клієнт-серверною технологією, яка передбачає використання клієнтом ресурсів групи серверів у мережі, які взаємодіють так [2]:

- для клієнта вся група виглядає як єдиний віртуальний сервер;
- клієнт може прозоро та гнучко змінювати обсяги споживання ресурсів у разі зміни своїх потреб.

Під час використання хмарних технологій користувач має доступ до власних даних, але не може керувати та не повинен піклуватися про інфраструктуру, операційну систему і програмне забезпечення, з якими він працює. «Хмарою» називають Інтернет, який приховує усі технічні деталі.

Таблиця 1

Переваги та недоліки хмарних сервісів

Переваги	Недоліки
• Не потрібен сучасний потужний комп'ютер для виконання складної обробки інформації • Збільшення обчислювальних потужностей за потребою • Менші витрати на ПЗ; найсучасніші версії ПЗ • «Хмара» пропонує віртуально необмежений простір для зберігання інформації • Надійність збереження даних, комп'ютерний збій у «хмарі» не призведе до втрати даних • У «хмарі» не має значення, якою операційною системою користується користувач • Хмарні сервіси значно скорочують апаратне та програмне • Можливість багатьох користувачів легко організовувати спільну роботу над документами і проектами	• Технологія є вимогливою щодо доступу до Інтернету, його безперебійності та швидкодії; бувають випадки, коли сервер може бути недоступний, і тоді ця послуга стає неможливою • Аспекти безпеки даних; Закон України «Про захист персональних даних» не передбачає використання хмарних сервісів • Малоефективна робота у разі низької швидкості каналу зв'язку • Велика кількість ризиків втрати інформаційних даних, серед яких найголовнішими є ризик захоплення даних на шляху від компанії до сервера

Хмарні системи дозволяють мати доступ до інформації та серверів з будь-якого місця світу, звільнивши користувачів від необхідності мати стаціонарний комп'ютер та зробивши доступнішою спільну роботу багатьох людей, які можуть знаходитися в різних місцях.

Аналіз хмарних технологій, як і будь-якої технології, що швидко розвивається, повинен враховувати як переваги, так і недоліки (табл. 1).

Вимоги до безпеки на основі аналізу HDFS HDFS (HadoopDistributed File System) є відомою поширеною технологією хмарних обчислень [4].

Аналізуючи HDFS, вимоги безпеки до хмарних обчислень можна поділити на такі групи [5]:

Перевірка достовірності Логіна клієнта: більшість хмарних обчислень перевіряють браузер клієнта і проводять ідентифікацію користувача згідно із запитом програм хмарних обчислень для первинної потреби.

• Присутність одиничної помилки з Вузлом імені: якщо Вузол імені атакують або зламують, це може призвести до катастрофічних наслідків у системі. Тому ефективність Вузла імені в хмарних обчисленнях і його дієвість – це ключ до успіху в інформаційній безпеці. Посилення захисту Вузла імені є критично важливим.

• Швидке відновлення блоків даних і контроль за правом читання/запису: Вузол даних (DataNode) – це вузол накопичення даних, де можливі проблеми та труднощі з доступом до даних.

Принципи захисту даних. Уся процедура захисту даних побудована на конфіденційності, цілісності

та доступності. Конфіденційність належить до так званої прихованої функції фактичних даних або інформації і є однією із найжорсткіших вимог інформаційної безпеки. У випадку хмарних обчислень дані накопичуються в центрах обробки даних, де безпека та конфіденційність даних ще важливіші. Цілісність даних у будь-якому вигляді не відіграє значної ролі для гарантії несанкціонованого видалення, зміни або пошкодження. Доступність даних означає, що користувачі можуть використовувати дані за рахунок використання потенціальних можливостей хмарних технологій.

Модель захисту даних. У моделі використовується тришарова захисна структура системи [4].

- Перший шар відповідає за автентифікацію користувачів цифрових сертифікатів, виданих відповідними органами.
- Другий шар відповідальний за шифрування даних користувача.
- Третій шар – використання даних користувача для швидкого відновлення.

За допомогою трирівневої структури автентифікація користувача використовується для забезпечення цілісності даних. Через функцію захисту конфіденційності небезпечний користувач не зможе отримати повного доступу до інформації, що дуже важливо для захисту комерційних таємниць ділових користувачів у середовищі хмарних обчислень.

Таблиця 2

Основні принципи безпеки для хмарних обчислень

№ з/п	Принципи	Коротка характеристика принципів
1.	Прозорість	Компанії-провайдери розкривають внутрішні правила обробки інформації, а також відомості про діяльність
2.	Обмеження за сферами використання	Компанії не претендують на володіння даними замовників і можуть використовувати їх лише в тих цілях, для яких вони були отримані від замовників
3.	Розкриття	Компанії розкривають дані замовників лише у випадку, якщо це потрібно самим замовникам або передбачено законом, і повинні в такому разі повідомляти замовників про розкриття даних на вимогу правоохоронних органів у тій частині, наскільки це дозволяє законодавство
4.	Система управління безпекою	Компанії володіють потужною системою захисту даних, що відповідає міжнародним стандартам (таким, як ISO 27002)
5.	Додаткові можливості у сфері безпеки	Компанії зобов'язуються пропонувати замовникам додаткові можливості щодо захисту їх даних
6.	Розміщення даних	Компанії надають замовникам список країн, в яких розміщуються пов'язані з ними дані
7.	Повідомлення про витоки інформації	Компанії оперативно повідомляють замовників про всі відомі витоки, які ставлять під загрозу конфіденційність або цілісність даних
8.	Аудит	Компанії звертаються до послуг сторонніх аудиторів з метою перевірки того, наскільки їх система управління безпекою відповідає вимогам відповідних стандартів

Інтернет став платформою для розподілених додатків: компанія може вести конфіденційний внутрішній документообіг на чужих потужностях, уклавши контракт зі стороннім SaaS-постачальником, який, в свою чергу, буде обробляти отримані дані на обчислювальних потужностях інших постачальників послуг IaaS і PaaS.

NIST запропонував набір із п'яти базових принципів безпеки для хмарних обчислень (див. табл. 2) [5].

Незважаючи на те, що зазначені пропозиції не набули широкої підтримки учасників галузі, найімовірніше, в майбутньому дискусія призведе до вироблення загальногалузевих правил – спочатку в США і Європі, а пізніше, можливо й одночасно, в інших країнах. Це сприятиме регулюванню інтересів користувачів і постачальників хмарних послуг.

Українське законодавство поки що не надає хмарним технологіям особливої уваги. Насамперед немає розробленого договору двох сторін, який би врегульовував відносини між користувачем та провайдером, що надає хмарні потужності, водночас як у Європі процес оновлення законодавства в цьому напрямі досить активний.

Питання інформаційної безпеки є особливо актуальним для сфери бджільництва, яке є дрібним або, максимум, середнім бізнесом й, внаслідок цього, відзначається низькою стресостійкістю в питаннях втрати даних.

Висновки. Ідея доступних комп'ютерних послуг стає реальністю. Можливості «хмар» дозволяють розв'язувати завдання бізнесу та надають реальні перспективи для інформаційних технологій у бджільництві. Центри обробки даних отримують можливість надавати свої послуги більшій кількості користувачів. Пасічники можуть думати про нові генерації своїх продуктів.

Передбачають, що масової міграції комерційних структур у публічні «хмари» не буде, повної

відмови від власних ручних записів також не передбачається, але пасічники прийдуть до гібридної моделі, де збережуться обидва елементи.

Програмні застосування майбутнього матимуть частину, що працює на комп'ютері користувача, та частину, що працює у «хмарі», причому хмарна частка повинна швидко розширюватись для роботи з тисячами серверів у разі потреби, а також зменшуватись на одній віртуальній машині.

Питання інформаційної безпеки технології хмарних сервісів, особливо в ході використання в бджільництві, потребують підвищеної уваги, а в багатьох аспектах – першочергових розробок і напрацювань.

Література

1. Гриджук Г. С. Систематизація методів інформаційної безпеки [Електронний ресурс] / Г. С. Гриджук. – Режим доступу : http://www.nbuv.gov.ua/portal/natural/Vntu/2009/pdf/64.pdf

2. Кормич Б. А. Інформаційна безпека: організаційно-правові основи : навч. посібник / Б. А. Кормич. – К. : Кондор, 2004. – 384 с.

3. Белов Е. Б. Основы информационной безопасности: учеб. пособие / Е. Б. Белов, В. П. Лось, Р. В. Мещеряков, А. А. Шелупанов. – М. : Горячая линия-Телеком, 2006. – 544 с.

4. Гудзовата О. О. Інформаційна безпека хмарних сервісів / О. О. Гудзовата // Львівський державний університет внутрішніх справ журнал. – 2013. – № 2. – С. 228–239.

5. Гудзовата О. О. Хмарні сервіси: можливості, безпека, перспективи : колективна монографія : у 4 т. / О. О. Гудзовата // Теоретичні та прикладні аспекти підвищення конкурентоспроможності підприємств. – Дніпропетровськ : «Герда», 2013. – Т. 1. – С. 102–110.

6. Бондар Є. С. Хмарні обчислення та їх застосування / Є. С. Бондар, М. М. Глибовець, С. С. Гороховський // Вісник КНУ ім. Т. Шевченка. – К. : КНУ, 2011. – Вип. № 1. – С. 74–82.

Рецензія/Peer review : 7.1.2017 р. Надрукована/Printed :5.2.2017 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Сорокатий Р.В.

УДК 519.876

В.Ю. КОРОЛЬОВ, В.В. ПОЛІНОВСЬКИЙ, М.І. ОГУРЦОВ
Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, м. Київ

МОДЕЛЮВАННЯ МЕРЕЖ ЗВ'ЯЗКУ РУХОМИХ ДИСТАНЦІЙНО КЕРОВАНИХ СИСТЕМ НА БАЗІ HLA

Предметом розгляду стала побудова архітектур обчислювальних систем для моделювання спеціальних мереж та формалізація задачі маршрутизації рухомих керованих систем, що обстежують певну територію. Проблему зведено до задачі маршрутизації з декількома депо за наявності додаткових обмежень. Побудовану модель застосовано в ході розробки алгоритмів розв'язування практичних задач децентралізованого керування рухом груп безпілотних літальних апаратів.

Ключові слова: моделювання, мережа, робот, архітектура, транспортна задача, безпілотні апарати, БПЛА, HLA.

V.YU. KOROLYOV, V.V. POLINOVSKYI, M.I. OGURCZOV
Institute of Cybernetics of National Academy of Sciences of Ukraine

HLA BASED MODELLING OF COMMUNICATIONS NETWORKS OF REMOTELY CONTROLLED MOVING SYSTEMS

The article was a summary of development a simulation model of a special network for further study it interaction with other virtual objects based on computing platform-independent high-level architecture (HLA) IEEE 1516. The requirements for queries and description set of the object model for HLA network architecture became the basis for setting content optimization problem for the team of mobile robotic systems whose members can go on autopilot. An illustrative example was given for a group of UAVs. Feature problem in this formulation is that the traffic problem for vehicles and communication tasks of routing data packets must be solved simultaneously. Formalization and decomposition of the problem was made and shown that the mathematical model for the task is the task of constructing routes for vehicles. The problem was reduced to a routing problem with multiple depots with additional restrictions. That optimization problem belongs to the class NP-hard problems and computational complexity of it depends on the size of the input data exponentially. At issue was the construction of architectures of computer systems for modelling and formalization of ad hoc networks routing problems of mobile control systems, which examine specific territory. The developed model was used to develop algorithms for practical problems of decentralized motion control groups of unmanned aerial vehicles and unmanned ground vehicles.

Keywords: modelling, network, robot, architecture, transport problem, drones, UAV, HLA.

HLA (High Level Architecture – архітектура високого рівня) [1–5] слугує основою для створення систем розподіленого моделювання та візуалізації. HLA було стандартизовано у 2010 році міжнародним інститутом стандартів і подано у виді серії керівництв IEEE 1516 по розробці систем розподіленого моделювання. Стандартизація дозволила організовувати складні віртуальні навчання, в яких беруть участь модельні засоби різних розробників та повторно використовувати створені віртуальні об'єкти.

Варто зазначити, що хоча розробка HLA ініційована Міністерством оборони США, архітектура є відкритим стандартом. У 2000 році HLA був оформлений та прийнятий, як IEEE 1516 [1]. Він розвивається і підтримується підрозділом DMSO (Defense Modeling & Simulation Office) Міністерства Оборони США [2] та прийнятий як стандарт НАТО - STANAG 4603 [3].

В даний час HLA знаходить все більше застосування і в цивільній сфері при розробці симуляторів і тренажерів для тренування персоналу складних технічних систем в авіації, космонавтиці, транспорті тощо, стаючи промисловим стандартом і в цій області. В даній роботі пропонується дослідити можливість використання HLA як основи для моделювання чарункових [4] і Ad hoc мереж децентралізованого керування рухом груп безпілотних літальних апаратів (БПЛА), та безпілотних наземних роботів (БНР).

Моделювання передачі даних для рухомих об'єктів (БПЛА, БНР) та протоколів взаємодії транспортних засобів (ТЗ) у чарункових і Ad hoc мережах на базі HLA, базується на таких основних засадах:

- відмова від простих імітаційних моделей, орієнтованих тільки на конкретного користувача, створення моделей, орієнтованих на користувачів високого рівня;
- складність, в окремих випадках неможливість врахування всіх сфер застосування імітаційного моделювання;
- гнучкість комбінування окремих симуляторів в складні імітаційні моделі;
- відкритість розподіленої архітектури моделювання для майбутніх технологій моделювання та імітації.

Основою HLA [5, 6] є об'єднання множини об'єктів, що беруть участь у процесі розподіленого моделювання у динамічні сутності – федерації. Об'єкти у складі федерації називають федератами. Федерати і утворена з них федерація є формою абстрагування. Федератами можуть бути як комп'ютерні імітаційні моделі, так і реальні технічні зразки, працівники, автоматизовані системи керування, комунікаційні системи підтримки операцій та інші об'єкти, для яких представлено опис і правила функціонування відповідно до стандарту.

Атомарними структурами віртуального простору є федерати, що створюють для учасників федерації єдину віртуальну територію для взаємодії в рамках імітаційної моделі, що дозволяє симулювати пори року, час доби і погодні умови. Середовищем взаємодії федератів для моделі побудованої на базі

архітектури HLA є RTI (Real Time Infrastructure – інфраструктура реального часу). Сучасні RTI є хмарним віртуальним сервісом [7] для взаємодії федератів у єдиному модельному часі та обміні даними між ними.

Так, наприклад, якщо федерат – це імітаційна модель групи БПЛА, RTI забезпечує передачу значень, що характеризують висоту, швидкість і траєкторію польоту іншим учасникам федерації. У випадку необхідності передається також ще і аудіовізуальний образ і технічні характеристики. В результаті керівник тренувань спостерігає віртуальні переміщення цієї групи БПЛА на карті.

Архітектура HLA використовує протоколи високого рівня, тобто не накладає обмеження на комп'ютерну реалізацію федератів і RTI. Стандарт IEEE 1516 на якому ґрунтується HLA є набором рекомендацій по створенню протоколів для пакетів даних, якими обмінюються федерати, та правилами їх взаємодії. Дотримуючись рекомендацій стандарту, розробник може створювати імітаційні моделі сумісні з різними комп'ютерними комплексами та власні варіанти RTI.

В даний час HLA надає розробникам сучасні засоби створення складних імітаційних моделей на модульних принципах, з окремих компонентів з добре визначеною функціональністю та інтерфейсами.

Архітектура і стандарти HLA орієнтовані на створення розподілених динамічних моделей, для яких характерна взаємодія груп однотипних об'єктів, що обмінюються інформацією про свій поточний стан. Велика увага при цьому приділяється фактору часу.

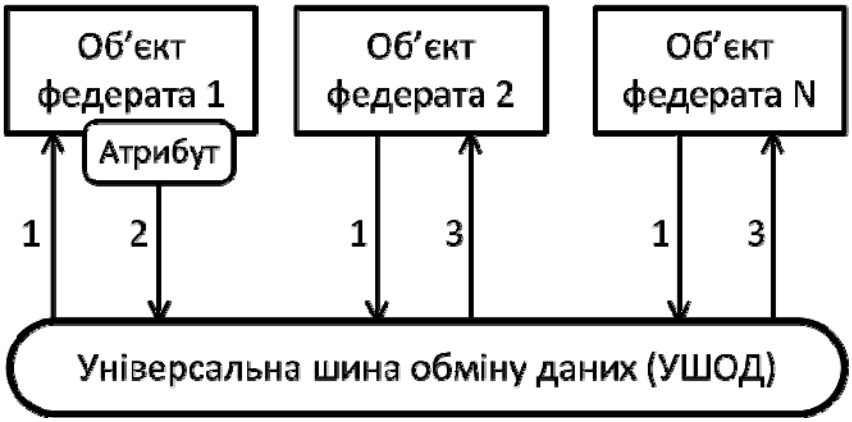
Основна ідея HLA полягає в тому, щоб відокремити специфічні функціональні можливості моделювання від загальних. Для підтримки останніх розроблена універсальна шина обміну даними (УШОД) аналог, RTI (Run-Time Infrastructure) в HLA. RTI, подібно розподіленій операційній системі, забезпечує функціональність, необхідну для взаємодії об'єктів всередині розподіленої моделі.

Модель в HLA розглядається як набір моделей різного рівня агрегування. На нижньому рівні розташовані моделі компонентів системи – об'єктів. Об'єкти в HLA – сукупності, що моделюють конкретні елементи обстановки. Їх взаємодії відображають взаємодії між реальними об'єктами.

В окремі моделі виділено управління об'єктами або групами об'єктів. Це можуть бути математичні чи інші описи, імітовані програмними засобами. Як було сказано у вступі, в HLA ці імітаційні моделі (симулятори) мають спеціальну назву – федерати. Крім симуляторів до федератів відносяться також деякі службові програмні компоненти, наприклад, зайняті збором інформації від засобів виявлення, спостереження. Сукупність усіх федератів, які беруть участь у моделюванні, працюють в інтересах вирішення певної конкретної задачі, називається федерацією. Тобто основна мета HLA – підтримка інформаційних обмінів в рамках федерації між федератами, що співпрацюють.

У HLA інформація, якою обмінюються федерати, буває двох видів: стан об'єкта та інтеракція. Всі обміни даними між федератами відбуваються через RTI. Механізм обміну реалізований у вигляді підписки. Федерат, зацікавлений в отриманні певних атрибутів і взаємодій, повинен підписатися на них через RTI. При цьому, для зниження завантаження каналів зв'язку RTI відстежує тільки зміни даних (рис. 1). Завдяки цьому в ЄАСУ(єдина автоматизована система управління) суттєво може знизитися навантаження на канал обміну службовою інформацією (RTI ЄАСУ), крім цього, підвищитись прозорість протоколів обміну інформацією та безпека інформації, що передається в каналі RTI (рис. 1).

Кожен з цих сервісів має чітко прописаний інтерфейс, в результаті чого мовні й платформні особливості реалізації федератів стають несуттєвими, тобто в рамках HLA забезпечується повна інтероперабельність федератів і RTI.



1 – попередня підписка на атрибут; 2 – інформація про зміну атрибута; 3 – подія «зміна атрибуту»
Рис. 1. Схема обміну значеннями атрибутів через УШОД (RTI)

Архітектура HLA повністю визначається наступними трьома компонентами:

- еталонною об'єктною моделлю;
- правилами федерації;
- специфікацією інтерфейсів.

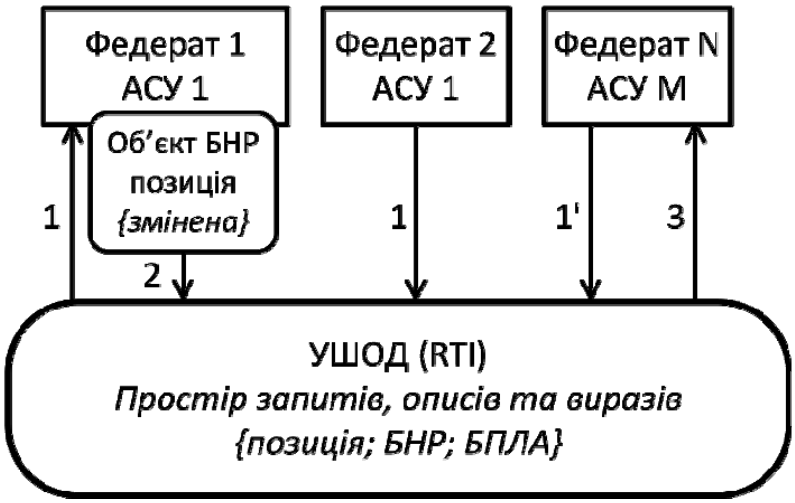
Еталонна об'єктна модель – істотний компонент HLA, оскільки вона:

- надає механізм для визначення обміну даними та загальної координації серед членів федерації;

- забезпечує загальний, стандартизований механізм для опису можливостей потенційних учасників федерації;
- полегшує розробку і застосування загальних інструментальних засобів для HLA моделей об'єктів.

Правила HLA задають поділ прав і обов'язків федератів у федерації, і лежать в основі стандарту взаємодії моделей в HLA.

Специфікації інтерфейсів визначають стандартні інтерфейси для робочої інфраструктури RTI (Run-Time Infrastructure), а також визначають функції зворотного виклику, що надаються усіма федератами, через які RTI може звертатися до його функціональності. Таким чином, специфікації інтерфейсів визначають, як федерати взаємодіють з федерацією, або, зрештою, між собою (рис. 2).



1 – Цікавить позиція {БПЛА}
1' – Цікавить позиція {БНР}
3 – Позиція змінена для об'єкту БНР
Рис. 2. Приклад взаємодії федератів за допомогою описів та інтерфейсів RTI ЄАСУ

RTI створює окремий прошарок в операційній системі, який забезпечує специфічну функціональність HLA.

Програмні реалізації RTI

Існують системи, що реалізують ідеї HLA на різних мовах програмування: C, C ++, ADA, MODSIM, Smalltalk і ФОРТРАН [8]. Деякі конкретні реалізації HLA побудовані на базі CORBA. Зокрема HLA RTI1.3NG-v2 (v3.2) базується на ORB TAO та відповідних CORBA службах розсилки повідомлень [2].

Інструментальні засоби

В даний час в рамках розробки та впровадження програмного забезпечення за програмою HLA розроблені прикладні програмні інтерфейси для CORBA IDL, C ++, Ada, Java. Вони є частиною специфікації HLA [1]. Що стосується імітаційних моделей, які використовуються для створення федерацій, єдина вимога при розробці відповідного програмного забезпечення – ця реалізація повинна бути виконана в рамках об'єктно-орієнтованого підходу і відповідати специфікації інтерфейсів HLA. Для розробки HLA-сумісних програм існує широкий набір інструментальних засобів, як безкоштовних, так і комерційних [9]. До таких засобів належать, наприклад:

- DCT (Data Collection Tool) – засіб для збору та аналізу переданих між симуляторами даних;
- OMDT (Object Model Development Tool) – засіб для розробки моделей класів модельованих сутностей;
- FEPW (Federation Execution Planner's Workbook) – редактор для розробки та верифікації процесу виконання моделі.

Ці та інші інструменти розвиваються як засоби автоматизації підтримки окремих завдань, що виникають на різних етапах життєвого циклу федерації.

Наповнення простору запитів імітаційної моделі покажемо на прикладі змістовної постановки задачі оптимізації системи зв'язку (маршрутизація пакетів даних у мережі) і побудові польотного завдання (маршрутів руху) для групи БПЛА (рис. 3).

Умови транспортно-комунікаційної задачі для групи РРС з автономним рухом

Задача. Побудувати маршрути до об'єктів з мінімальним часом руху до місць призначення і мінімальною кількістю РРС та визначити час автономного руху.

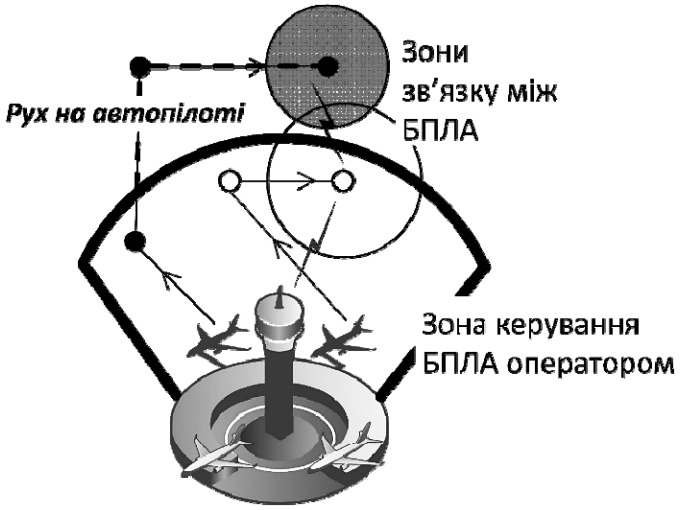


Рис. 3. Ілюстрація побудови маршрутів для двох РРС, один з яких проходить частину шляху на автопілоті

Вхідні дані:

- місця призначення (об'єкти, які слід відвідати), місця посадок РРС (депо);
- кількість РРС;
- ресурс ходу/руху (кількість пального, заряд акумулятора);
- інтервали запуску і посадки РРС, кількість одночасно запущених РРС (підтримує станція керування), час підготовки до польоту (зарядка акумуляторів);
- маршрут руху, місця зупинок і їх тривалість для пункту керування РРС.

Параметри:

- максимальна дальність передачі сигналу;
- максимальна кількість ретрансляцій польотних завдань;
- пропускна здатність ретранслятора;
- обсяг інформації, що передається в різних режимах;
- максимально допустима затримка сигналу;
- частота опитування РРС.

Критерії:

- мінімізація сумарного шляху руху РРС та їх кількості;
- мінімізація кількості ретрансляцій;
- мінімізація суми радіусів випромінювання за лінією розмежування;
- максимізація інформації, що передається.

Особливістю постановки транспортно-комунікаційної задачі є те, що формування польотних завдань до точок призначення і побудова маршрутів пакетів даних у спеціальній мережі мають виконуватись сумісно.

Математична модель. Ця задача маршрутизації відноситься до комбінаторних задач, які можна представити у вигляді графа *G (V, E)* [10,11]. Є заданий ряд точок *V*, які треба відвідати. Вони представляють собою множину точок v_s... v_n. Є множина депо v_0, ... v_p, або точок, з яких можуть стартувати БПЛА. На основі цих двох множин будується плоский планарний граф, накладений на карту.

Введемо такі позначення.

G(V, E) – граф;

$V = \{v_0, ... v_p, v_s..., v_n\}$ – множина вершин (v_0, ... v_p — депо, v_s... v_n – точки, що слід відвідати);

E — множина ребер $\{(v_i, v_j) \mid i \neq j\}$;

C — матриця невід'ємних відстаней (вартості шляху) c_{ij} між точками, що слід відвідати;

m — кількість транспортних засобів (ТЗ) – РРС;

R_i — маршрут *i*-го ТЗ (i=1,..,*m*);

R — сукупність маршрутів R_i (*i*=1..*m*);

$C(R_i)$ — вартість маршруту R_i;

q_i — ресурс руху *i*-го ТЗ.

Кожна вершина V_i має набір координат X_i, Y_i – це координати клієнта. Завдання маршрутизації полягає у визначенні такої множини маршрутів *m* з мінімальною загальною вартістю, щоб кожна вершина підмножини $V_e = \{v_s..., v_n\}$ була відвідана тільки одним ТЗ і тільки один раз. Крім того, всі маршрути повинні починатися і закінчуватися в будь-якій точці з множини депо (v_0, ... v_p).

Визначення відстані між точками для доставки відбувається за стандартною формулою для прямокутної системи координат:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (1)$$

Розв'язком задачі є розбиття множини *V* на підмножини (маршрути) та виконання порядку обходу

на кожній підмножині (перестановка вершин маршруту). Розв'язки задачі, при яких не всі точки з множини V_e відвідуються, є недопустимими.

Цільовою функцією в загальному випадку є вартість розв'язку задачі:

$$F_{VRP} = \sum C(R_i), \quad (2)$$

де $C(R_i)$ – сума довжин ребер маршруту R_i, $i = 1,...,m$.

У класичному варіанті потрібно знайти допустимий розв'язок з мінімальною вартістю. Також в даній роботі вводяться такі обмеження для умов задачі:

- довжина кожного маршруту R_i не повинна перевищувати максимальної дальності польоту РРС q_i;
- у випадку, якщо частина точок з множини V_e знаходиться поза зоною зв'язку станції керування, мають використовуватись ретранслятори для підсилення сигналу;
- вартості шляхів між точками можуть модифікуватись додатковими обмеженнями – погодними умовами, загрозами, тощо.

Таким чином, ця задача зводиться до задачі **Multiple Depot VRP, MDVRP** (або транспортна задача з декількома депо) з додатковими обмеженнями. Задачі маршрутизації транспорту (Vehicle Routing Problems, VRP), включаючи MDVRP – це оптимізаційні задачі, що відноситься до класу NP-важких задач [12]; це означає, що обчислювальна складність задачі залежить від розміру вхідних даних експоненційно.

Розглянемо тепер шлях розв'язання поставленої задачі. Для побудови оптимального маршруту слід оцінити вагу ребер. При цій побудові маршруту враховуються такі обмеження як погодні умови (в першу чергу несприятливий зустрічний вітер), ресурс ходу РРС (з урахуванням необхідності повернення до депо для дозаправки) та ін. Обмеження представляють собою збільшену вагу ребер.

Для розв'язання додаткової задачі – задачі ретрансляції – є два шляхи. Першим шляхом, який розглянутий в даній роботі, є розв'язання задачі маршрутизації без урахування необхідності ретрансляції. Після цього другим етапом роботи алгоритму визначається, які РРС на якій ділянці потребують ретрансляції сигналів керування та/або руху на автопілоті. Далі розв'язується окрема задача визначення зон потрібного місцезнаходження ретрансляторів та мінімізації їх кількості.

В подальшому буде розглянутий другий шлях – інтегральне розв'язання задачі маршрутизації з мінімізацією необхідних ретрансляцій в якості додаткового параметру.

Задача є динамічною – в будь-який момент часу умови можуть змінитись. В цьому випадку слід виконати перебудову маршрутів на основі змінених умов та з урахуванням вже подоланої частини маршруту. Оскільки розмірність задачі є невеликою, можливе її розв'язання на звичайному портативному персональному комп'ютері за прийнятний час – для колективу малих БПЛА (3 одиниці) з дальністю до 25 км. Для середніх (125 км) і великих (200 км) – ця задача може розв'язуватись на сервері або спеціалізованих комп'ютерах.

Висновки

Створення спеціальної мережі для групи РРС, яку можливо розгорнути у польових умовах є актуальною науково-прикладною задачею. Щоб досягти максимуму ефективності РРС, особлива увага була приділена питанням моделювання та оптимізації управління групою БПЛА та БНР при виконанні поставленої задачі як єдиної команди.

Предметом розгляду також стала формалізація задачі маршрутизації ТЗ при необхідності обстеження певної території. Проблему зведено до задачі маршрутизації ТЗ з декількома депо із додатковими обмеженнями. Для класичної задачі відомі ефективні та швидкі алгоритми пошуку наближених розв'язків, що дозволить значно спростити розв'язування задачі маршрутизації ТЗ, яка є NP-складною задачею. В результаті виконання формалізації задачі маршрутизації ТЗ при необхідності обстеження певної території її було зведено до задачі маршрутизації ТЗ з декількома депо із додатковими обмеженнями.

Поширені комплекси імітаційного моделювання ґрунтуються на відомих концепціях, стандартах IEEE-1516, відкритих архітектурах (DIS, HLA) та відомих протоколах (DIS), що дозволяє поєднувати ці комплекси в єдині інформаційні структури (RTI) не зважаючи на рівень складності цього комплексу моделювання та його призначення.

При розробці єдиного інформаційного середовища для моделювання чарункових та Ad hoc мереж варто приймати досвід використання розроблених стандартів, відкритих архітектур та протоколів, більшість з яких є відкритими та безкоштовними.

Основними напрямками подальшої роботи по вдосконалюванню засобів імітаційного моделювання мереж керування групою РРС та АСУВ є:

- уніфікація опису відомостей, даних, інформації й протоколів взаємодії елементів системи управління;
- розробка системи забезпечення спільної поінформованості про обстановку, яка склалася, й на цій основі здійснення розподіленого управління, створення системи моделювання та підтримки прийняття рішень;
- створення єдиного інформаційного простору на основі інтеграції загальних даних і їхніх описів по видах функціональної діяльності на всіх рівнях (ланках) керування;

- завершення розробки і передача в дослідну експлуатацію на полігоні ЄАСУ програмного забезпечення для інтеграції засобів моделювання;
- створення власної HLA-подібної технології і реєстрація комплексу спеціальних програм, що реалізують дану технологію;
- постановка задачі оптимального управління для колективом РРС при відвідуванні заданої множини об'єктів та у випадку, коли конкретні об’єкти не задані;
- розробка набору алгоритмів захищеної передачі інформації у спеціальній мережі та дистанційного радіокерування БПЛА та БНР за шаблонами сценаріїв маневрів.

Також напрямом подальших досліджень є побудова моделі планування польотів груп БПЛА, які частину шляху пролітають на автопілоті та інтегральне розв’язання задачі маршрутизації з мінімізацією необхідних ретрансляцій в якості додаткового параметру. Ця задача є оригінальною, втім має певні аналогії із відомою задачею маршрутизації транспортних засобів.

Література

1. 1516.1-2010 IEEE Standard for Modeling and Simulation (M&S) High Level Architecture (HLA). Federate Interface Specification [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://standards.ieee.org/findstds/standard/1516.1-2010.html

2. U.S. Defense Modeling and Simulation Office (2001). RTI 1.3-Next Generation Programmer's Guide Version 4. U.S. Department of Defense [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://hla-rti.wikispaces.com/file/view/RTI_NG13_Programer+Guide.pdf

3. Standard: NATO - STANAG 4603 Modelling and Simulation Architecture Standards for Technical Interoperability: High Level Architecture (HLA) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://standards.globalspec.com/std/9901878/nato-stanag-4603

4. Корольов В. Ю. Аналіз задачі маршрутизації для тактичних мереж сил спеціальних операцій / В. Ю. Корольов // Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика: Вісник університету «Україна». – 2015. – № 2(18). – С. 64–76.

5. Fujimoto R. The High Level Architecture: Introduction. [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.acm-sigsim-mskr.org/Courseware/Fujimoto/Slides/FujimotoSlides-20-HighLevelArchitectureIntro.pdf

6. Bjorn M. The HLA Tutorial a Practical Guide for Developing Distributed Simulations [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.pitchtechnologies.com/wp-content/uploads/2014/04/TheHLAtutorial.pdf

7. Корольов В. Ю. Захист інформації в корпоративних USB-флеш накопичувачах для хмарних обчислень / В. Ю. Корольов // Математичні машини і системи. – 2012. – № 2. – С. 60–69.

8. Glen D. Johnson Network Simulation with HLA AND MODSIM III [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.informs-sim.org/wsc99papers/155.PDF

9. Run-time infrastructure (simulation) [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://en.wikipedia.org/wiki/Run-time_infrastructure_(simulation)

10. Гуляницкий Л. Ф. Решение Н-методом задачи оптимизации маршрутов транспортных средств с временными окнами / Л. Ф. Гуляницький, А. В. Самусь // Компьютерная математика. – 2012. – № 2. – С. 147–155.

11. Alireza R. A path relinking algorithm for a multi-depot periodic vehicle routing problem / R. Alireza, T. G. Crainic, M. Gendreau, W. Rei // Journal of Heuristics. – 2013. – № 19(3). – P. 497–524.

12. Cordeau J. F. A guide to vehicle routing heuristics / J. F. Cordeau, M. Gendreau, G. Laporte, J. Y. Potvin, F. Semet // Journal of the Operational Research society. – 2002. – P. 512–522.

Рецензія/Peer review : 17.1.2017 р. Надрукована/Printed :5.2.2017 р.
Рецензент : д.т.н. Гуляницький Л.Ф.

УДК 621.317.08

А.В. РУДИК
Національний авіаційний університет, м. Київ

МЕТОДИКА ВИБОРУ ЧАСТОТИ ДИСКРЕТИЗАЦІЇ СИГНАЛІВ ДАВАЧІВ НАВІГАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ТА ВИКОНАВЧИХ ПРИСТРОЇВ МОБІЛЬНИХ РОБОТОТЕХНІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ

В статті запропоновано методику вибору частоти дискретизації сигналів давачів навігаційної системи та виконавчих пристроїв в системі керування мобільного робототехнічного комплексу з врахуванням структурних зв'язків давачів та виконавчих пристроїв, що дозволяє знаходити оптимальні значення частот дискретизації сигналів давачів та виконавчих пристроїв. Частоти дискретизації сигналів визначаються за результатами розв'язання прямої задачі розподілу похибок відносно похибки дискретизації – відновлення для кожного з каналів керування. Кількість частот дискретизації кожного давача дорівнює кількості виконавчих пристроїв за структурою системи керування, на формування сигналів керування яких впливає сигнал даного давача. Показано, що при введенні даних відбувається штучне завищення мінімальної частоти дискретизації, яке дозволяє отримати оптимальну програму опитування.

Ключові слова: частота дискретизації, система керування, давач, виконавчий пристрій, мобільний робототехнічний комплекс, програма опитування.

A.V. RUDYK
National Aviation University, Kyiv, Ukraine

METHOD OF SELECTION SENSORS SAMPLING FREQUENCY SIGNALS OF NAVIGATION SYSTEMS AND ACTUATORS MOBILE ROBOTIC COMPLEX

In article proposals choice technique of sensors sampling frequency signals of navigation system and actuators in control system of mobile robotic complex under certain structural links sensors and actuators, which gives the optimal values of the sampling frequency these devices. Sampling frequency signals determined by the results of decisions direct error distribution problem with respect to sampling - recovery error for each control channel. The number of the sampling frequency of each sensor equal to the number of actuators in control system structure, the formation of which control signals that affect the sensor signal. Shows that when entering data there is an artificial increase the minimal sampling frequency for the optimize sensor interrogation program.

Keywords: sampling frequency, control system, sensor, actuator, mobile robotic complex, interrogation program.

Вступ

В системі керування мобільного робототехнічного комплексу (МРТК) один давач може брати участь у формуванні керуючої дії для декількох виконавчих пристроїв, а сигнал, що подається на виконавчий пристрій, може залежати від сигналів декількох давачів. Така структура побудови системи керування МРТК не дозволяє використовувати традиційні способи визначення потрібних частот дискретизації [1–3]. Крім того, програми вводу – виводу сигналів в системі керування через інтерфейсну шину також накладають свої додаткові вимоги на значення частот дискретизації.

Тому значення частоти дискретизації аналогових сигналів давачів та виконавчих пристроїв в системах керування МРТК мають вибиратися з обов'язковим врахуванням структури системи.

Постановка задачі

Структурна схема системи керування на основі цифрової інтерфейсної шини [4–6] наведена на рис. 1. До складу системи керування входять об'єкт керування, блоки вводу та виводу даних, блок керування та цифрова інтерфейсна шина.

До складу об'єкту керування входять n давачів та m виконавчих пристроїв. Сигнал кожного i-го давача $(1 \le i \le n)$ вводиться до системи керування за допомогою передавальної частини блоку вводу даних, яка складається з k модулів вводу даних. Сигнали для кожного j-го виконавчого пристрою $(1 \le j \le m)$ вводяться за допомогою приймальної частини блоку виводу даних, яка складається з p модулів виводу даних.

Блок керування складається з модуля реалізації алгоритму керування, приймальної частини блоку вводу даних та передавальної частини блоку виводу даних. В колі "давач – виконавчий пристрій" відбувається дискретизація аналогового сигналу давача та перетворення цифрового сигналу у вихідний аналоговий сигнал керування. В одноканальній структурі за результатами оцінки таких процесів відбувається вибір частоти дискретизації [2, 3, 7]. Однак в системі керування рис. 1 оцінка має проводитися з врахуванням структури системи.

Метою даної роботи є вдосконалення та практичне використання алгоритму знаходження підсумкової частоти дискретизації сигналів n давачів, які формують сигнали керування для m виконавчих пристроїв мобільного робототехнічного комплексу.

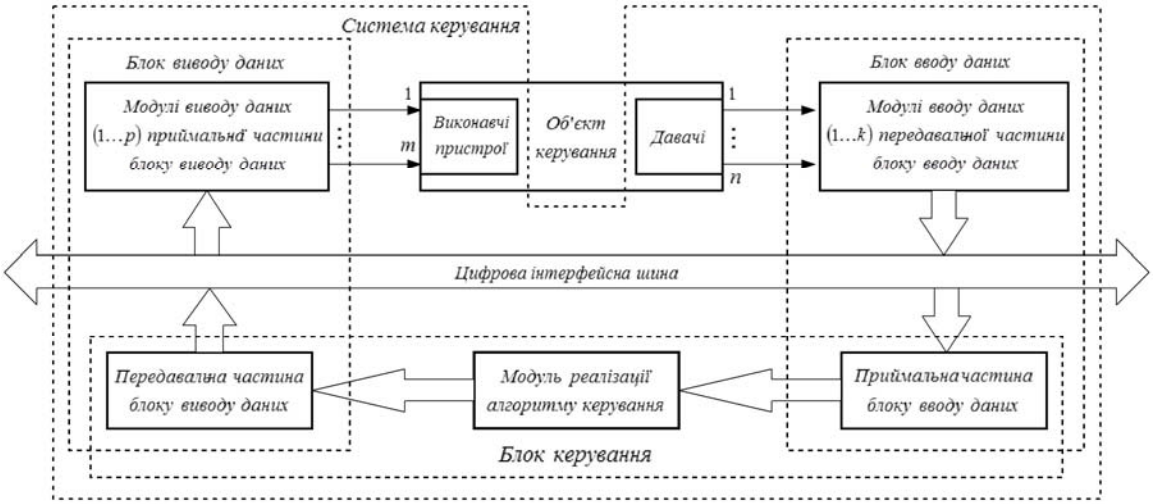


Рис. 1. Структурна схема системи керування на основі цифрової інтерфейсної шини

Розв'язання поставленої задачі

Як показано в роботах [8, 9], оптимальна частота дискретизації в системі керування визначається як результат розв'язання прямої задачі розподілу похибок:

$$\delta^2_{БПij} = K^2_{Bij}\delta^2_{Hij} + \delta^2_{ВДij.мет} = \delta^2_{\Sigma ij} - \left(K^2_{Bij}\delta^2_{BBij} + \delta^2_{AKj} + \delta^2_{ВИВij}\right). \quad (1)$$

В (1) введено такі позначення: $i = 1,2,\ldots n$ – номер давача, n – кількість давачів; $j = 1,2,\ldots m$ – номер виконавчого пристрою, m – кількість виконавчих пристроїв; $\delta_{БПij}$ – середньоквадратична похибка (СКП) системи керування, яка визначає величину частоти дискретизації; $\delta_{\Sigma ij}$ – сумарне значення СКП ij-го каналу керування; δ_{BBij} – СКП системи керування для вводу сигналу i-го давача для керування j-м виконавчим пристроєм (від i-го давача до системи керування); δ_{Hij} – СКП накладання спектрів, яка виникає при дискретизації сигналу i-го давача в процесі формування сигналу керування для j-го виконавчого пристрою; $\delta_{ВИВij}$ – СКП системи керування при виводі сигналу для j-го виконавчого пристрою під дією i-го давача (від системи керування до j-го виконавчого пристрою); $\delta_{ВДij.мет}$ – методична похибка відновлення сигналу керування для j-го виконавчого пристрою при формуванні сигналу керування від i-го давача; δ_{AKj} – СКП реалізації алгоритму керування для j-го виконавчого пристрою; K_{Bij} – коефіцієнт впливу каналу i-го давача на j-й канал керування, $K_{Bij} \le 1$.

Якщо i-ий давач не бере участі в процесі формування сигналу керування для j-го виконавчого пристрою, то відповідний коефіцієнт впливу $K_{Bij} = 0$. Конкретне значення коефіцієнта впливу встановлюють відповідно до алгоритму керування для кожного каналу.

В кожному з $n \cdot m$ каналів системи згідно з (1) наявні похибки, які напряму визначають величину частоти дискретизації [2, 3, 9]. Похибка δ_{Hij} визначає величину частоти дискретизації сигналу i-го давача $f_{ДijH}$ при накладанні спектрів сигналів, а похибка $\delta_{ВДij.мет}$ – величину частоти дискретизації сигналу керування для j-го виконавчого пристрою $f_{ДijB}$ при відновленні сигналу керування. Тоді відповідно до (1) в системі керування рис. 1 в найгіршому випадку буде $2 \cdot n \cdot m$ частот дискретизації, з точки зору похибок накладання спектрів буде $n \cdot m$ частот дискретизації $f_{ДijH}$:

$$f_{ДijH} = F_H\left(\delta_{Hij}\right), \quad (2)$$

а з точки зору методичних похибок відновлення також буде $n \cdot m$ частот дискретизації $f_{ДijB}$:

$$f_{ДijB} = F_M\left(\delta_{ВДij.мет}\right). \quad (3)$$

Однак ці частоти необхідно розглядати парами: $\left\{f_{ДijH};\ f_{ДijB}\right\}$. Далі можна використовувати один з двох алгоритмів, розглянутих в роботах [8, 10]. Відповідно до алгоритму [10] з пари частот вибирають максимальну: $f_{Дij.\max} = \left\{f_{ДijH};\ f_{ДijB}\right\}_{\max}$, а відповідно до ітераційного алгоритму [8] проводиться перерозподіл похибок δ_{Hij} та $\delta_{ВДij.мет}$ між собою доти, поки не буде виконуватися рівність частот $f_{ДijH} = f_{ДijB}$.

Кожний *i*-й давач (*j*-й виконавчий пристрій) в граничному випадку буде мати *m* (*n*) частот дискретизації, з яких вибирається максимальна, що і буде частотою дискретизації *i*-го давача (частотою видачі інформації на *j*-й виконавчий пристрій). На рис. 2 наведена робота такого алгоритму визначення частот дискретизації для довільної системи керування, яка описується набором рівнянь:

$$\begin{aligned} &F_{ВП1} = \{F_{Д11},\ F_{Д12},\ F_{Д13}\};\\ &F_{ВП2} = \{F_{Д23},\ F_{Д2n}\};\\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\ &F_{ВПm} = \{F_{Дm2},\ F_{Дm3},\ F_{Дmn}\}. \end{aligned} \tag{4}$$

Відповідно до рівнянь (4) система керування формує *m* керуючих дій $F_{ВПj}$, які отримують як результат реалізації *m* функцій керування типу $\{F_{Д11}, F_{Д12}, \ldots, F_{Дij}, \ldots, F_{Дmn}\}$. Аргументами функцій керування є сигнали *n* давачів, а змістова частина визначається використовуваним алгоритмом керування. Аналізуючи кожну функцію керування, встановлюють величини коефіцієнтів впливу K_{Bij}. Кожний зв'язок *i*-го давача з *j*-м виконавчим пристроєм має задачу розподілу похибок, результатом розв'язання якої є знаходження двох частот дискретизації $f_{ДijH}$ та $f_{ДijB}$ за методиками, розглянутими в роботах [1, 8, 10].

Кількість частот дискретизації, що буде мати кожний *i*-й давач, дорівнює кількості виконавчих пристроїв, які використовують його сигнал. Кількість частот дискретизації, що буде мати кожний *j*-й виконавчий пристрій, дорівнює кількості давачів, сигнали яких використовуються для формування керуючої дії.

Підсумкові частоти дискретизації сигналів *i*-го давача або *j*-го виконавчого пристрою ($f_{ДijH}$ та $f_{ДijB}$) будуть дорівнювати максимальним частотам дискретизації з усіх частот, які отримані для *i*-го давача або *j*-го виконавчого пристрою. Для варіанту реалізації системи керування (рис. 2) ці частоти наведені в (5):

$$\begin{aligned} &f_{Д1H} = \{f_{Д11H}\};\\ &f_{Д2H} = \{f_{Д21H},\ f_{Д2mH}\}_{\max};\\ &f_{Д3H} = \{f_{Д31H},\ f_{Д32H},\ f_{Д3mH}\}_{\max};\\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\ &f_{ДnH} = \{f_{Дn2H},\ f_{ДnmH}\}_{\max}. \end{aligned} \qquad \begin{aligned} &f_{Д1B} = \{f_{Д11B},\ f_{Д21B},\ f_{Д31B}\}_{\max};\\ &f_{Д2B} = \{f_{Д32B},\ f_{Дn2B}\}_{\max};\\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\ &f_{ДmB} = \{f_{Д2mB},\ f_{Д3mB},\ f_{ДnmB}\}_{\max}. \end{aligned} \tag{5}$$

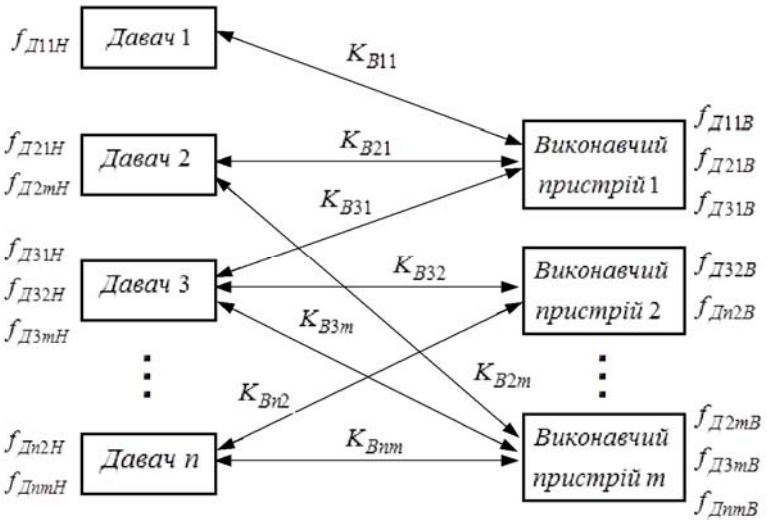


Рис. 2. Робота алгоритму визначення частот дискретизації для довільної системи керування

Потрібна частота дискретизації каналу цифрового інтерфейсу вводу-виводу для вводу сигналів *n* давачів та виводу сигналів для *m* виконавчих пристроїв f_{Σ} визначається сумою частот дискретизації модулів вводу $f_{\Sigma Д}$ та виводу $f_{\Sigma ВП}$ даних:

$$f_{\Sigma} = f_{\Sigma Д} + f_{\Sigma ВП} = \sum_{i=1}^{n} f_{ДiH} + \sum_{j=1}^{m} f_{ДjB}\ . \tag{6}$$

При цьому сумарна частота дискретизації $f_{\Sigma Д}$ фактично є тактовою частотою роботи аналогового інтерфейсу і визначає потрібну мінімальну швидкість вводу інформації в цифровій системі контролю та

керування [9]. Циклом опитування давачів є часовий інтервал $T_Ц = \dfrac{1}{f_{ДіН.\min}}$, протягом якого будуть прийняті цифрові сигнали від усіх давачів. Тривалість циклу опитування визначається частотою опитування сигналу давача з мінімальною частотою $f_{ДіН.\min}$, а під час циклу опитування цей давач буде опитаний тільки один раз.

Якщо частоти дискретизації всіх давачів однакові, тобто $f_{ДіН.\min} = f_{ДіН.\max}$, то алгоритм вводу інформації є циклічним. Якщо $f_{ДіН.\min} < f_{ДіН.\max}$, то такий алгоритм вводу інформації є програмним, при якому кількість тактів опитування в циклі l_Σ може значно перевищувати кількість давачів *n* [12]:

$$l_\Sigma = \frac{f_{\Sigma Д}}{f_{ДіН.\min}} = \frac{1}{T_{\Sigma Д} f_{ДіН.\min}} = \frac{T_Ц}{T_{\Sigma Д}}. \tag{7}$$

Особливістю програмного опитування є те, що окремі давачі в циклі опитуються декілька разів, при цьому кількість опитувань *i*-го давача в циклі $l_i = \dfrac{f_{ДіН}}{f_{ДіН.\min}}$. В даному випадку необхідно виконати умову рівності l_i інтервалів опитування давачів у циклі, а $l_\Sigma = \sum_{i=1}^{n} l_i$.

При використанні програмного опитування можливим є додаткове збільшення потрібної частоти вводу інформації в цифрову систему контролю та керування, що пов'язано з двома процесами [12]:

- приведенням кількості опитувань в циклі до цілих чисел $\left(f_{\Sigma Д1}\right)$;
- розміщенням програми опитування всередині циклу $\left(f_{\Sigma Д2}\right)$.

Реально кількість опитувань одного давача може бути тільки цілим числом, тобто

$$l_{i1} = \left\lceil \frac{f_{ДіН}}{f_{ДіН.\min}} \right\rceil, \tag{8}$$

де оператор $\lceil\ \rceil$ означає, що береться найближче більше ціле число, а кількість тактів опитування в циклі

$$l_{\Sigma 1} = \sum_{i=1}^{n} l_{i1}. \tag{9}$$

Це приводить до того, що частота роботи аналогового інтерфейсу для опитування *n* давачів $f_{\Sigma Д}$ збільшиться у порівнянні з (6) до значення $f_{\Sigma Д1}$:

$$f_{\Sigma Д1} = f_{ДіН.\min} \cdot \sum_{i=1}^{n} l_{i1}. \tag{10}$$

З співвідношень (8) та (10) отримуємо обмеження значення можливого збільшення частоти опитування давачів в аналоговому інтерфейсі: $f_{\Sigma Д1} = f_{\Sigma Д} + n \cdot f_{ДіН.\min}$. Імпульси опитування кожного давача в циклі мають бути розташовані через однакову кількість тактів, що можна записати як

$$\frac{l_{\Sigma 1}}{l_{i1}} = q_i, \quad де\ q_i = 1,\ 2,\ 3,\ 4,\ldots \tag{11}$$

Якщо умова (11) не виконується, то окремі інтервали опитування всередині циклу необхідно коригувати, що відбувається при збільшенні $f_{\Sigma Д2}$.

Проблема створення оптимальної програми опитування давачів в аналоговому інтерфейсі полягає в розв'язанні комбінаторної задачі повного перебору усіх можливих варіантів. Однак навіть для порівняно невеликої кількості давачів часто такий підхід є непридатним через велике обчислювальне навантаження та складне логічне описання задачі.

Результати проведених досліджень показали, що спеціальне завищення значення частоти $f_{ДіН.\min}$ оптимізує значення потрібної частоти вводу інформації аналогового інтерфейсу після процедури приведення кількості опитувань в циклі до цілих чисел, наближаючи її до $f_{\Sigma Д}$. При реалізації такого алгоритму необхідно збільшувати значення $f_{ДіН.\min}$ з деяким кроком, однак штучне завищення $f_{ДіН.\min}$ суттєво змінює величину відношення $\dfrac{f_{\Sigma Д1}}{f_{\Sigma Д}}$. В таблиці 1 наведений приклад розрахунку частоти дискретизації $f_{\Sigma Д1}$ для навігаційної системи з сімома давачами (по три акселерометри та гіроскопи за відповідними осями, а

також висотомір) при різних значеннях $f_{ДiH.\min}$ [13]. Для розрахунку приймаємо такі частоти дискретизації давачів: $f_{Д1H}=15\ Гц$; $f_{Д2H}=25\ Гц$; $f_{Д3H}=27\ Гц$; $f_{Д4H}=31\ Гц$; $f_{Д5H}=35\ Гц$; $f_{Д6H}=40\ Гц$; $f_{Д7H}=60\ Гц$.

На графіку рис. 3 показана залежність $\frac{f_{\Sigma Д1}}{f_{\Sigma Д}}$ від $f_{\min}$, на якій виділяють мінімуми відношення $\frac{f_{\Sigma Д1}}{f_{\Sigma Д}}$. Оптимальні значення отримують при виборі мінімальної частоти за умови $f_{\min}=0.5\cdot f_{ДiH}$ при $i>1$.

Параметри аналогового інтерфейсу, які відповідають цим мінімумам, вважають потенційно близькими до оптимальних. В таблиці 1 ці варіанти $f_{\min}$ виділені жирним шрифтом. Для прийняття рішення про оптимальний варіант необхідно додатково розв'язати задачу складання програми опитування для виділених варіантів.

Процедура розміщення програми опитування всередині циклу приводить до збільшення частоти роботи аналогового інтерфейсу до значення $f_{\Sigma Д2}$ тому, що відношення $\frac{l_{\Sigma 1}}{l_i}=q_i$ не є цілим числом, а також при розміщенні необхідно імпульс опитування в програмі опитування зміщувати з оптимального місця тому, що воно зайняте імпульсом іншого давача, який розподілявся раніше.

Таблиця 1

Результати розрахунку тактової частоти роботи інтерфейсу як функції мінімальної частоти дискретизації давачів

№	$f_{\min}$, Гц	$\left\lceil\frac{15}{f_{\min}}\right\rceil$	$\left\lceil\frac{25}{f_{\min}}\right\rceil$	$\left\lceil\frac{27}{f_{\min}}\right\rceil$	$\left\lceil\frac{31}{f_{\min}}\right\rceil$	$\left\lceil\frac{35}{f_{\min}}\right\rceil$	$\left\lceil\frac{40}{f_{\min}}\right\rceil$	$\left\lceil\frac{60}{f_{\min}}\right\rceil$	$f_{\Sigma Д}$, Гц	$f_{\Sigma Д1}$, Гц	$\frac{f_{\Sigma Д1}}{f_{\Sigma Д}}$	l_Σ
1	15	1	2	2	3	3	3	4	233	270	1.159	18
2	15.5	1	2	2	2	3	3	4	233	263.5	1.131	17
3	16	1	2	2	2	3	3	4	233	272	1.167	17
4	16.5	1	2	2	2	3	3	4	233	280.5	1.204	17
5	17	1	2	2	2	3	3	4	233	289	1.24	17
6	18	1	2	2	2	2	3	4	233	288	1.236	16
7	19	1	2	2	2	2	3	4	233	304	1.305	16
8	20	1	2	2	2	2	2	3	233	280	1.202	14
9	30	1	1	1	2	2	2	2	233	330	1.416	11
10	60	1	1	1	1	1	1	1	233	420	1.806	7

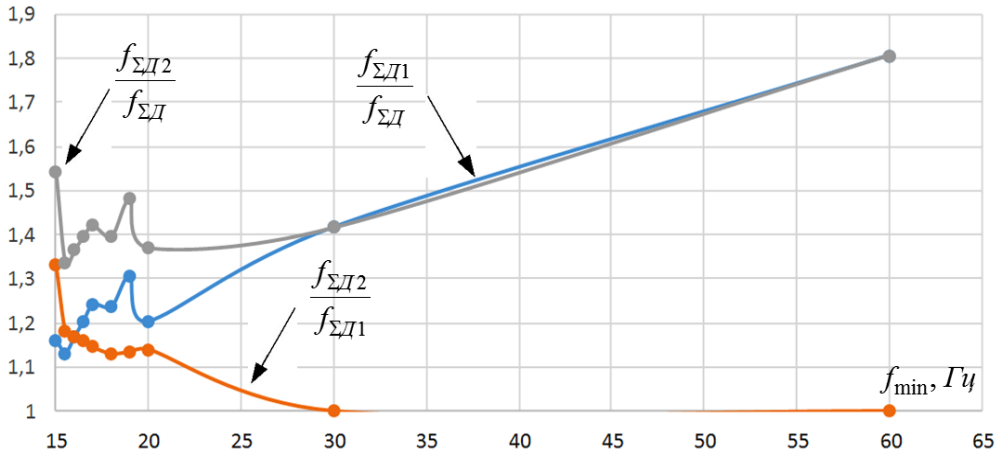


Рис. 3. Залежність тактових частот інтерфейсу від значення мінімальної частоти дискретизації давачів

Для останнього варіанту №10 коефіцієнти $\frac{f_{\Sigma Д2}}{f_{\Sigma Д1}}=1$ та $\frac{f_{\Sigma Д2}}{f_{\Sigma Д}}=\frac{f_{\Sigma Д1}}{f_{\Sigma Д}}$ отримують автоматично, тому що при циклічному опитуванні для даного варіанту програма опитування розподіляється в циклі без втрат.

Розв'язок задачі розміщення програми опитування для варіантів №1 при $l_\Sigma=18$, №2 при $l_\Sigma=17$, №6 при $l_\Sigma=16$ і №8 при $l_\Sigma=14$ представлений на рис. 4, а результати розміщення для цих варіантів – в

таблиці 2.

З таблиці 2 виходить, що варіант №1 для задачі розміщення потребує збільшення частоти опитування в 1.33 рази, варіант №2 – в 1.18 рази, варіант №6 – в 1.13 рази, а варіант №8 – в 1.14 рази. Для варіантів №9 і №10 програма опитування розміщується без втрат, тобто $\frac{f_{\Sigma Д2}}{f_{\Sigma Д1}}=1$. Отримана в результаті розв'язання задачі розміщення програм всередині циклу інформація занесена в таблицю 3, в якій наведені виділені варіанти.

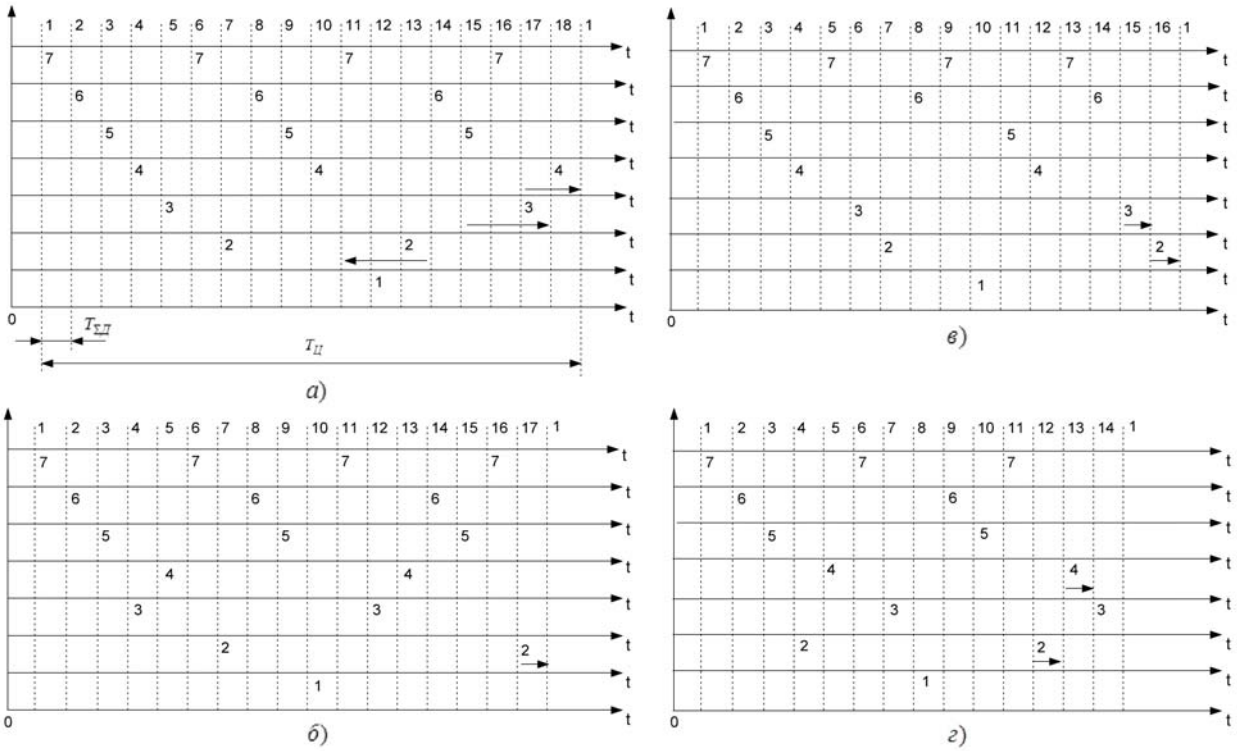


Рис. 4. Розміщення імпульсів опитування для різних варіантів: а) варіант №1; б) варіант №2; в) варіант №6; г) варіант №8

Таблиця 2

Результати розміщення для різних варіантів розв'язання задачі опитування

№ давача	Потрібний інтервал опитування давача в тактах $\frac{l_{\Sigma 1}}{l_i}=q_i$ для відповідного варіанту				Максимальний інтервал опитування давача в тактах $q_{i.\max}$ для відповідного варіанту				Необхідне збільшення сумарної частоти інтерфейсу в результаті розв'язання задачі розміщення $\frac{f_{\Sigma Д2}}{f_{\Sigma Д1}}=\frac{q_{i.\max}}{q_i}$ для відповідного варіанту			
	№1	№2	№6	№8	№1	№2	№6	№8	№1	№2	№6	№8
7	4.5	4.25	4	4.67	5	5	4	5	1.11	1.18	1	1.07
6	6	5.67	5.33	7	6	6	6	7	1	1.06	1.13	1
5	6	5.67	8	7	6	6	8	7	1	1.06	1	1
4	6	8.5	8	7	8	9	8	8	1.33	1.06	1	1.14
3	9	8.5	8	7	12	9	9	7	1.33	1.06	1.125	1
2	9	8.5	8	7	12	10	9	8	1.33	1.18	1.125	1.14
1	18	17	16	14	18	17	16	14	1	1	1	1

На графіку (рис. 3) наведені загальні результати формування програми опитування. Як видно з підсумкової залежності $\frac{f_{\Sigma Д2}}{f_{\Sigma Д1}}=F(f_{\min})$, наявним є мінімум функції. Варіанти формування програми опитування, що знаходяться в зоні цього мінімуму, будуть близькими до оптимальної.

З таблиці 3 та графіків рис. 3 можна зробити висновок, що оптимальності варіантів №2 та №8 практично рівноцінні. Тому можна рекомендувати вибрати варіант №8, який має меншу кількість імпульсів опитування (14 імпульсів) та більш наочну програму розміщення імпульсів опитування всередині циклу.

Таблиця 3

Підсумкові значення варіантів розміщення програми опитування

№	$f_{\min}$, Гц	$\left\lceil \frac{15}{f_{\min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{25}{f_{\min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{27}{f_{\min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{31}{f_{\min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{35}{f_{\min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{40}{f_{\min}} \right\rceil$	$\left\lceil \frac{60}{f_{\min}} \right\rceil$	$\frac{f_{\Sigma Д1}}{f_{\Sigma Д}}$	l_{Σ}	$\frac{f_{\Sigma Д2}}{f_{\Sigma Д1}}$	$\frac{f_{\Sigma Д2}}{f_{\Sigma Д}}$
1	15	1	2	2	3	3	3	4	1.159	18	1.33	1.541
2	15.5	1	2	2	2	3	3	4	1.131	17	1.18	1.335
6	18	1	2	2	2	2	3	4	1.236	16	1.13	1.397
8	20	1	2	2	2	2	2	3	1.202	14	1.14	1.37
9	30	1	1	1	2	2	2	2	1.416	11	1	1.416
10	60	1	1	1	1	1	1	1	1.806	7	1	1.806

В розглянутому варіанті №10 при використанні циклічного опитування частота опитування в аналоговому інтерфейсі збільшується у порівнянні з вибраним оптимальним варіантом №8 у 1.806/1.37=1.318 рази, при цьому розкид між $f_{\min}$ та $f_{\max}$ невеликий і складає 4 рази. При великих значеннях розкиду між $f_{\min}$ та $f_{\max}$ частота опитування в аналоговому інтерфейсі при використанні циклічного опитування збільшується в рази у порівнянні з оптимальним варіантом. Тому на практиці отримані в (6) значення частот корегують:

$$f_{\Sigma Д.кор} = K_{Д1} K_{Д2} f_{\Sigma Д}; \qquad f_{\Sigma ВП.кор} = K_{ВП1} K_{ВП2} f_{\Sigma ВП}; \tag{12}$$

Коефіцієнти у співвідношенні (12) більші за одиницю, при цьому коефіцієнти $K_{Д1}$ та $K_{ВП1}$ визначаються процедурою приведення кількості команд вводу-виводу в циклі до цілих чисел, а коефіцієнти $K_{Д2}$ та $K_{ВП2}$ – необхідністю рівномірного розміщення команд вводу-виводу всередині циклу. Корегування пов'язано з тим, що відношення $\frac{f_{ДiH}}{f_{ДiH.\min}}$, $\frac{f_{\Sigma Д}}{f_{ДiH}}$, $\frac{f_{ДjB}}{f_{ДjB.\min}}$ та $\frac{f_{\Sigma ВП}}{f_{ДjB}}$ для кожного i та j мають бути цілими числами.

Врахування зазначених коефіцієнтів може в окремих випадках привести до збільшення частоти дискретизації на (60…80)%. Для нормальної роботи системи керування цифрові відліки всіх n давачів на вході модуля реалізації алгоритму керування мають бути синхронними, тобто мати однакову частоту дискретизації $f_{ДН}$, а також синфазними, тобто мати один і той самий час взяття відліку. Спільною для всіх давачів частотою буде частота давача, що має максимальне значення частоти дискретизації: $f_{ДН} = \left\{ f_{Д1H}, f_{Д2H}, f_{ДnH} \right\}_{\max}$.

При виборі частоти дискретизації можливі два варіанти: або всі n давачів мають однакову частоту дискретизації $f_{ДН}$, або кожний давач має власну частоту дискредитації з врахуванням коефіцієнтів $K_{Д1}$ та $K_{Д2}$.

Однак в другому варіанті до подачі цифрових відліків в модуль реалізації алгоритму керування відбувається передискретизація цифрових сигналів давачів з використанням операції проміжного відновлення недостатніх відліків цифрового сигналу при використанні процедури екстраполяції або інтерполяції з визначенням нової частоти дискретизації $f_{ДН}$. Цифровий сигнал давача з максимальною частотою дискретизації $f_{ДН}$ подається на вхід модуля реалізації алгоритму керування без зміни, в результаті чого на вході даного модуля частота дискретизації сигналів кожного давача буде дорівнювати $f_{ДН}$.

Обидва розглянуті варіанти мають як переваги, так і недоліки. Перевагою першого варіанту є простота виконання умови рівності частот, а недоліком – висока потрібна частота роботи цифрового інтерфейсу вводу-виводу, яка в окремих випадках може в десятки разів перевищувати попередню сумарну частоту дискретизації усіх давачів (6). Перевагою другого варіанту є оптимальна частота роботи цифрового інтерфейсу вводу-виводу, а недоліком – необхідність реалізації операцій цифрового відновлення сигналів давачів для передискретизації, що призводить до додаткової затримки сигналу та збільшує похибку процедури вводу сигналу.

Однак в одному окремому випадку цей недолік другого варіанту можна виключити. Якщо в системі керування для відновлення сигналів виконавчих пристроїв використовуються поліноми нульового порядку, то при проміжному відновленні сигналів з метою передискретизації на вході модуля реалізації алгоритму керування також доцільно використовувати екстраполяцію нульового порядку, яка практично не потребує додаткових програмних або апаратних витрат. Тому блок вводу інформації, в якому використовується другий варіант вибору частоти дискретизації з використанням екстраполяції нульового порядку для проміжного відновлення цифрових сигналів давачів на вході модуля реалізації алгоритму керування, має

мінімальну сумарну СКП.

Висновки

В статті запропоновано методику вибору частоти дискретизації сигналів давачів навігаційної системи та виконавчих пристроїв в системі керування мобільного робототехнічного комплексу з врахуванням структурних зв'язків давачів та виконавчих пристроїв, що дозволяє знаходити оптимальні значення частот дискретизації сигналів давачів та виконавчих пристроїв.

Потенційно система керування, до складу якої входять *n* давачів та *m* виконавчих пристроїв, може мати $n \cdot m$ каналів керування. Основою структурного підходу до визначення частоти дискретизації сигналів системи керування є використання двох частот дискретизації, які можна встановити в кожному з $n \cdot m$ каналів системи: $f_{ДijH}$ та $f_{ДijB}$, які визначаються за результатами розв'язання прямої задачі розподілу похибок відносно похибки дискретизації – відновлення для кожного з $n \cdot m$ каналів керування.

Кількість частот дискретизації кожного давача дорівнює кількості виконавчих пристроїв за структурою системи керування, на формування сигналів керування яких впливає сигнал даного давача. При цьому частота дискретизації сигналу давача визначається максимальною з цих частот.

При введенні даних відбувається збільшення частоти дискретизації сигналу давача відносно необхідної з точки зору частотних властивостей давачів, похибки дискретизації-відновлення та умов відновлення інформації. Штучне завищення мінімальної частоти дискретизації давачів дозволяє отримати оптимальну програму опитування. На вході модуля реалізації алгоритму керування необхідно, щоб всі давачі мали однакову частоту дискретизації, що забезпечується або задаванням всім давачам максимальної частоту дискретизації, або при проміжному відновленні інформації на вході модуля реалізації алгоритму керування.

Література

1. Баранов Л.А. Квантование по уровню и временная дискретизация в цифровых системах управления / Баранов Л.А. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 304 с.

2. Maheshwari R. Multirate DSP and its technique to reduce the cost of the analog signal conditionary filters / R. Maheshwari, M. Bharadia, M. Gupta // International Journal of Computer Applications. – August 2010. – Vol. 4, № 10. – P. 27–34.

3. Crochiere R.E., Rabiner L.R. Interpolation and Decimation of digital signals. A Tutorial Review / R.E. Crochiere, L.R. Rabiner // Proceedings of the IEEE. – March 1981. – Vol. 69, № 3. – P. 300–332.

4. Парк Дж. Сбор данных в системах контроля и управления. Практическое руководство / Парк Дж., Маккей С. – М. : ООО «Группа ИТД», 2006. – 504 с.

5. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / Денисенко В.В. – М. : Горячая линия-Телеком, 2009. – 608 с.

6. Редькин П.П. Прецизионные системы сбора данных семейства MSC12xx фирмы Texas Instruments: архитектура, программирование, разработка приложений / Редькин П.П. – М. : Издательский дом «Додэка-XXI», 2006. – 608 с.

7. Цикин И.А. Дискретно-аналоговая обработка сигналов / Цикин И.А. – М. : Радио и связь, 1982. – 160 с.

8. Самойлов Л.К. Итерационные алгоритмы выбора частоты дискретизации аналоговых сигналов в цифровых системах управления и контроля / Л.К. Самойлов // Известия ЮФУ. Технические науки. – 2012. – № 2. – С. 43–53.

9. Дискретизация сигналов по времени (практика, алгоритмы) : монография / Самойлов Л.К., Палазиенко А.А., Сарычев В.В., Ткаченко Г.И. – Таганрог : Изд-во ТРТУ, 2000. – 81 с.

10. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях : в 2 т. Т. 1 / Макс Ж. – М. : Мир, 1983. – 312 с.

11. Сарычев В.В. Реализация программного опроса первичных преобразователей в информационно-измерительных системах / В.В. Сарычев, М.Г. Ткаченко, Г.И. Ткаченко // Известия ТТИ ЮФУ-Дон НТУ : материалы IX Международного научно-практического семинара «Практика и перспективы развития партнёрства в сфере высшей школы». Кн. 1. – Таганрог : Издательство ТТИ ЮФУ, 2008. – № 8. – С. 186–193.

12. Рудик А.В. Оптимізація алгоритму опитування давачів навігаційної системи мобільного робототехнічного комплексу в аналоговому інтерфейсі / А.В. Рудик // Збірник наукових праць 6-ї міжнародної науково-практичної конференції «Метрологія, технічне регулювання, якість: досягнення та перспективи». – Одеса : ФОП Бондаренко М.О., 2016. – С. 158–163.

13. Рудик А.В. Використання медіанної та діагностичної фільтрацій в мобільних робототехнічних комплексах для попередньої обробки сигналів / А.В. Рудик // Збірник наукових праць Одеської державної академії технічного регулювання та якості. – 2016. – № 1 (8). – С. 73–78.

Рецензія/Peer review : 14.1.2017 р. Надрукована/Printed :5.2.2017 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Древецький В.В.

УДК 681.518+621.891

О.А. ПАСІЧНИК
Хмельницький національний університет

МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНКИ ХАРАКТЕРИСТИК ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ, РЕАЛІЗОВАНОЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

На основі аналізу сучасного розвитку методів та засобів трибологічних вимірювань як найбільш досконалі визначено вимірювальні комплекси, реалізовані з використанням інформаційних технологій. Проаналізовано основні параметри вимірювальних систем трибологічного призначення та наведено загальну методологію їх отримання із зазначенням головних обмежувальних чинників.

Ключові слова: трибологічні вимірювання, інформаційні технології, методологія вимірювань.

O.A. PASICHNYK
Khmelnytsky National University

ASSESSMENT METHODOLOGY OF IMPLEMENTED CHARACTERISTICS OF MEASUREMENT SYSTEM USING INFORMATION TECHNOLOGY

Based on the analysis of modern development methods and tools for measuring tribological the most perfect objectified cheno measuring systems implemented using information technology. The basic parameters of tribological test purpose and some general methodology to obtain specifying them head-limiting factors.

Keywords: tribological measurement, information technology, measurement methodology.

Вступ

Сучасний стан розвитку техніки характеризується зростанням навантаженості машин, вузлів, агрегатів та окремих деталей. Досягнення науки та технологій практично виключило відмови технічних систем за критерієм міцності в умовах нормальної експлуатації. Складність та недостатня вивченість впливу процесів тертя та зношування на працездатність та довговічність машин й апаратів обумовлює суттєву частку відмов за трибологічними критеріями.

Об'єктивною обставиною, що сприяє підвищенню трибологічної надійності вузлів та агрегатів машин та апаратів, є вивчення відповідних властивостей матеріалів та систем з поглибленим рівнем інформативності та збереження з накопиченням та структуризацією.

Перед науковцями та дослідниками завжди стояло питання отримання максимально повної та правдивої інформації про явища і процеси, які мають місце під час проведення кожного досліду. Проблему збільшення обсягів отримуваної дослідної інформації та її достовірності можливо поділити на декілька таких складових: 1) зменшення часових інтервалів між вимірюваннями, 2) вимірювання параметрів процесів без їх зупинки або (та) без розбирання вузлів, 3) використання засобів реєстрації вимірюваних параметрів, які мала спотворюють досліджувані закономірності, 4) застосування засобів візуалізації досліджуваних процесів, 5) використання нових методів вимірювання, що ґрунтуються на принципово інших фізичних явища або процесах [1].

В роботах [2, 3] викладені основні загальні принципи побудови розрахунково-експериментальних методик оцінки довговічності вузлів тертя. Найбільш доцільним вважається розробка таких методик для типових вузлів тертя. На основі системного підходу розроблена структурна схема функціонування трибологічної системи з подальшою конкретизацією змісту окремих її елементів. Сформульовані вимоги до умов проведення лабораторних трибологічних випробувань на стадії оцінки ресурсу рухомих спряжень за критерієм зношування, коли вже обраний варіант конструктивного рішення вузла тертя.

Загальноприйнятим перспективним напрямком розвитку методології експериментальних випробувань є впровадження різного роду систем автоматичної реєстрації параметрів процесів [4, 5]. Необхідність застосування таких систем для трибологічних досліджень обумовлена, перш за все, двома чинниками: найбільш коректними є випробування, що проводяться без зупинки процесу та їх довготривалість.

Серед основних параметрів, які реєструються при випробуваннях на тертя та зношування найчастіше вимірюються: величина зносу; момент або сила тертя; температура; частота обертання рухомого елементу; час випробувань. Серед зазначених величин останні чотири автоматично вимірюються штатним обладнанням більшості сучасних машин тертя. Вимірювання величини зносу є більш складною задачею. Більшість методів визначення величини зносу вимагають не лише зупинки обладнання, але й розбирання спряження.

Поточний стан техніки та технологій загалом, та наукових досліджень зокрема, характеризується масштабним застосуванням інформаційних технологій широкого спектру та застосування [6–8].

Застосуванням інформаційних технологій в наукових дослідженнях полягає у реалізації апаратно-програмних комплексів, що можуть мати різну структуру та використовувати різноманітні методики вимірювань.

В роботах [4, 5, 9–11] розроблено апаратно-програмний комплекс автоматичного вимірювання і реєстрації величини зносу (КАВіРВЗ), який дозволяє автоматично реєструвати величину зносу та її зміну. В

роботах [4, 5] вимірювальний комплекс реалізований на базі оригінального механічного датчика переміщень, що використовує стандартний інтерфейс персонального комп'ютера. В роботах [9–11] створено комп'ютеризований комплекс для вимірювання лінійних переміщень та зносу на основі індуктивного датчика, який є більш чутливим, ніж згаданий вище механічний, але потребує наявності додаткового аналого-цифрового перетворювача.

В роботах [12–16] реалізовано програмно-апаратні комплекси для трибологічних вимірювань які ґрунтуються на засобах й методах цифрової фотографії з подальшим використанням алгоритмів обробки зображень.

Невід'ємною складовою застосування інформаційних технологій у практику трибологічних досліджень та вимірювань є розробка відповідного програмного забезпечення. Цього потребують як апаратно-програмні системи [17], так й програмно-апаратні [18, 19]. Програмне забезпечення таких вимірювальних систем є спеціалізованим внаслідок специфічності застосування.

Основна частина

Основними складовими сучасних автоматичних й автоматизованих систем вимірювання є датчик та персональний комп'ютер. З точки зору інформаційних технологій функціонування таких систем полягає у послідовному виконанні наступних дій (рис. 1):

- сприйняття первинної інформації,
- початкове перетворення первинної інформації,
- остаточне перетворення інформації,
- збереження інформації.

Вимірювальні системи можливо умовно поділити на апаратно-програмні та програмно-апаратні в залежності від домінуючої складової. Різниця полягає у функціях згаданих компонент. В апаратно-програмному комплексі датчик сприймає первинну інформацію та виконує її початкове перетворення, а в програмно-апаратному комплексі датчик лише сприймає первинну інформацію, а всі інші завдання виконує програмне забезпечення персонального комп'ютера (рис. 2).

Під час реалізації програмного забезпечення необхідні зазначені особливості.

Після реалізації всіх компонент вимірювальної системи обов'язковим є оцінка її характеристик, тобто метрологічне забезпечення, що обумовлює сфери та можливості застосування, точність та достовірність отриманих результатів.

Розглянемо загальний підхід до метрологічної оцінки вимірювального комплексу, технічна реалізація якого наведена у роботах [4, 5], а програмне забезпечення – в роботі [17].

Рис. 1. Схема інформаційного потоку

Рис. 2. Функції апаратно-програмних та програмно-апаратних комплексів

Практичне застосування згаданого вимірювального комплексу в трибологічних дослідженнях потребує визначення характеристик точності вимірювань лінійного переміщення та динамічного діапазону вимірювань.

Загальна методологія оцінки характеристик вимірювального комплексу полягає оцінці максимально можливих характеристик точності з одночасним визначенням обмежень на режими використання.

Характеристиками точності вимірювальної системи трибологічного спрямування є точність вимірювання лінійного переміщення та динамічний діапазон вимірювань.

Необхідність отримання характеристики точності вимірювань лінійного переміщення обумовлюється потребою визначення величини лінійного зносу, тобто зменшення розміру елементу тертя в певному напрямку, у значній кількості трибологічних випробувань.

Визначення динамічного діапазону вимірювань обумовлено потребою отримання значень величини лінійного переміщення (лінійного зносу) безпосередньо в процесі випробувань, тобто визначає швидкодію системи.

Обмеженнями на режими використання вимірювальної системи є умови використання персонального комп'ютера. Це пов'язано із тим, персональний комп'ютер завантажений окрім вимірювального ще й сторонніми, по відношенню до нього процесами, які знижують метрологічні характеристики вимірювального комплексу, але є невід'ємною частиною функціонування системного та прикладного програмного забезпечення.

Умови роботи персонального комп'ютера можливо охарактеризувати такими параметрами:

- загальне використання процесора на всіх ядрах,
- всієї зарезервованої фізичної пам'яті окремими процесами,
- загальне використання на всіх фізичних дисках,
- використання мережі на поточній мережі.

Оптимальним результатом оцінки характеристик вимірювальної системи є визначення величин:

- максимальної можливої точності,
- максимального можливого значення верхньої границі динамічного діапазону вимірювання,
- максимальних допустимих значень усіх параметрів умов роботи персонального комп'ютера, за яких забезпечується максимальна можлива точність та максимальне можливе значення верхньої границі динамічного діапазону вимірювання.

Як інший варіант оцінки характеристик вимірювальної системи можливо розглядати отримання таблиць відповідності максимальної можливої точності та (або) максимального можливого значення верхньої границі динамічного діапазону вимірювання параметрам умов роботи персонального комп'ютера.

Висновки

На основі аналізу сучасного розвитку методів та засобів трибологічних вимірювань як найбільш досконалі визначено програмно-апаратні комплекси, реалізовані з використанням інформаційних технологій. Проаналізовано основні чинники, що впливатимуть на характеристики таких вимірювальних систем та визначено загальну методологію їх проведення.

Література

1. Пасічник О.А. Проблеми та перспективи комп’ютеризації наукових досліджень / О.А. Пасічник // Матеріали Першої МНПК "Науковий потенціал світу 2004". Том 58. "Сучасні інформаційні технології". – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2004. – С. 52–53.

2. Пасічник О.А. Методологічні аспекти лабораторних випробувань вузлів на тертя та зношування при розрахунково-експериментальній оцінці величини зносу / О.А. Пасічник // Проблемы трибологии. – 2005. – № 1. – С. 80–83.

3. Пасічник О.А. Деякі аспекти лабораторних випробувань вузлів тертя на зношування / О.А. Пасічник // Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції "Наука і освіта 2004". Том 61. Технічні науки. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2004. – С. 62–64.

4. Пасічник О.А. Апаратно-програмний комплекс для автоматичного вимірювання і реєстрації величини зносу / О.А. Пасічник, А.Г. Кузьменко // Тези міжнародної науково-технічної конференції "Зносостійкість і надійність вузлів тертя машин (ЗНМ-2001)". – Хмельницький : ТУП, 2001. – С. 5–7.

5. Пасічник О.А. Комплекс для автоматичного вимірювання і реєстрації величини зносу / О.А. Пасічник, А.Г. Кузьменко // Проблемы трибологии. – 2002. – № 1. – С. 156–159.

6. Пасічник О.А. Інформаційні технології в трибології / О.А. Пасічник // Матеріали Першої МНПК "Науковий потенціал світу 2004". Том 58. "Сучасні інформаційні технології". – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2004. – С. 27–29.

7. Пасічник О.А. Застосування інформаційних технологій при трибологічних дослідженнях / О.А. Пасічник, О.П. Бабак // Проблеми трибології (Problems of Tribology). – 2010. – № 4. – С. 82–84.

8. Пасічник О.А. Інформаційні технології в трибологічній метрології / О.А. Пасічник // Вісник Хмельницького національного університету. – 2016. – № 4 (239). – С. 28–31.

9. Пасічник О.А. Комп’ютеризований датчик для вимірювання зносу / О.А. Пасічник // Матеріали ІІІ Міжнародної науково-практичної конференції "Динаміка наукових досліджень 2004". Том 61. Технічні науки. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2004. – С. 26–28.

10. Пасічник О.А. Комп’ютеризований комплекс для вимірювання лінійних переміщень та зносу на основі індуктивного датчика / О.А. Пасічник, О.П. Бабак // Проблемы трибологии. – 2005. – № 3. – С. 110–113.

11. Пасічник О.А. Комп’ютеризований комплекс для вимірювання лінійних переміщень та зносу на основі індуктивного датчика / О.А. Пасічник, О.П. Бабак // Матеріали міжнародної науково-технічної і

методичної конференції "Актуальні проблеми математики, механіки і комп'ютерних технологій (АПМКТ-2005)". – Хмельницький : ХНУ, 2005. – С. 35.

12. Пасічник О.А. Деякі методологічні аспекти застосування кількісної цифрової фотографії в наукових дослідженнях / О.А. Пасічник // Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції "Дні науки 2006". Том 30. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2006. – С. 10–12.

13. Пасічник О.А. Кількісна цифрова фотографія при трибологічних дослідженнях / О.А. Пасічник // Вісник Хмельницького національного університету. – 2007. – № 5(96). – С. 45–49.

14. Пасічник О.А. Фотографічний метод вимірювань при трибологічних дослідженнях / О.А. Пасічник // Вісник Хмельницького національного університету. – 2008. – № 2(108). – С. 173–175.

15. Пасічник О.А. Застосування кількісної цифрової фотографії при трибологічних дослідженнях / О.А. Пасічник // Тези доповідей VI-ї міжнародної конференції молодих науковців "Інформатика і механіка". – 2008. – С. 19–20.

16. Пасічник О. А. Автоматизація трибологічних досліджень на основі комп'ютеризованої фотовимірювальної системи / О.А. Пасічник // Проблемы трибологии. – 2009. – № 3. – С. 101–103.

17. Пасічник О.А. Програмне забезпечення для системи автоматичної реєстрації параметрів процесів при вимірюваннях зносу та лінійних переміщень / О.А. Пасічник, А.Б. Даньков // Матеріали I міжнародної науково-практичної конференції "Наука и технологии: шаг в будущее – 2006". Том 26. – Белгород : Руснаучкнига, 2006. – С. 18–20.

18. Алєшко В.М. Розробка програмного забезпечення фотовимірювальної системи для трибологічних досліджень / В.М. Алєшко, О.А. Пасічник // Збірник наукових праць за матеріалами третьої всеукраїнської науково-технічної конференції "Актуальні проблеми комп'ютерних технологій 2009". – Хмельницький : ХНУ, 2009. – С. 8–12.

19. Вараниця О.А. Застосування об'єктно-орієнтованого програмування для автоматизації вимірювань на основі аналізу зображень / О.А. Вараниця, О.А. Пасічник // Збірник наукових праць факультету прикладної математики та комп'ютерних технологій Хмельницького національного університету. – Хмельницький : ХНУ, 2010. – С. 87–90.

Рецензія/Peer review : 28.1.2017 р. Надрукована/Printed :7.2.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Сорокатий Р.В.

УДК 621.391

С.Б. ВОЛОЧІЙ
Національний університет «Львівська політехніка»
В.А. ОНИЩЕНКО
Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів

СИНТЕЗ ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ СКЛАДОВИХ КОМПЛЕКСУ ОХОРОННОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ НА ОСНОВІ СЕЙСМІЧНИХ ДАТЧИКІВ

Представлено методику визначення прийнятних для розробника показників ефективності складових системи, в склад якої входять "сейсмічний датчик – пристрій класифікації – радіоканал передавання сигналів – пристрій відображення інформації". Система призначена для комплексу контролю за маршрутом пересування рухомих об'єктів. В основу методики покладено дискретно-неперервні стохастичні моделі реакції комплексу на перетин рухомим об'єктом зон контролю на контрольованому маршруті.

Ключові слова – комплекс охоронної сигналізації, синтез показників ефективності складових.

SERHIY BOHDANOVYCH VOLOCHIY
National University "Lviv Polytechnic", Lviv
VOLODYMYR ANATOLIYOVYCH ONISHCHENKO
The Petro Sahaidachny National Army Academy of Lviv

SYNTHESIS OF MEASURES OF EFFICIENCY OF COMPONENTS OF SECURITY ALARM SYSTEM, BASED ON SEISMIC SENSORS

The report presents applicable for the developer methods for determining factors of efficiency of system components, including "seismic sensor – classification device – radio channel for transmitting signals – device for displaying information". The system is designated for the guard signalling complex (GSC), which controls the route of moving object. On the routes there are control zones where seismic sensors are placed according to a certain layout. Conventional symbols are used for those SS layouts in the form of two components, the first one presents number of SSs in far control zone, and the other presents them in close control zone. The basis of the methods is discrete continuous stochastic models of the complex reaction on crossing control zones by moving objects (MO) which have been worked out for six versions of SSs layouts on the controlled route: {1+0}; {0+1}; {2+0}; {0+2}; {1+1}; {2+1}; {1+2}; {2+2}. Factor of the complex efficiency is probability that the user will receive the message about MO appearance in control zone from at least one SS. This factor will be further called "probability of task fulfilment". The value of this factor depends on efficiency factors of its components: probability of SS reaction on MO appearance in control zone, probability of correct MO classification, and probability of message receiving. There is a risk of imposing steep demands while intuitive (expert) setting (choosing) values of these factors for GSC development, and this fact greatly complicates the developer's work. The aim of the work is demonstrating the possibility of analytic determination of efficiency factor values of GSC components, hardware realization of which will provide the given factor value for GSC efficiency. The principle of the methods lies in the following. At first choose SS for GSC, for this SS determine experimentally its efficiency factor "probability of reaction on MO appearance in control zone'. Then by means of the model of GSC reaction with one SS in control zone determine factor values "probability of correct MO classification". Such task is solved for the given value of probability of task fulfilment GSC. If the received factor values are applicable for the GSC developer, then the task of requirements determination is considered to be solved. If with two SSs these factor values are not applicable for the GSC developer, it is necessary to choose another SS and repeat task solution up to receiving necessary values of efficiency factors of GSC components.

***Keywords**: guard signalling complex, parametric synthesis.*

Вступ. Аналіз досвіду застосування військових підрозділів в бойових діях переконливо свідчить про постійну необхідність посилення охорони і оборони взводних опорних пунктів на передньому краї лінії зіткнення сторін. Вирішення цієї проблеми можливо частково реалізувати за рахунок застосування на ймовірних маршрутах підходу противника до взводних опорних пунктів комплексу охоронної сигналізації (КОС) на основі сейсмічних датчиків. Створенню КОС передують передпроектні дослідження, в основу яких закладаються завдання визначення прийнятних для проектанта значень основних показників ефективності складових перспективного комплексу. Розв'язання таких завдань складають відому задачу синтезу показників ефективності складових великих систем і зокрема радіоелектронних комплексів.

Методологічно близькою до теми даної статті є публікація [1]. Автори ставлять за мету створення структурної моделі і подальшого розроблення методики для розв'язання проблеми вибору структури і розмірності парку різних типів літаючих апаратів (ЛА) з широко представленого параметричного ряду по типу і типорозмірах існуючих ЛА і формування вимог до нових типів ЛА та їх модифікацій. В переліку часткових задач, які мають бути вирішені для досягнення поставленої мети, є задача синтезу показників ефективності функціонування підсистем (ЛА, авіаробіт, наземного комплексу). Об'єктом дослідження є авіаційна спеціалізована система (авіапідприємство), а предметом – експлуатаційна ефективність авіапідприємства в цілому.

Автор статті [2] на основі аналізу результатів досліджень, представлених в наукових публікаціях, вважає, що недоліком існуючої методології синтезу систем інформаційної безпеки є високий рівень суб'єктивізму одержуваних оцінок. Крім того, виникають труднощі на етапі узгодження кількісних та якісних показників ефективності. Залишається недосконалою технологія оптимального синтезу показників ефективності систем. В статті представлено вирішення задачі створення нового, формалізованого у чіткій математичній постановці підходу до синтезу систем інформаційної безпеки.

Однак розглянуті в публікаціях [1, 2] підходи і засоби для розв'язання задачі синтезу показників

ефективності складових технічних систем не можуть бути використані для розв'язання задачі синтезу показників ефективності складових КОС.

Постановка задачі. В склад КОС мають входити сейсмічні датчики (СД) з автономними системами виявлення, класифікації рухомого об'єкта і передавання радіосигналу (ВКОПР) про виявлений рухомий об'єкт (РО) та система приймання і відображення інформації (СПВІ). Кожна автономна система ВКОПР має безпосередній радіодоступ до СПВІ, тобто структура КОС є зірковою.

Комплекс охоронної сигналізації розгортається на ймовірних маршрутах пересування РО згідно обраної схеми розміщення СД. Для схем розміщення СД використовуємо умовне позначення у вигляді суми двох складових, у якій перша складова представляє кількість СД в дальній зоні контролю, а друга – в ближній зоні контролю. Зони контролю обираються на маршрутах на основі аналізу особливостей місцевості. В даній статті розглянуто вісім варіантів схем розміщення СД на контрольованому маршруті: {1+0}; {0+1}; {2+0}; {0+2}; {1+1); {2+1}; {1+2}; {2+2}.

Показником ефективності комплексу є ймовірність того, що користувач отримає повідомлення про появу рухомого об'єкта в зоні контролю хоча б від одного СД. Цей показник в подальшому будемо називати "ймовірність виконання завдання". Значення цього показника залежить від значень показників ефективності складових КОС: ймовірності реакції сейсмічного датчика на появу РО в зоні контролю, ймовірності правильної класифікації типу РО, ймовірності приймання повідомлення, а також від використаної схеми розміщення сейсмічних датчиків на ймовірному маршруті пересування РО.

При інтуїтивному (експертному) задаванні (виборі) значень цих показників для проектування КОС існує ризик висування завищених вимог, що суттєво ускладнює роботу розробника.

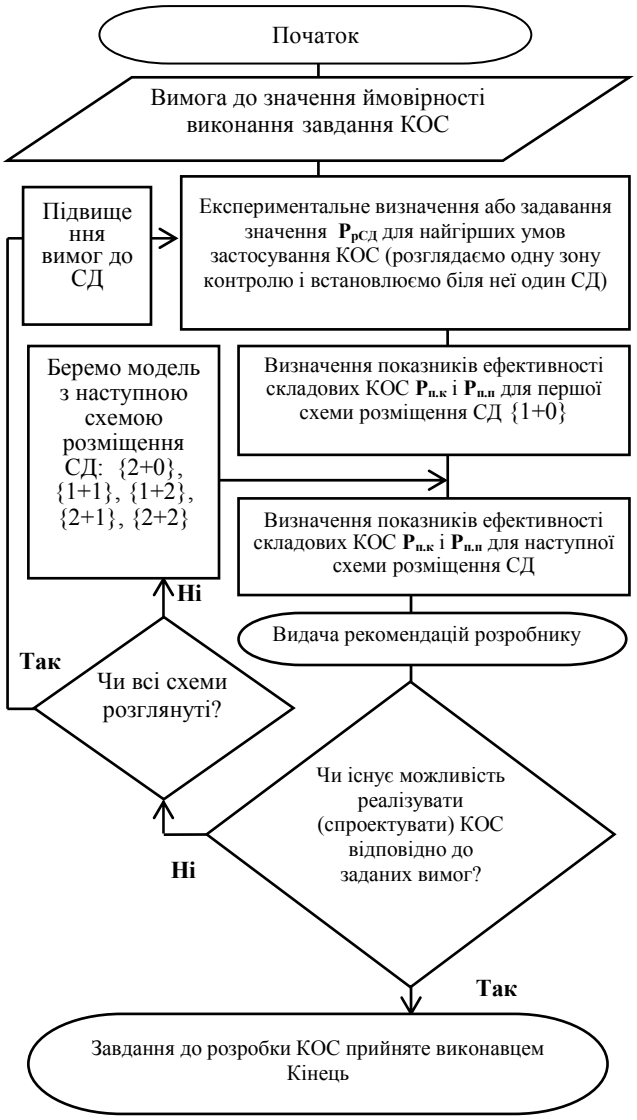


Рис. 1. Алгоритм розв'язання задачі синтезу показників ефективності складових КОС

Метою роботи є показати можливість аналітичного визначення значень показників ефективності складових КОС, апаратна реалізація яких забезпечить для КОС задане (необхідне) значення показника його ефективності.

Методика синтезу показників ефективності складових комплексу охоронної сигналізації. Методика синтезу показників ефективності складових КОС створена на основі розроблених дискретно-неперервних стохастичних моделей реакції КОС на перетин рухомим об'єктом зон контролю з різними схемами розміщення в них СД [3]. Кожна модель забезпечує можливість визначати залежність ефективності КОС від показників ефективності сейсмічного датчика, пристрою класифікації РО та системи передавання радіосигналів.

Суть методики полягає в наступному.

Крок 1. Для КОС, що проектується, вибирається СД, для якого експериментально визначається показник його ефективності "ймовірність реакції на появу РО в зоні контролю". Для такого експерименту вибирається зона контролю з несприятливими (найгіршими) умовами роботи для СД (м'який ґрунт).

Крок 2. Для заданого значення ймовірності виконання завдання комплексу, за допомогою моделі реакції КОС з СД біля однієї зони контролю {1+0}, визначаються значення показників "ймовірність правильної класифікації РО" і "ймовірність приймання повідомлення" про появу РО в зоні контролю і його тип.

Якщо отримані значення показників є прийнятними для розробника КОС, то задача визначення вимог вважається вирішеною. В протилежному випадку переходимо на крок 3.

Крок 3. Здійснюється повторне вирішення задачі за допомогою моделі реакції КОС з схемою розміщення двох СД біля одної зони контролю {2+0}.

Якщо отримані значення показників знову є не прийнятними для розробника КОС, то переходимо на крок 4.

Крок 4. Здійснюється повторне вирішення задачі за допомогою моделі реакції КОС з двома зонами контролю з несприятливими умовами для роботи СД, біля яких встановлено по одному СД {1+1}. Процес визначення прийнятних для розробника значень показників "ймовірність правильної класифікації РО" і "ймовірність приймання повідомлення" може продовжуватися за допомогою моделей з схемами розміщення СД {1+2}, {2+1}, {2+2}.

Якщо і з двома зонами контролю, біля яких встановлено по два СД, отримані значення показників є неприйнятними для розробника КОС, необхідно повернутися на *Крок 1*. Тобто обрати інший СД і повторити розв'язання задачі до отримання прийнятних для розробника значень показників ефективності складових КОС.

Якщо кращого СД не існує, то є можливість визначити значення показника ефективності нового СД і сформувати завдання на його розроблення.

Алгоритм розв'язання задачі синтезу показників ефективності складових КОС представлено на рис.1, де використані такі позначення: $P_{рСД}$ – ймовірність реакції СД на появу РО в зоні контролю; $P_{п.к}$ – ймовірність правильної класифікації РО; $P_{п.п}$ – ймовірність приймання повідомлення.

Використання методики синтезу показників ефективності складових КОС є можливим за наявності математичних моделей реакції комплексу охоронної сигналізації на перетин рухомим об'єктом зон контролю, розроблених для різних варіантів схеми розміщення СД на контрольованому маршруті.

Математичні моделі реакції комплексу охоронної сигналізації на перетин рухомим об'єктом зон контролю. Припущення та вимоги до технічних рішень, що закладені в математичних моделях реакції КОС на перетин рухомими об'єктами зон контролю:

- в якості датчиків для КОС обґрунтовано використання СД, оскільки пасивність принципу їх функціонування і можливість швидкого встановлення в ґрунті гарантує високий ступінь їх маскування;
- тривалості процедури класифікації типу РО та процедури формування і передавання радіосигналу до СПВІ про виявлений РО є малими (мікросекунди) в порівнянні з тривалостями переміщення РО через зони контролю; тому в моделях їх значення прийняті рівними нулю;
- про появу РО в зоні контролю формується одне повідомлення, яке передається один раз закодованим радіосигналом. Багатократне передавання радіосигналів протягом перебування РО в зоні контролю вважаємо недоцільним у зв'язку з необхідністю забезпечення скритності роботи КОС;
- рухомі об'єкти, наближаючись до об'єкта що охороняється, послідовно перетинають дальню і ближню зони контролю;
- апаратні засоби КОС розгортаються на місцевості після попередньої перевірки їх працездатності і готовності до роботи; прийнято, що апаратні засоби на інтервалі часу їх застосування працюють безвідмовно;
- робота автономних систем ВКОПР разом з сейсмічними датчиками в зонах контролю, є незалежною.

Розроблення математичних моделей реакції КОС на перетин РО зон контролю здійснено за допомогою удосконаленого методу простору станів, описаного в монографії [4, с. 59–93]. Суть удосконалення методу простору станів в тому, що багатократне розроблення моделей об'єкта дослідження у вигляді графа станів і переходів здійснюється на основі структурно-автоматної моделі і є автоматизованим. Автоматизація процесу побудови графа станів дає змогу вирішувати задачу синтезу показників ефективності складових КОС через багатоваріантний аналіз. Затрати часу на побудову кожного нового варіанту графа станів після зміни значень показників ефективності складових не перевищують кількох хвилин, в той час як за відомими методиками розроблення моделей поведінки у вигляді графа станів і

переходів займають набагато більше часу [5].

За методикою, представленою в статті [5], здійснюємо розроблення структурно-автоматних моделей реакції КОС на перетин РО зон контролю з різними схемами розміщення СД. На основі кожної структурно-автоматної моделі за алгоритмом представленим в монографії [4, с. 79–81] здійснюється побудова моделі у вигляді графа станів. Отримані графи станів дають змогу формувати математичні моделі у вигляді систем диференціальних рівнянь Колмогорова – Чепмена.

Розроблення структурно-автоматних моделей виконується в два етапи. На першому етапі треба здійснити розроблення графа станів і переходів на основі базових подій. В подальшому цей граф станів використовується як тестова модель для валідації структурно-автоматної моделі. На другому етапі здійснюється розроблення структурно-автоматної моделі на основі, розробленого на першому етапі, графа станів.

4.1. Розроблення структурно-автоматної моделі реакції комплексу охоронної сигналізації на перетин рухомим об'єктом зон контролю з схемою розміщення СД {1+1}.

4.1.1. Визначення базових подій. Аналіз реакції КОС на перетин РО зон контролю з схемою встановлення сейсмічних датчиків {1+1} дає для моделі такі базові події (поняття "базові події" в технологію розроблення дискретно-неперервних стохастичних моделей введено в монографії [4, с. 67]):

БП1 – "Закінчення перебування РО поза дальньою зоною контролю";

БП2 **–** "Закінчення реакції $СД_1$ на появу РО в дальній зоні контролю";

БП3 **–** "Закінчення процедури класифікації РО по сигналу від $СД_1$";

БП4 – "Закінчення приймання повідомлення в СПВІ від автономної системи $ВКОПР_1$"

БП5 – "Закінчення перебування РО поза ближньою зоною контролю";

БП6 – "Закінчення реакції $СД_2$ на появу РО в ближній зоні контролю";

БП7 – "Закінчення процедури класифікації РО по сигналу від $СД_2$";

БП8 – "Закінчення приймання повідомлення в СПВІ від автономної системи $ВКОПР_2$".

Приймаємо до уваги, що тривалості реакції сейсмічних датчиків $СД_1$ і $СД_2$ на появу в зонах контролю РО, тривалість процедури класифікації РО і тривалість процедури передавання/приймання повідомлення мають значення до ста мікросекунд, а інтервали часу між подіями появи РО в зонах контролю мають значення не менше кількох хвилин. На підставі такого співвідношення між тривалостями, в модель закладаємо рівними нулю тривалості реакції сейсмічних датчиків $СД_1$ і $СД_2$, тривалість процедури класифікації РО і тривалість процедури передавання/приймання радіосигналу. Тому базові події БП2, БП3 і БП4 будуть зведеними з базовою подією БП1 (ЗБП2, ЗБП3, ЗБП4), а базові події БП6, БП7 і БП8 будуть зведеними з базовою подією БП5 (ЗБП6, ЗБП7, ЗБП8).

Після визначення базових подій, для розроблення графа станів необхідно сформувати вектор стану і задати перелік показників ефективності складових КОС.

4.1.2. Формування вектора стану. Стан об'єкта дослідження в розробленій моделі відображає: місце перебування РО на маршруті, що контролюється (поза зонами контролю, в дальній зоні контролю, в ближній зоні контролю); реакцію СД на появу РО в дальній і ближній зонах контролю; результат класифікації РО; стан СПВІ, коли вона приймає радіосигнал з дальньої і ближньої зон контролю. Тому у вектор стану входять сім компонент, а саме:

- компонента V_1 представляє місце перебування РО і може набувати таких значень: $V_1 = 1$ – РО перебуває поза зонами контролю; $V_1 = 2$ – РО перебуває в дальній зоні контролю ($СД_1$); $V_1 = 3$ – РО перебуває в ближній зоні контролю ($СД_2$); початкове значення $V_1=1$;
- компонента V_2 представляє реакцію $СД_1$ на появу РО в дальній зоні контролю і може набувати таких значень: $V_2 = 0$ – початкове значення ($СД_1$ готовий до роботи, РО відсутній в дальній зоні контролю); $V_2 = 1$ – $СД_1$ зреагував на появу РО; $V_2 = 2$ – $СД_1$ не зреагував на появу РО;
- компонента V_3 представляє результат роботи класифікатора при появі РО в дальній зоні контролю. Значення компоненти: $V_3 = 0$ – початкове значення; $V_3 = 1$ – тип РО визначено правильно; $V_2 = 2$ – тип РО визначено не правильно;
- компонента V_4 представляє стан СПВІ, коли РО перебуває в дальній зоні; $V_4 = 0$ – СПВІ знаходиться в режимі очікування (початкове значення); $V_4 = 1$ – в СПВІ прийнято радіосигнал з дальньої зони контролю; $V_4 = 2$ – в СПВІ не прийнято радіосигнал з дальньої зони контролю;
- компонента V_5 представляє реакцію $СД_2$ на появу РО в ближній зоні контролю і може набувати таких значень: $V_5 = 0$ – початкове значення ($СД_2$ готовий до роботи, РО відсутній в ближній зоні контролю); $V_5 = 1$ – $СД_2$ зреагував на появу РО; $V_5 = 2$ – $СД_2$ не зреагував на появу РО;
- компонента V_6 представляє результат роботи класифікатора при появі РО в ближній зоні контролю. Значення компоненти: $V_6 = 0$ – початкове значення; $V_6 = 1$ – тип РО визначено правильно; $V_6 = 2$ – тип РО визначено не правильно;
- компонента V_7 представляє стан СПВІ, коли РО перебуває в ближній зоні; $V_7 = 0$ – СПВІ знаходиться в режимі очікування (початкове значення); $V_7 = 1$ – в СПВІ прийнято радіосигнал з ближньої зони контролю; $V_7 = 2$ – в СПВІ не прийнято радіосигнал з ближньої зони контролю.

4.1.3. Перелік показників ефективності складових КОС.

P_1 (P_7) – ймовірність того, що $СД_1$ ($СД_2$) реагує на появу РО в зоні контролю;

P_3 (P_9) – ймовірність того, що пристрій класифікації автономної систем ВКОПР$_1$ (ВКОПР$_2$) визначить тип РО правильно;

P_5 (P_{11}) – ймовірність того, що СПВІ приймає повідомлення від автономної системи ВКОПР$_1$ (ВКОПР$_2$).

4.1.4. Розроблення графа станів за методикою його побудови на основі базових подій. Вхідними даними є: базові події реакції КОС на перетин РО зон контролю з схемою встановлення сейсмічних датчиків {1+1}, компоненти вектора стану, показники ефективності складових КОС. Результати побудови заносимо в таблицю 1, де в колонку 1 заносимо номер кроку; в колонку 2 – номер попереднього стану, що розглядається, і номер актуальної базової події; в колонку 3 – ймовірності альтернативного продовження процесу; в колонки 4 - 10 – значення компонент вектора стану, що наступає після базової події; в колонку 11 – присвоєний номер стану; в колонку 12 – номер попереднього стану, з якого здійснюється перехід (номер стану береться з колонки 2), і номер наступного стану, в який здійснюється перехід (номер стану береться з колонки 11); в колонку 13 – формули розрахунку інтенсивностей переходів з стану в стан.

4.1.5. Ідея методики *розроблення структурно-автоматних моделей на основі графа станів* представлена в статтях [5, 6]. Вхідними даними є: базові події і граф станів, побудований на основі базових подій (табл. 1). Компонентами структурно-автоматної моделі є:

- базові події;
- формалізований опис всіх ситуацій, в яких може відбуватися базова подія (складаємо для кожної базової події);

Таблиця 1

Модель реакції комплексу охоронної сигналізації на перетин рухомим об'єктом зон контролю з схемою розміщення СД {1+1} у вигляді графа станів, розроблена на основі базових подій

№ кроку	Останній нерозглянутий стан, і актуальна(ні) для нього БП	Ймовірності альтернативного продовження процесу	Сформований вектор стану							№ стану	Перехід з стану в стан	Формули розрахунку інтенсивностей переходів із стану в стан
			V_1	V_2	V_3	V_4	V_5	V_6	V_7			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Початковий стан	–	1	0	0	0	0	0	0	1	–	–
2	1 БП1 (ЗБП2) (ЗБП3) (ЗБП4)	$(1-P_1)$	2	2	0	0	0	0	0	2	$1 \to 2$	$\lambda_1 (1-P_1)$
		$P_1P_3P_5$	2	1	1	1	0	0	0	3	$1 \to 3$	$\lambda_1 P_1P_3P_5$
		$P_1P_3(1-P_5)$	2	1	1	2	0	0	0	4	$1 \to 4$	$\lambda_1 P_1P_3(1-P_5)$
		$P_1(1-P_3)P_5$	2	1	2	1	0	0	0	5	$1 \to 5$	$\lambda_1 P_1(1-P_3)P_5$
		$P_1(1-P_3)(1-P_5)$	2	1	2	2	0	0	0	6	$1 \to 6$	$\lambda_1 P_1(1-P_3)(1-P_5)$
3	2 БП5 (ЗБП6) (ЗБП7) (ЗБП8)	$(1-P_7)$	3	2	0	0	2	0	0	7	$2 \to 7$	$\lambda_2 (1-P_7)$
		$P_7P_9P_{11}$	3	2	0	0	1	1	1	8	$2 \to 8$	$\lambda_2 P_7P_9P_{11}$
		$P_7P_9(1-P_{11})$	3	2	0	0	1	1	2	9	$2 \to 9$	$\lambda_2 P_7P_9(1-P_{11})$
		$P_7(1-P_9)P_{11}$	3	2	0	0	1	2	1	10	$2 \to 10$	$\lambda_2 P_7(1-P_9)P_{11}$
		$P_7(1-P_9)(1-P_{11})$	3	2	0	0	1	2	2	11	$2 \to 11$	$\lambda_2 P_7(1-P_9)(1-P_{11})$
4	3 БП5 (ЗБП6) (ЗБП7) (ЗБП8)	$(1-P_7)$	3	1	1	1	2	0	0	12	$3 \to 12$	$\lambda_2 (1-P_7)$
		$P_7P_9P_{11}$	3	1	1	1	1	1	1	13	$3 \to 13$	$\lambda_2 P_7P_9P_{11}$
		$P_7P_9(1-P_{11})$	3	1	1	1	1	1	2	14	$3 \to 14$	$\lambda_2 P_7P_9(1-P_{11})$
		$P_7(1-P_9)P_{11}$	3	1	1	1	1	2	1	15	$3 \to 15$	$\lambda_2 P_7(1-P_9)P_{11}$
		$P_7(1-P_9)(1-P_{11})$	3	1	1	1	1	2	2	16	$3 \to 16$	$\lambda_2 P_7(1-P_9)(1-P_{11})$
5	4 БП5 (ЗБП6) (ЗБП7) (ЗБП8)	$(1-P_7)$	3	1	1	2	2	0	0	17	$4 \to 17$	$\lambda_2 (1-P_7)$
		$P_7P_9P_{11}$	3	1	1	2	1	1	1	18	$4 \to 18$	$\lambda_2 P_7P_9P_{11}$
		$P_7P_9(1-P_{11})$	3	1	1	2	1	1	2	19	$4 \to 19$	$\lambda_2 P_7P_9(1-P_{11})$
		$P_7(1-P_9)P_{11}$	3	1	1	2	1	2	1	20	$4 \to 20$	$\lambda_2 P_7(1-P_9)P_{11}$
		$P_7(1-P_9)(1-P_{11})$	3	1	1	2	1	2	2	21	$4 \to 21$	$\lambda_2 P_7(1-P_9)(1-P_{11})$
6	5 БП5 (ЗБП6) (ЗБП7) (ЗБП8)	$(1-P_7)$	3	1	2	1	2	0	0	22	$5 \to 22$	$\lambda_2 (1-P_7)$
		$P_7P_9P_{11}$	3	1	2	1	1	1	1	23	$5 \to 23$	$\lambda_2 P_7P_9P_{11}$
		$P_7P_9(1-P_{11})$	3	1	2	1	1	1	2	24	$5 \to 24$	$\lambda_2 P_7P_9(1-P_{11})$
		$P_7(1-P_9)P_{11}$	3	1	2	1	1	2	1	25	$5 \to 25$	$\lambda_2 P_7(1-P_9)P_{11}$
		$P_7(1-P_9)(1-P_{11})$	3	1	2	1	1	2	2	26	$5 \to 26$	$\lambda_2 P_7(1-P_9)(1-P_{11})$
7	6 БП5 (ЗБП6) (ЗБП7) (ЗБП8)	$(1-P_7)$	3	1	2	2	2	0	0	27	$6 \to 27$	$\lambda_2 (1-P_7)$
		$P_7P_9P_{11}$	3	1	2	2	1	1	1	28	$6 \to 28$	$\lambda_2 P_7P_9P_{11}$
		$P_7P_9(1-P_{11})$	3	1	2	2	1	1	2	29	$6 \to 29$	$\lambda_2 P_7P_9(1-P_{11})$
		$P_7(1-P_9)P_{11}$	3	1	2	2	1	2	1	30	$6 \to 30$	$\lambda_2 P_7(1-P_9)P_{11}$
		$P_7(1-P_9)(1-P_{11})$	3	1	2	2	1	2	2	31	$6 \to 31$	$\lambda_2 P_7(1-P_9)(1-P_{11})$

- формули розрахунку інтенсивностей для кожної базової події з урахуванням ймовірностей альтернативного продовження процесу;
- правила модифікації компонент вектора стану (правила складаються (формуються) для кожного альтернативного продовження процесу).

Для складання формалізованого опису всіх ситуацій, в яких може відбуватися базова подія, необхідно їх виявити. Виявлення ситуацій здійснюється на основі вибору наступного після БП і попереднього станів та їх порівняння. Вибір цих пар станів здійснюється за такими двома ознаками:

1) вибираються стани, що утворюються (формуються) після базової події, яким відповідають однакові формули розрахунку інтенсивності цієї БП;

2) із вибраних станів для складання опису ситуації залишаються ті, у яких зміна стану відносно попереднього стану обумовлена зміною однакових компонент вектора стану.

Зауважимо, що кількість варіантів наступного стану, після того як відбулася базова подія залежить від кількості альтернативних продовжень випадкового процесу. В даному випадку, після того як відбулася базова подія БП1 існує 5 альтернативних продовжень випадкового процесу. Альтернативні продовження обумовлені зведеними базовими подіями ЗБП2, ЗБП3, ЗБП4. Після того, як відбулася базова подія БП5, існує також 5 альтернативних продовжень випадкового процесу. Альтернативні продовження обумовлені зведеними базовими подіями ЗБП6, ЗБП7, ЗБП8.

Визначені компоненти структурно-автоматної моделі заносимо в таблицю 2:

- в колонку 1 заносимо базові події БП1 і БП5 і зведені з ними базові події ЗБП2, ЗБП3, ЗБП4 та ЗБП6, ЗБП7, ЗБП8 відповідно;
- в колонку 2 – формалізований опис ситуації для кожної базової події (опис ситуації служить ознакою стану, в якому відбувається базові події БП1 і БП5);
- в колонку 3 – формули розрахунку інтенсивності переходу в наступний стан (ФРІПвНС);
- в колонку 4 – правила модифікації компонент вектора стану (ПМКВС).

Така форма представлення структурно-автоматної моделі відповідає формі діалогового вікна програмного засобу ASNA [7].

Таблиця 2

Структурно-автоматна модель реакції комплексу охоронної сигналізації на перетин рухомим об'єктом зон контролю з схемою розміщення СД {1 + 1}

БП	Опис ситуації	ФРІПвНС	ПМКВС
1	2	3	4
БП1 (ЗБП2) (ЗБП3) (ЗБП4)	(V_1=1)	$\lambda_1(1 - P_1)$	V_1:= 2; V_2:= 2
		$\lambda_1P_1P_3P_5$	V_1:= 2; V_2:= 1; V_3:= 1; V_4:= 1
		$\lambda_1P_1P_3(1 - P_5)$	V_1:= 2; V_2:= 1; V_3:= 1; V_4:= 2
		$\lambda_1P_1(1 - P_3)P_5$	V_1:= 2; V_2:= 1; V_3:= 2; V_4:= 1
		$\lambda_1P_1(1 - P_3)(1 - P_5)$	V_1:= 2; V_2:= 1; V_3:= 2; V_4:= 2
БП5 (ЗБП6) (ЗБП7) (ЗБП8)	(V_1=2)	$\lambda_2(1-P_7)$	V_1:= 3; V_5:= 2
		$\lambda_2P_7P_9P_{11}$	V_1:= 3; V_5:= 1; V_6:= 1; V_7:= 1
		$\lambda_2P_7P_9(1 - P_{11})$	V_1:= 3; V_5:= 1; V_6:= 1; V_7:= 2
		$\lambda_2P_7(1 - P_9)P_{11}$	V_1:= 3; V_5:= 1; V_6:= 2; V_7:= 1
		$\lambda_2P_7(1 - P_9)(1 - P_{11})$	V_1:= 3; V_5:= 1; V_6:= 2; V_7:= 2

На основі графа станів і переходів формуємо математичну модель реакції комплексу охоронної сигналізації на перетин рухомим об'єктом зон контролю з схемою розміщення СД {1 + 1} у вигляді системи диференціальних рівнянь Колмогорова – Чепмена:

$$\frac{dQ_1(t)}{dt} = -\lambda_1((1-P_1) + P_1P_3P_5 + P_1P_3(1-P_5) + P_1(1-P_3)P_9 + P_1(1-P_3)(1-P_5))Q_1(t)$$

$$\frac{dQ_2(t)}{dt} = \lambda_1(1-P_1)Q_1(t) - \lambda_2((1-P_7) + P_7P_9P_{11} + P_7P_9(1-P_{11}) + P_7(1-P_9)P_{11} + P_7(1-P_9)(1-P_{11})Q_2(t)$$

.....

$$\frac{dQ_7(t)}{dt} = \lambda_2(1-P_7)Q_2(t)$$

.....

$$\frac{dQ_{31}(t)}{dt} = \lambda_2P_7(1-P_9)(1-P_{11})Q_6(t)$$

де $Q_1(t)$, … , $Q_{31}(t)$ – ймовірності перебування об'єкта дослідження в станах від першого до тридцять першого.

Аналогічно здійснюється розроблення математичних моделей реакції комплексу охоронної сигналізації на перетин рухомим об'єктом зон контролю з схемами розміщення СД {1+2}, {2+1}, {2+2},

{1+0}, {2+0} на маршруті ймовірного пересування РО. Розмірності графів станів і переходів представлено в таблиці 3.

Таблиця 3

Розмірності моделей реакції КОС на перетин РО зон контролю (моделі у вигляді графа станів і переходів)

Базові схеми розміщення СД	Розмірність моделі	Базові схеми розміщення СД	Розмірність моделі
КОС зі схемою {1 + 0}	6 станів і 5 переходів	КОС зі схемою {2 + 1}	151 стан і 150 переходів
КОС зі схемою {2 + 0}	26 станів і 25 переходів	КОС зі схемою {1 + 2}	131 стан і 130 переходів
КОС зі схемою {1 + 1}	31 стан і 30 переходів	КОС зі схемою {2 + 2}	651 стан і 650 переходів

Розв'язання задачі синтезу показників ефективності складових комплексу охоронної сигналізації. Визначимо показники ефективності складових перспективного зразка КОС, який би забезпечував ймовірність виконання завдання не менше 0,96 ($P_{в.з} \geq 0,96$) при встановленні СД біля зон контролю з м'яким ґрунтом. Вважаємо, що в цьому КОС будуть використані СД з ймовірністю реакції на появу РО в зоні контролю 0,6 ($P_{рСД} = 0,6$). Це значення отримано експериментально.

Розрахунки, виконані за допомогою дискретно-неперервних стохастичних моделей реакції КОС з схемами розміщення СД {0+1}, {0+2} і {1+1} показали, що вибір значень показників "ймовірність правильної класифікації РО" і "ймовірність приймання повідомлення" як завгодно близькими до одиниці не забезпечують необхідне значення "ймовірності виконання завдання" ($P_{в.з} = 0,96$). Результати розрахунку показані на рис. 2.

Поставлена задача на м'якому ґрунті має вирішення, якщо в кожній зоні контролю встановити по 2 СД. Залежність ефективності КОС від значення ймовірності приймання повідомлення в СПВІ з схемою розміщення СД {2+2}, яка представлена на рис. 3, показує, що необхідне значення показника "ймовірність виконання завдання" буде забезпечено при наступних значеннях показників ефективності складових: $P_{п.п} \geq 0,95$; $P_{п.к} = 0,8$; $P_{рСД} = 0,6$.

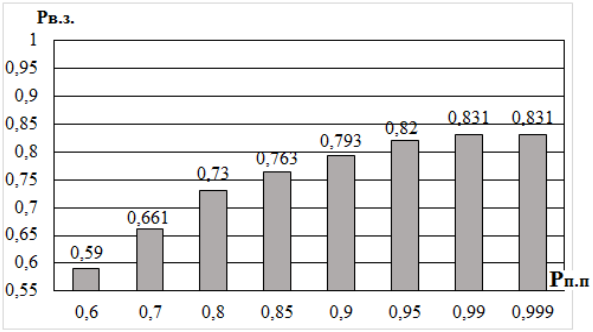


Рис. 2. Залежність ефективності КОС від ймовірності приймання повідомлення в СПВІ для схеми {1+1} при значеннях ймовірності реакції СД на появу РО $P_{рСД} = 0,6$ та ймовірності правильної класифікації РО $P_{п.к} = 0,8$

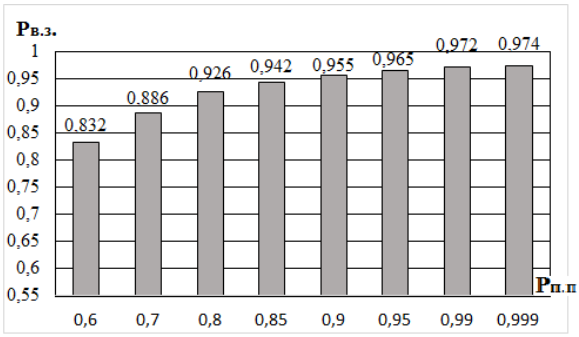


Рис. 3. Залежність ефективності КОС від ймовірності приймання повідомлення в СПВІ для схеми {2+2} при значеннях ймовірності реакції СД на появу РО $P_{рСД} = 0,6$ та ймовірності правильної класифікації РО $P_{п.к} = 0,8$

Висновки. 1. Запропонована методика синтезу і розроблені математичні моделі реакції комплексу охоронної сигналізації на перетин рухомим об'єктом зон контролю дозволяють обґрунтовувати значення основних показників ефективності складових комплексу охоронної сигналізації на етапі системотехнічного проектування. Проектант може вибирати прийнятні для розроблення значення показників ефективності складових КОС, виходячи з заданого замовником значення показника ефективності КОС – ймовірності виконання завдання.

2. Для практичного використання запропонованої методики синтезу необхідно здійснити розроблення програмного засобу, який має забезпечувати часткову або повну автоматизацію виконання етапів технології аналітичного моделювання, а саме:

а) розроблення графа станів на основі базових подій;

б) розроблення структурно-автоматної моделі на основі графа станів;

в) виконання верифікації і валідації структурно-автоматних моделей;

г) побудову графа станів і переходів на основі структурно-автоматної моделі об'єкта дослідження;

д) компонування формул для визначення показників ефективності складових об'єкта дослідження;

е) представлення значень показників ефективності складових об'єкта дослідження для розв'язання задачі їх синтезу.

Такий програмний засіб буде служити інструментом розв'язання задач синтезу через

багатоваріантний аналіз.

Література

1. Портников Б.А. Структурная модель авиапредприятия как авиационной специализированной системы / Б.А. Портников, Н.З. Султанов // Вестник Оренбургского государственного университета. – Россия, Оренбург. – 2006. – № 4. – С. 141–150.

2. Грищук Р. В. Синтез систем інформаційної безпеки за заданими властивостями / Р. В. Грищук // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Автоматика, вимірювання та керування/ – 2012. – № 741. – С. 271–276.

3. Волочій С.Б. Методика визначення прийнятних для розробника показників ефективності комплексу охоронної сигналізації / С.Б. Волочій, В.А. Онищенко // Vth International Scientific Practical Conference "Physical and technological problems of transmission, processing and storage of information in infocommunication systems" 3–5 November 2016, Chernivtsi, Ukraine. – 2016. – P. 64–65.

4. Волочій Б.Ю. Технологія моделювання алгоритмів поведінки інформаційних систем / Б.Ю. Волочій. – Львів : Вид-во Національного університету "Львівська політехніка", 2004. – 220 с.

5. Федасюк Д. В. Методика розроблення структурно-автоматних моделей дискретно-неперервних стохастичних систем / Д. В. Федасюк, С. Б. Волочій // Науково-технічний журнал "Радіоелектронні і комп'ютерні системи". – Харків : "ХАІ", 2016. – № 6 (80). – С. 24–34.

6. Fedasyuk D. Method of developing the behavior models in form of states diagram for complex information systems / D. Fedasyuk, S. Volochiy // Computer science and information technologies: Proceedings of the X International Scientific and Technical Conference CSIT 2015. – Lviv, 2015. – P. 5–8.

7. Волочій Б.Ю. Системотехнічне проектування телекомунікаційних мереж. Практикум : навчальний посібник / Б.Ю. Волочій, Л.Д. Озірковський. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2012. – 128 с.

Рецензія/Peer review : 28.11.2016 р. Надрукована/Printed :6.2.2017 р.
Рецензент: д.т.н. Яковина В.С.

УДК 004.31:681.325

С.І. МЕЛЬНИЧУК
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
І.М. ЛАЗАРОВИЧ
Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, м. Івано-Франківськ

ЗАСТОСУВАННЯ ОЦІНОК ІНФОРМАЦІЙНОЇ ЕНТРОПІЇ ПІД ЧАС ОПРАЦЮВАННЯ ШИРОКОСМУГОВИХ АКУСТИЧНИХ РЕАЛІЗАЦІЙ ДІАГНОСТИЧНИХ СИГНАЛІВ

Реалізація сучасних комп'ютерних систем діагностування ґрунтується на положеннях теорії надійності та технічної діагностики. Традиційно, використання сигналів акустичного діапазону опирається на частотний та форматний аналіз, крім того застосовують аналіз часової структури, зокрема у випадку кореляційного підходу. Для опису множини станів сигналів використовують імовірнісні характеристики, зокрема розподіли ймовірностей амплітудних значень, спектральну густину потужності тощо. Основними недоліками такого підходу є неможливість врахування послідовності формування елементів сигналу та його обмежена тривалість, зокрема у випадку діагностування артикуляційної системи.

Ключові слова: широкосмугові сигнали, статистичні оцінки, діагностування, ентропія.

S. I. MELNYCHUK
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas
I. M. LAZAROWYCH
Vasyl Stefanyk Precapathian National University, Ivano-Frankivsk

USE OF ESTIMATES INFORMATION ENTROPY WHEN PROCESSING IMPLEMENTATIONS OF BROADBAND ACOUSTIC DIAGNOSTIC SIGNALS

Modern computer systems diagnosis implementation based on the theory of reliability and technical diagnostics. Traditionally, the use of acoustic signals in the frequency band based and formatted analysis also used the analysis of temporal structures, in particular in the case of correlation approach. To describe the set of state signals using probabilistic characteristics, including the probability distribution of amplitude values, spectral power density and so on. The main disadvantages of this approach is the inability to take account of the elements forming the signal sequence and its limited duration, particularly in the case of diagnosing articulation system.

Keywords: broadband signals, statistical estimates, diagnosis, entropy.

Вступ

Одним із основних завдань діагностування, що реалізуються сучасними комп'ютерними системами, є побудова ефективної стратегії пошуку, за загальносистемним критерієм дерева рішень, при якому на кожному кроці опрацювання отриманих параметрів з апріорної множини варіантів вибирають підмножину ознак, що максимально зменшує на поточному етапі невизначеність про об'єкт (процес), який діагностується [1, 2].

Найпоширенішим джерелом інформації в системах медичного діагностування є сигнали біопотенціалів, які формуються природно чи під впливом зовнішніх факторів у різних ділянках та органах, що зумовлює використання електрографічних та електроміографічних методів формування та опрацювання таких сигналів.

Іншим джерелом інформації в системах медичного діагностування є періодичні та стохастичні коливання акустичного діапазону, які характерні лише для окремих частин організму, проте є більш інформативними з погляду функціональної ефективності, зокрема для діагностування органів дихання та характеристик артикуляційної системи. В ході діагностування зняття акустичних сигналів проводиться за допомогою первинних перетворювачів, які кріпляться на контрольованій поверхні або розташовують поблизу джерела акустичних коливань. У працях [2, 3] надано обґрунтування доцільності проведення опрацювання, в задачах медичної діагностики голосового апарату людини, класу вокалізованих фрикативних акустичних реалізацій як найбільш чутливих до змін у функціональному стані органів цього апарату.

Постановка завдання

Сучасні методи та засоби діагностування, які реалізуються в комп'ютерних системах, опираються на основні положення теорії надійності та технічної діагностики, при цьому методи опрацювання параметричних сигналів фактично є основою побудови векторів опису стану та інформаційно-діагностичної моделі досліджуваного об'єкту в умовах неповної діагностичної інформації. Традиційно, використання сигналів акустичного діапазону в комп'ютерних системах діагностування опирається на частотний та форматний аналіз, крім того застосовують аналіз часової структури, зокрема у випадку кореляційного підходу. Для опису множини станів згаданих сигналів використовують їх імовірнісні характеристики такі як розподіли ймовірностей амплітудних значень, спектральна густина потужності тощо.

Основними недоліками такого підходу є те, що у випадку діагностування артикуляційної системи, не враховується послідовність формування елементів акустичних реалізацій та їх обмежена тривалість. Тобто при діагностування виникає необхідність досліджувати зміну спектральних характеристик за короткі

інтервали, що зумовлює втрату точності і збільшення кількості обчислень. Крім того, виникає необхідність врахування індивідуальних особливостей джерел формування сигналу, які практично характеризуються унікальними тривалістю та спектральними характеристиками, що зумовлює необхідність проведення додаткових налаштувань системи діагностування окремо для кожного випадку [3, 4]. Типові приклади реалізацій акустичних послідовностей діагностичних сигналів, які отримано в ході попередніх експериментальних досліджень (проведених на базі кафедри стоматології, факультету післядипломної освіти, Івано-Франківського національного медичного університету ІФНМУ) з постановкою різних моделей знімних конструкцій та без них та надано на рис. 1.

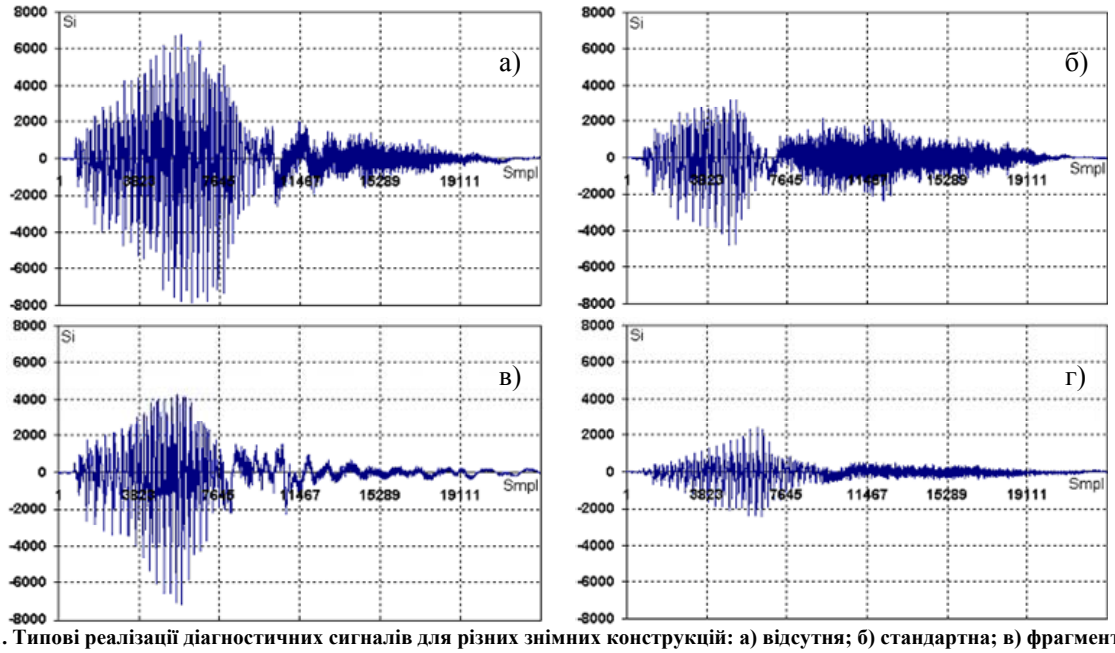


Рис. 1. Типові реалізації діагностичних сигналів для різних знімних конструкцій: а) відсутня; б) стандартна; в) фрагментарно потоншена; г) фрагментарно потовщена

Подані реалізації, як і усі наступні отримано при використанні 16-розрядного АЦП з апертурою відліків [-32768; 32767] (smpl) і частотою дискретизації амплітуди 44.1 КГц, формат – моно. Як можна побачити, постановка знімної конструкції суттєво впливає на артикуляційну систему та потужність акустичного сигналу.

Результати дослідження

В ході дослідження відмінностей між сигналами, що формуються за наявності різних типів знімних конструкцій та без них проведено їх спектральний аналіз, рис. 2, за яким виявлено, що зміщення в області 5…8 КГц (крива 2) може свідчити про порушення властивостей резонансної порожнини, проте однозначно локалізувати фрагмент часу і характеристик сигналу за яких це відбулося практично неможливо в наслідок короткої тривалості сигналів. Криві 3 та 4 несуттєво відрізняються, що не дозволяє робити однозначних суджень при спотворення викликані наявністю знімної конструкції.

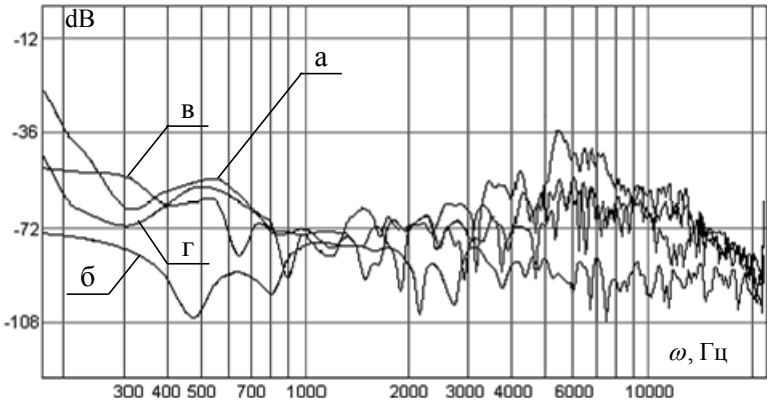


Рис. 2. Амплітудно-частотні характеристики діагностичних сигналів для різних знімних конструкцій: а) відсутня; б) стандартна; в) фрагментарно потоншена; г) фрагментарно потовщена

Доцільно зазначити, що в межах фізіологічних особливостей, надзвичайно складно відтворити одну і ту ж акустичну реалізацію з однаковою потужністю та спектральним складом, що підтверджують результати спектрального аналізу (рис. 2) та оцінювання зміни потужності сигналів для різного типу знімних конструкцій, результати розрахунку засобами MathCAD-системи комп'ютерної алгебри класу

систем автоматизованого проектування, подано в табл. 1.

Таблиця 1

Потужність сигналу для різних знімних конструкцій А – відсутня, Б – стандартна, В – фрагментарно потоншена, Г – фрагментарно потовщена

Середнє значення потужності, дБ	А	Б	В	Г
	-29.65	-34.3	-32.69	-41.58

Однією з особливостей діагностування артикуляційної системи є те, що знімна конструкція, під час відтворення сигналів, задіяна лише в моменти артикуляції, тобто для формування негармонійних широкосмугових складових. В такій ситуації, спектральні характеристики послідовності акустичних реалізацій є малоінформативні, що не дозволяє їх використати в задачах діагностування згаданого типу.

Отже, розв'язання задачі опрацювання широкосмугових сигналів з малоінформативними спектральними характеристиками є особливо актуальним в області медичного діагностування артикуляційної системи, функціонування якої є основним джерелом стохастичних коливань.

В ході ряду експериментальних досліджень (проведених на базі кафедри стоматології, факультету післядипломної освіти, ІФНМУ) встановлено, що при формуванні акустичних реалізацій голосних звуків, які характеризуються наявністю гармонійних складових (рис. 3а), використовуються голосові зв'язки, тому звуковий сигнал практично не зустрічає перепон і, як наслідок, не містить інформації про стан системи артикуляції. Формування акустичних реалізацій приголосних звуків, у яких практично відсутні гармонійні складові (рис. 3б) а також відносно коротка (від 0.1 до 0.4 с) тривалість, характеризується точними контактними точками дотику язика у відповідних артикуляційних зонах.

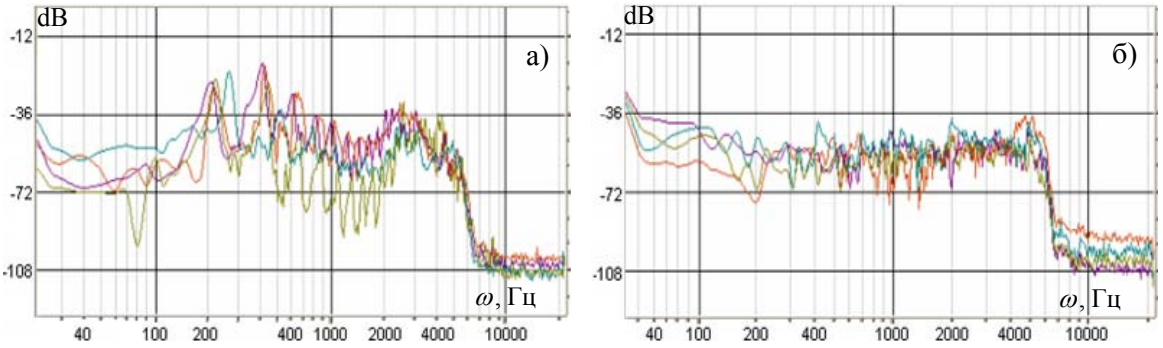


Рис. 3. Спектри сигналів діагностування а) голосних фрагментів; б) приголосних фрагментів різних акустичних реалізацій

Крім того встановлено, що амплітудно-частотні характеристики приголосних фрагментів мають розподіл близький до рівномірного, охоплюють частотний діапазон до 12КГц і різняться між собою несуттєво, див.рис.3б. В такому випадку згадані сигнали малопридатні для спектрального аналізу а дикторозалежність суттєво ускладнює кореляційний аналіз їх часових форм (структур). Крім того, використання лише амплітудних характеристики сигналу, не дає повної інформації про об'єкт та зменшує ефективність діагностування.

Для подолання основних недоліків, що притаманні традиційним реалізаціям методів опрацювання широкосмугових сигналів в системах медичного діагностування а також спрощення апаратного та програмного забезпечення автором запропоновано використання однієї, зокрема ентропійної, чи кількох сумісно імовірнісних характеристик для формування векторів опису станів об'єкту діагностування з подальшим їх кореляційним чи статистичним аналізом. Основна ідея запропонованого методу [5] полягає у опрацюванні випадкових широкосмугових сигналів, таким чином, що значення фрагментів їх інформаційної ентропії використовуються для побудови параметричних векторів за якими реалізується оцінювання можливих станів об'єкту діагностування [5, 6].

Отже, деяку оцифровану акустичну реалізацію представимо вектором амплітуд інформаційного сигналу $S = (r_1, r_2, ..., r_n) \in [-32768;\ 32767]^n$, що в даному випадку зумовлено використанням 16-розрядного АЦП, частота дискретизації 44100 Гц. Означимо тепер відображення оцінок ентропії

$$\hat{h}_s : [-32768;\ 32767]^n \to [0;16]^{\left[\frac{n}{w}\right]},$$

де $\left[\frac{n}{w}\right]$ – округлення результату до меншого цілого, наступним чином:

$$\hat{h}_s(S) = (\hat{H}(r_1, r_2, ..., r_w), \hat{H}(r_{w+1}, r_{w+2}, ..., r_{w+w}), ..., \hat{H}(r_{w+...+w+1}, ..., r_n))$$

де $\hat{H}$ – функція розрахунку оцінки інформаційної ентропії за інформаційною мірою К.Шеннона

$$H = -k \sum_{i=1}^{n} p_i \cdot \log p_i \ ;$$

r_i – елемент вектора S ;

w – розмір фрагменту вектора S , за яким розраховується оцінка ентропії.

Таким чином кожній акустичній реалізації ставиться у відповідність вектор оцінок інформаційної ентропії, який отримують через застосування функції розрахунку ентропії $\hat{H}$ за мірою К.Шеннона до наборів відповідних елементів (координат) вектора амплітуд діагностичного сигналу S , рис.4.

Структурну схему реалізації запропонованого методу опрацювання широкосмугових фрагментів діагностичних сигналів подано на рис. 5.

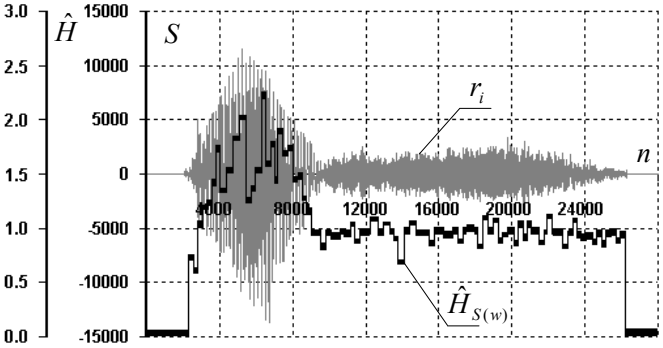


Рис. 4. Акустична реалізація S діагностичного сигналу та представлення оцінок інформаційної ентропії $\hat{H}$ його послідовних фрагментів

З огляду на особливості будови артикуляційної системи та процесу формування випадкових широкосмугових сигналів однією із актуальних задач є діагностування відновлення голосової функції при використанні знімних конструкцій [7]. Встановлення знімних конструкцій приводить до зменшення відстаней в артикуляційних зонах, що зумовлює спотворення широкосмугових акустичних реалізацій і, як наслідок, порушення голосової функції. В такій ситуації доцільно розглянути використання таких способів формування випадкових сигналів при діагностуванні, які характеризуються максимальним залученням артикуляційних зон.

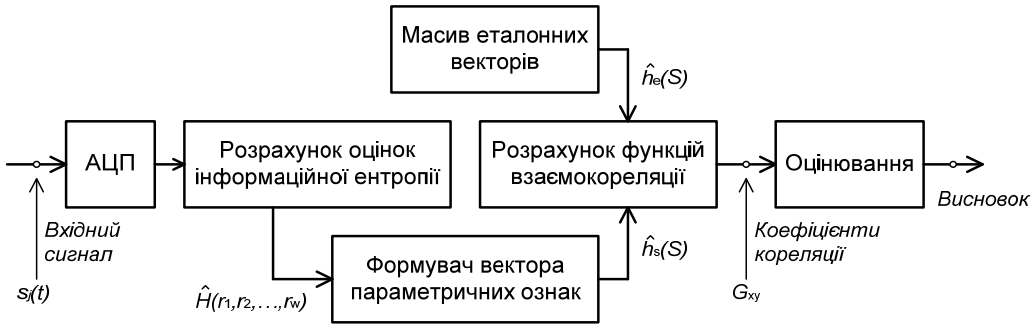


Рис. 5. Опрацювання акустичних реалізацій широкосмугових діагностичних сигналів зі змінною ентропією

Оскільки приголосні звуки окремо відтворити практично неможливо, особливо у випадках коли знімні конструкції задіяно вперше, то їх необхідно поєднувати їх з гармонійними, зокрема “и”, “е”, “у” тощо. При залученні гармонійних сигналів, контур формування при їх відтворенні розташовується на рівні оклюзійних площин фронтальних зубів нижньої щелепи, яка фактично перебуває в стані фізіологічного спокою [8], тобто таке поєднання дозволяє спростити процес відтворення діагностичних сигналів без внесення додаткових спотворень в широкосмугові їх фрагменти, які характеризується точними точками дотику язика у ротовій порожнині, причому точки утворення таких приголосних звуків розрізняються з механізмом залучення артикуляційних зон, зокрема губна, зубна, коміркова, піднебінна і дорсальна. В ході ортопедичного втручання повними знімними конструкціями найбільш проблемними, з позиції отримання та опрацювання діагностичних сигналів, є палатинальна та лінгвокоміркова зони [8], що відповідно відповідають за чітке відтворення акустичних сигналів звуку “ш” та “с”, які формують стохастичні коливання. Таким чином, для діагностування відновлення артикуляційної функції при використанні знімних конструкцій доцільно обрати тестові акустичні реалізації особливістю відтворення яких є залучення зон лінгвокоміркової – це звук “с” та палатинальною – “ш” відповідно. З метою обґрунтування вибору діагностичних реалізацій акустичних сигналів проведено ряд експериментальних досліджень, в ході яких розглянуто різні поєднання звукових фрагментів з погляду зручності відтворення та повторюваності результатів спостережень [9], характерні реалізації ентропійних представлень яких подано на рис. 6.

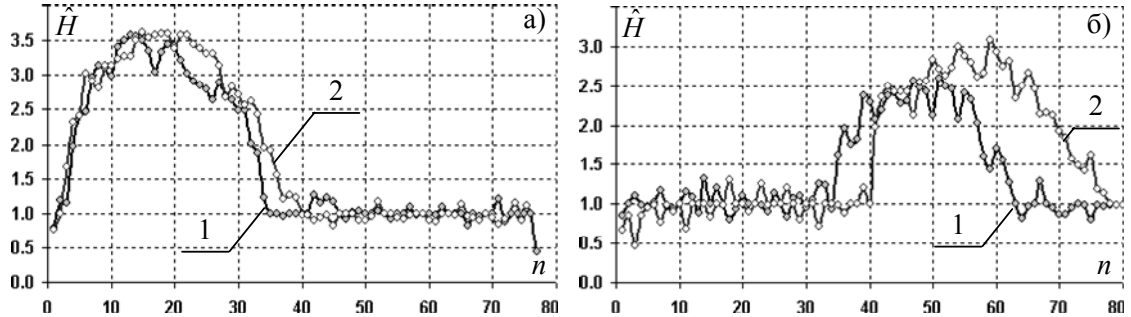


Рис. 6. Ентропійні представлення акустичних реалізацій а) 1-“ис”, 2-“иш”; в) 1-“со”, 2-“шо” поєднання гармонійних та широкосмугових сигналів

З огляду на отримані результати, можна стверджувати, що відтворення акустичних реалізацій для діагностування доцільно починати з гармонійних фрагментів, див.рис.6а та б, оскільки зворотній підхід не забезпечує прийнятної повторюваності спостережень і характеризується зростання $\sigma_{\hat{H}}$ ентропійного представлення. Тому для діагностування відновлення голосової функції в ході постановки та використання знімних конструкцій доцільно обрати гармонійну реалізацією, звук “и” в поєднанні з широкосмуговими сигналами $S_{\text{С}}$ та $S_{\text{Ш}}$.

Висновки

Отже, запропонований в [5, 6] метод опрацювання широкосмугових акустичних реалізацій, які зумовлені функціонуванням артикуляційної системи дозволяє використати імовірнісні, зокрема ентропійні, характеристики сигналів як джерело інформаційних ознак при діагностуванні та забезпечити можливість їх кореляційного аналізу для сигналів з малоінформативними спектральними характеристиками. Фактично вперше, такий підхід дозволяє опрацьовувати широкосмугові фрагменти біоакустичних сигналів в сучасних комп’ютерних системам діагностування.

Література

1. Сторчун Є.В. Біофізичні та математичні основи інструментальних методів медичної діагностики : навч. посібник / Є.В. Сторчун, Я.М. Матвійчик. – Львів : Вид-во «Растр-7», 2009. – 216 с.

2. Itakura F. Minimum Prediction Residual Principle Applied to Speech Recognition : праці наук. конф. IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Proc / Itakura F. – 1975. – Т. 23, № 1. – С. 67–72.

3. Абакумов В. Г. Реєстрація, обробка та контроль біомедичних сигналів: навчальний посібник / В. Г. Абакумов, З. Ю. Готра, С. М. Злепко та ін. – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 352 с.

4. Бачинський М. В. Комп’ютерна імітаційна модель вокалізованих фрикативних звуків / М. В. Бачинський, Л. Є. Дедів, В. Г. Дозорський // Вісник СумДУ. Серія «Технічні науки». – 2012. – № 1. – С. 149–156.

5. Пат. 88641 Україна, МПК(2009) G06K 9/00 G06F 19/00. Спосіб розпізнавання дискретних сигналів / Мельничук С. І., Федоришин М.Г. (Україна). – заявка № а 2007 01326 ; заявл. 08.02.2007 ; опубл. 10.11.2009, Бюл. № 21.

6. Пат. 53463А Україна, МПК(7) А61С19/00. Спосіб обробки даних електроміографічного (ЕМГ) дослідження жувальних м’язів / Пелехан Л.І., Рожко М.М., Мельничук С.І., Андрійців С.С., Ожоган С.Р., Пітик М.І. (Україна). – заявка № 2002064667 ; заявл. 07.06.2002 ; опубл. 15.01.2003, Бюл. № 1.

7. Дозорський В. Модель акустичного сигналу для виявлення порушень стану дихальної системи та голосового апарату як частковий випадок стохастичної коливної системи / Н. Джичка, І. Дедів, В. Дозорський, Я. Драган // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Комп’ютерні науки та інформаційні технології. – 2011. – № 710. – С. 155–159.

8. Kostrica R. Vztah protetika k fonetice / R. Kostrica // Cs. Stomatol. – 1961. – № 2. – S. 113–126.

9. Мельничук Н.В. Анализ и перспективы использования энтропийных характеристик в восстановлении речевой артикуляции при полном съемном протезировании / Н.В. Мельничук, Н.М. Рожко, С.И. Мельничук // The scientific and practical journal valeology health - illnes - recovery. – Kazakhstan Republic, 2013. – № 3. – С. 35–39.

Рецензія/Peer review : 12.1.2017 р. Надрукована/Printed :5.2.2017 р.
Рецензент : д.т.н., професор Заміховський Л.М.

УДК 681.121:621.643.8

Й.Й. БІЛИНСЬКИЙ, М.В. ГЛАДИШЕВСЬКИЙ, В.Б. БУРДЕЙНИЙ
Вінницький національний технічний університет

МОДЕЛЮВАННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ЗАСОБУ ВИМІРЮВАЛЬНОГО КОНТРОЛЮ ВИТРАТИ ПЛИННИХ СЕРЕДОВИЩ

В роботі розроблено структурну та електричну принципову схему ультразвукового амплітудно-частотного витратоміра плинних середовищ. Проведено моделювання окремих блоків схеми та експериментальні дослідження.

Ключові слова: витрата, ультразвуковий витратомір, частота, амплітуда, ближня зона.

Y.Y. BILYNSKY, M.V. GLADYSHEVSKYI, V.B. BURDANY
Vinnytsia National Technical University

MODELING OF ULTRASONIC MEAN OF MEASUREMENT CONTROL FOR FLOW RATE OF FLOWING MEDIUM

The aim of this work is to prove the reliability of proposed ultrasonic method of flowing medium flow rate measurement by means of modeling of measuring transducer that implements this method. In article [18] described new proposed amplitude-frequency method for flow rate measurement of flowing medium, which is based on dependency between frequency of acoustic wave from propagation speed of ultrasonic wave at maximum amplitude of output signal in near zone range of ultrasonic transducer. For the proposed method implementation a block schematic diagram was developed for ultrasonic amplitude-frequency flow meter. Then, electrical diagram was developed based on the block schematic diagram. After, in order to prove reliability of developed diagrams for proposed new ultrasonic amplitude-frequency flow meter, simulation of measuring transducer was performed for different inlet parameters. Such simulation and modeling procedures have allowed to confirm the performance of ultrasonic mean of measurement control for flow rate of flowing medium.

Keywords: flow rate, ultrasonic flow meter, frequency, amplitude, near zone.

Вступ

Протягом останніх років значно виросло використання ультразвукових витратомірів для комерційного обліку природного газу. Різноманітність технологічних умов використання витратомірів, підвищення вимог щодо їх точності та надійності зумовило розроблення нових методів і засобів на їх основі. На сьогодні майже на кожному об'єкті газотранспортної та газорозподільчої мережі використовується технологія ультразвукового вимірювання, а також вимірювального контролю витрат для комерційних та технічних потреб.

Проведений аналіз існуючих методів і засобів ультразвукового вимірювання витрат плинних середовищ [1–10] показує, що найбільш широкого застосовані витратоміри мають ряд недоліків пов'язаних з залежністю швидкості звуку від густини вимірювального середовища, наявністю мертвої зони при невеликому діаметрі газопроводу, що вимагає додаткові конструктивні рішення, показника адіабати тощо [11–17]. Тому на сьогодні більша увага приділяється розробці нових або модифікації існуючих методів на основі впровадження мікропроцесорної обробки сигналів, що дає змогу будувати витратоміри з високими метрологічними характеристиками та широкою сферою застосування. Правильність вибраних принципів роботи вимірювальних перетворювачів та їх побудови необхідно перевірити в першу чергу шляхом математичного та віртуального моделювання.

Метою роботи є проведення моделювання роботи ультразвукового засобу вимірювального контролю витрати плинних середовищ на основі запропонованого амплітудно-частотного методу вимірювання.

Експериментальна частина

В роботі [18] описано запропонований амплітудно-частотний метод вимірювання швидкості плинних середовищ, в основі якого лежить залежність частоти акустичного сигналу від швидкості поширення ультразвукової хвилі при максимальній амплітуді вихідного сигналу в межах ближньої зони ультразвукового перетворювача [19].

Частота ультразвукового сигналу при максимальному значенню амплітуди за потоком визначається як:

$$f = \frac{D\left(V_{узх} + V\cos\alpha\right)}{a^2 \sin\alpha} \qquad (1)$$

де D – діаметр трубопроводу;
V – швидкість потоку;
a – радіус випромінювача;
$V_{узх}$ – швидкість звуку.
α – кут між напрямком поширення ультразвукової хвилі та газовим потоком.

Тоді витрати плинного середовища в такому випадку визначаються так:

$$Q = 0,25\pi\Delta fDVa^2tg\alpha \quad (2)$$

На рис. 1 схематично показано поширення ультразвукової хвилі в ультразвуковому перетворювачі

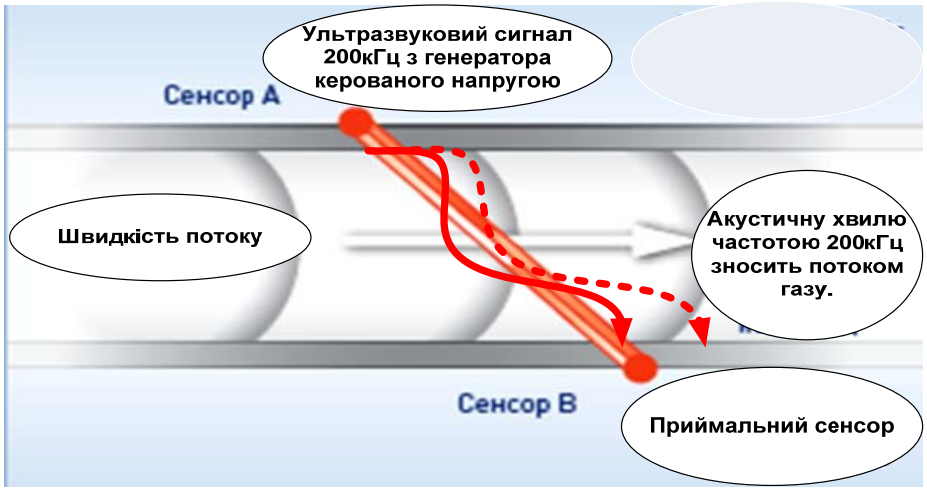


Рис. 1. Загальна схема принципу роботи ультразвукового витратоміру

Ультразвуковий сигнал проходить по діагоналі від одного п'єзоелемента до іншого й при певній його частоті, що відповідає швидкості потоку, амплітуда сигналу буде максимальною, оскільки такий стан відповідає умові ближньої зони. При зміні швидкості потоку зменшується амплітуда. Для відновлення максимального значення амплітуди необхідно змінити частоту сигналу у відповідності до умови ближньої зони. Отримане значення частоти відповідатиме швидкості потоку плинного середовищ згідно з (1).

Для реалізації запропонованого методу розроблена структурна схема ультразвукового амплітудно-частотного витратоміра, вимірювальний канал якого показаний на рис. 2.

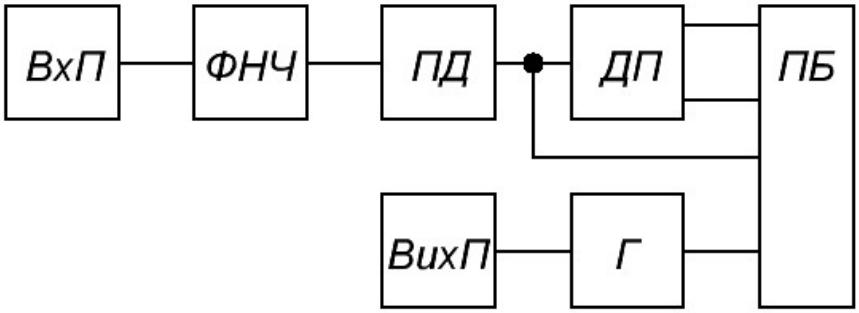


Рис. 2. Структурна схема вимірювального каналу ультразвукового амплітудно-частотного витратоміра

Сигнал з п'єзоприймача поступає на вхід вхідного підсилювача (ВхП), далі підсилений сигнал поступає на вхід фільтра нижніх частот (ФНЧ), а далі – на вхід пікового детектора (ПД), амплітудне значення якого вимірюється та записується мікропроцесорним блоком (ПБ). Для підвищення точності вимірювання використовується диференційний підсилювач (ДП). Частота генератора (Г) задається мікропроцесорним блоком, сигнал з генератора підсилюється вихідним підсилювачем (ВихП) та надходить на п'єзоелектричний передавач.

В роботі особливу увагу приділено фільтрації сигналів, оскільки один із інформативних параметрів засобу є амплітуда.

На базі структурної схеми розроблено електричну принципову схему ультразвукового амплітудно-частотного витратоміра , яка показана на рис. 3.

Вхідний підсилювач виконано на операційному підсилювачі DA1.1, резистором R2 встановлюється коефіцієнт підсилення. Фільтр нижніх частот побудований по схемі активного фільтра Баттерворта шостого порядку на операційних підсилювачах DA1.2 та DA3. Піковий детектор зібраний за класичною схемою на операційному підсилювачі DA4 з використанням польового транзистора для розрядки накопичувального конденсатора. Диференційний підсилювач зібраний на операційному підсилювачі DA2.1.

Мікропроцесорний блок складається із мікроконтролера STM32F103RCT6, що має вбудовані АЦП та ЦАП та мікросхему Flash пам'яті AT25SF041. Мікропроцесорний блок має вихід USB та UART для введення та виведення інформації. Мікросхема Flash пам'яті використовується для автономного збереження інформації про витрату газу. В якості генератора використовується цифровий генератор AD9837 з кроком переналаштування частоти 0,06 Гц.

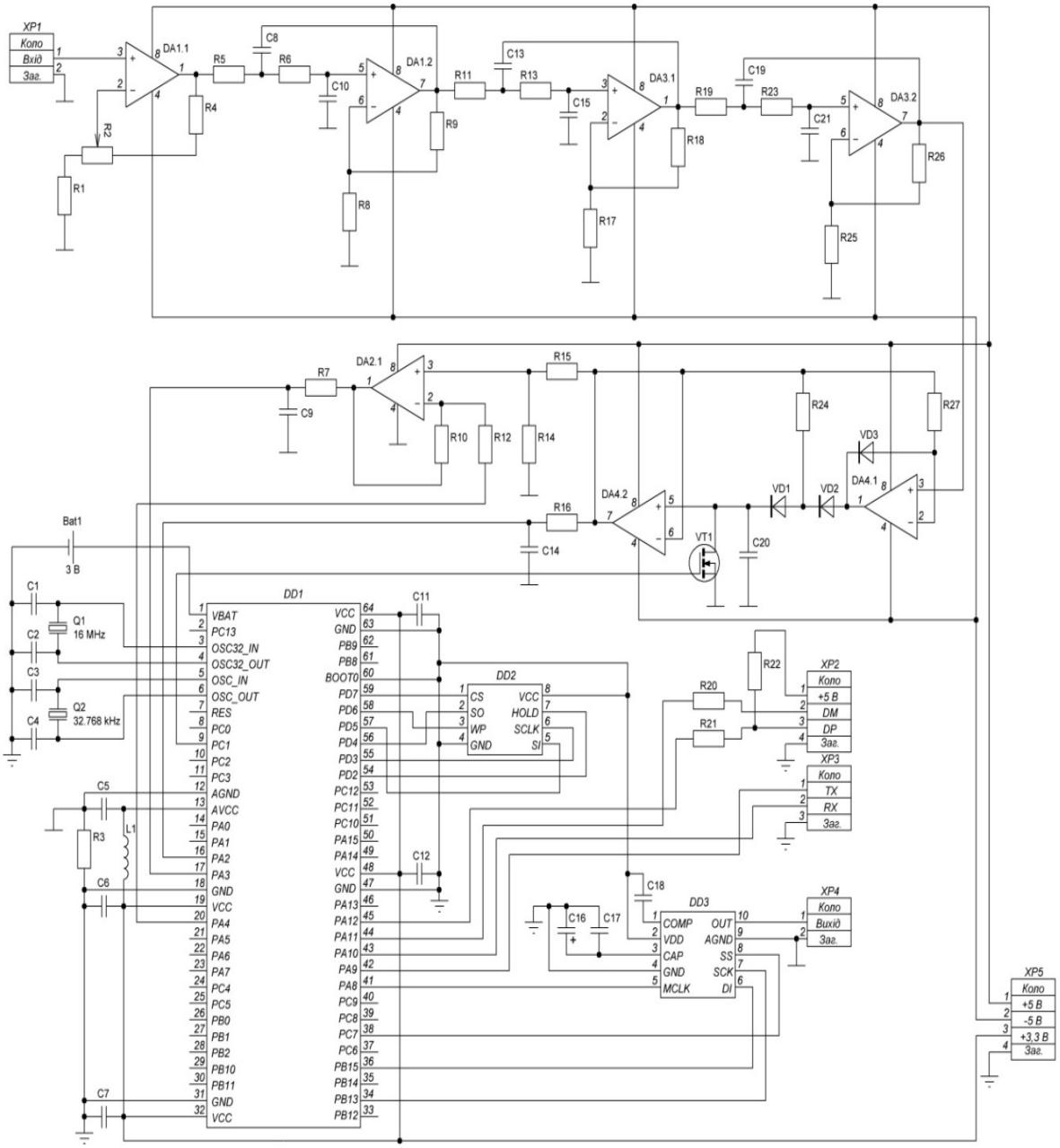


Рис. 3. Структурна схема ультразвукового амплітудно-частотного витратоміра

Для підтвердження роботи засобу вимірювання необхідно дати відповідь на ряд питань, відповіді на які можна отримати шляхом проведення моделювання роботи відповідних блоків вимірювального перетворювача.

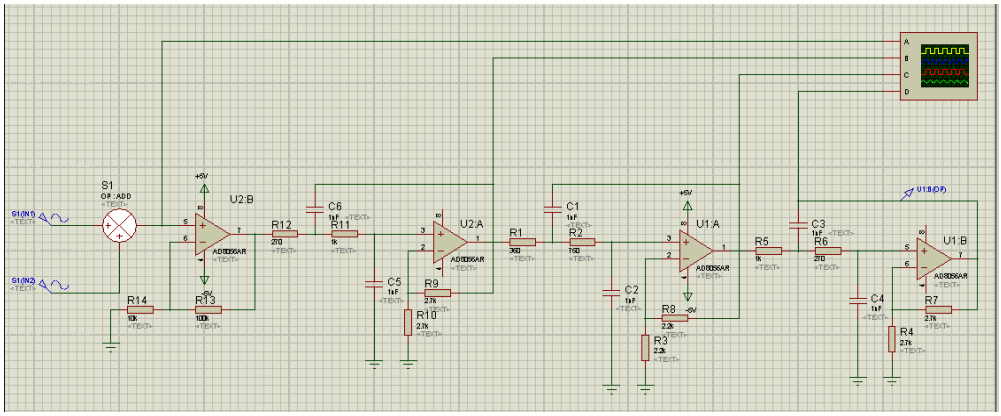


Рис. 4. Схема моделювання роботи фільтра Баттерворта шостого порядку на операційному підсилювачі AD8056AR

Фільтр нижніх частот виконаний на основі фільтра Баттерворта. На рис. 4 показано схему моделювання фільтра Баттерворта шостого порядку в середовищі ISIS Proteus 7.7.

Необхідність використання фільтра нижніх частот зумовлено наявністю шуму на виході п'єзоприймача, Для цього використано два генератора, перший із яких формує несучу частоту сигналу, а другий – шум.

Моделювання фільтра проведено для несучого сигналу з частотою 200 кГц та амплітудою 18 мВ, при шумові з частотою 1,2 МГц та амплітудою 10 мВ. Результат моделювання подано на рис. 5. Вхідний (зашумлений) сигнал відображено в масштабі 10 мВ на одну поділку, вихідний сигнал – у масштабі 1 В на одну поділку.

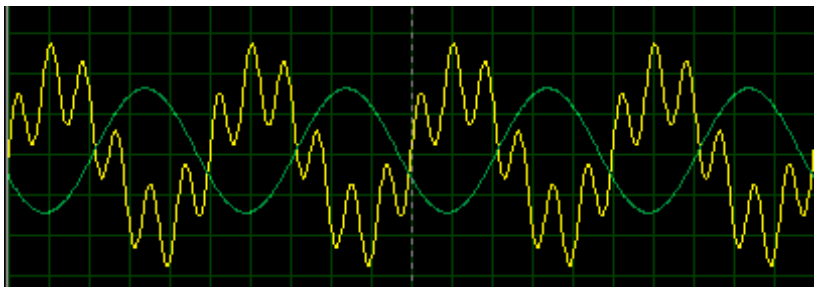


Рис. 5. Результат моделювання у середовищі ISIS Proteus 7.7 для несучого сигналу з частотою 200 кГц та амплітудою 18 мВ, при шумові з частотою 1,2 МГц та амплітудою 10 мВ

Як видно з рисунка фільтр чудово «зрізає високочастотний сигнал, який має амплітуду близьку за значенням до амплітуди несучого сигналу, що є вагомим результатом, при роботі зі слабкими сигналами. Крім цього проведено повторне дослідження роботи фільтра з частотою шуму 3 МГц і амплітудою 5 мВ. Значення параметрів несучого сигналу залишено незмінними. На рис. 6 показано результати моделювання. Вхідний (зашумлений) сигнал відображено в масштабі 10 мВ на поділку. Вихідний сигнал відображено у масштабі 1 В на поділку. Як видно з рисунка результати моделювання є позитивним. Фільтр справляється з о високочастотним сигналом, амплітудою якого 5 мВ.

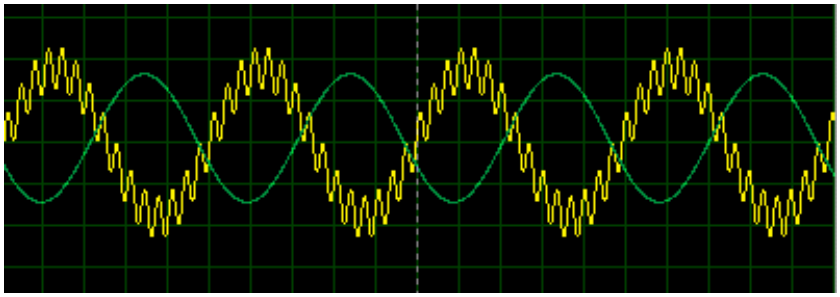


Рис. 6. Результат моделювання у середовищі ISIS Proteus 7.7 для несучого сигналу з частотою 200 кГц та амплітудою 18 мВ, при шумові з частотою 3 МГц та амплітудою 5 мВ

Для підтвердження отриманого результату проведено експериментальні дослідження фільтра з використанням двох генераторів. У якості змішувача використано BNC з'єднувач-розвилка, до якого підключено через послідовно ввімкнений опір 500 Ом кожен з генераторів. З виходу «змішувача» сигнал подається на вхід підсилювача. Осцилограму роботи схеми показано на рис. 7.

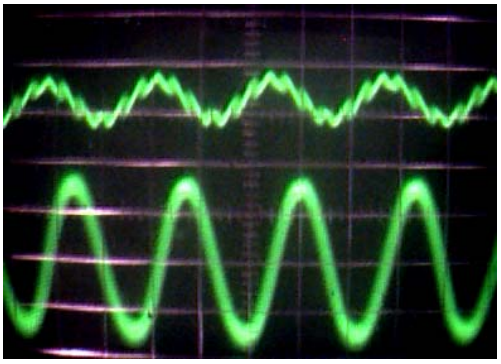


Рис. 7. Фільтрація та підсилення суміщеного сигналу з частотою 200 кГц та амплітудою 18 мВ, при шумові з частотою 1,2 МГц та амплітудою 10 мВ

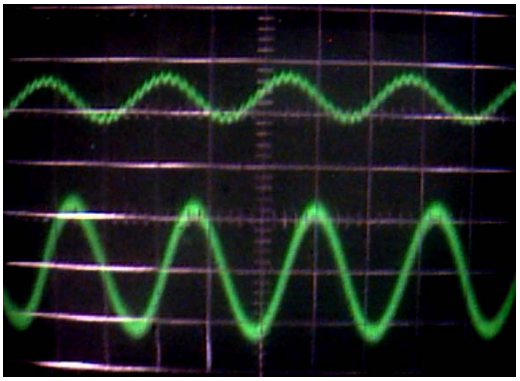


Рис. 8. Фільтрація та підсилення суміщеного сигналу з частотою 200 кГц та амплітудою 18 мВ, при шумові з частотою 3 МГц та амплітудою 5 мВ

Виходячи з аналізу осцилограми , яку показано можна стверджувати, про ефективність роботи

фільтра та підсилювача.

Для підтвердження віртуального моделювання, проведено практичний дослід з тими ж параметрами вхідного сигналу (рис. 8).

В осцилографа на який подано сигнал до фільтрації та підсилення, тобто верхня частина осцилограми (рис. 8), було виставлено масштаб 0,05 В на поділку, а по каналу А осцилографа, на який подано сигнал після підсилення та фільтрації, тобто нижня частина осцилограми (рис. 8), було виставлено масштаб 1 В на поділку.

Висновки

В роботі запропоновано структурну та електричну принципові схеми ультразвукового засобу вимірювання швидкості плинних середовищ. Проведено моделювання окремих блоків схеми та експериментальні дослідження й, таким чином, підтверджено працездатність запропонованого методу вимірювання витрат плинних середовищ.

Література

1. J. Drenthen, “The manufacturing of ultrasonic gas flow meters”, Flow Measurement and Instrumentation, Volume 12 (Issue 2), 2001 pp. 89–99.

2. P. Brassiera, “High-frequency transducers and correlation method to enhance ultrasonic gas flow metering”, Flow Measurement and Instrumentation Volume 12 (Issue 3), 2001 pp. 201–211.

3. R. Miller, “Flow measurement engineering handbook”, Research Triangle Park, NC: Instrument Society of America, 1983.

4. F. Cascetta, “Field test of a swirlmeter for gas flow measurement”, Flow Measurement and Instrumentation, Volume 10 (Issue 3), 1999 pp. 183–188.

5. Skeaa, “Effects of gas leaks in oil flow on single-phase flowmeters”, Flow Measurement and Instrumentation, Volume 10 (Issue 3), 1999 pp. 145–150.

6. von Jena, “Ultrasound gas-flow meter for household application”, Sensors and Actuators Physical, Volumes 37–38, 1993 pp. 135–140.

7. R. Moletta, “A gas meter for low rates of gas flow”, Biotechnology Letters, Volume 4 (Issue 5), 1982 pp. 319–322.

8. Arthur, “Effect of Gas Density on Resistance to Respiratory Gas Flow in Man.”, Journal of Applied Physiology Volume 2 (Issue 6), 1949 pp. 300–306.

9. H. Murakawa, “Application of ultrasonic doppler method for bubbly flow measurement using two ultrasonic frequencies”, Experimental Thermal and Fluid Science, Volume 29 (Issue 7), 2005 pp. 843–850.

10. G. Zheng, “Gas–liquid two phase flow measurement method based on combination instrument of turbine flowmeter and conductance sensor”, International Journal of Multiphase Flow, Volume 34 (Issue 11), 2008, pp. 1031–1047.

11. R. Abernethy, “Measurement Uncertainty”, ASME, Volume 107 (Issue 2), 1985 pp. 161–164.

12. Marić. “The Joule–Thomson effect in natural gas flowrate measurements”, Flow Measurement and Instrumentation, Volume 16 (Issue 6), 2005 pp. 387–395.

13. K. Kawashima, “Instantaneous Flow Rate Measurement of Ideal Gases”, ASME, Volume 122 (Issue 1), 1996 pp. 174–178.

14. H. Dane, “Ultrasonic measurement of unsteady gas flow”, Flow Measurement and Instrumentation Volume 8 (Issues 3–4), 1998 pp. 183–190.

15. W. Lee, “Gas Turbine Flowmeter Measurement of Pulsating Flow”, ASME, Volume 97 (Issue 4), pp. 531–539.

16. K. Brun, “Measurement Uncertainties Encountered During Gas Turbine Driven Compressor Field Testing”, ASME, Volume 3, 1998 pp. 3–13.

17. J. Berrebi, “Reducing the flow measurement error caused by pulsations in flows”, Flow Measurement and Instrumentation, Volume 15 (Issues 5–6), 2004 pp. 311–315.

18. Білинський Й.Й. Новий ультразвуковий метод вимірювання витрат плинних середовищ / Й. Й. Білинський, М. В. Гладишевський // Нафтогазова галузь України. – 2016. – № 2. – С. 35–39.

19. Крюков И.И. О раз мере ближней зоны плоских ультразвуковых преобразователей, находящихся на одной оси / И.И. Крюков // Акустический журнал. – 1995. – Том 41, № 1. – С. 101–105.

Рецензія/Peer review : 28.1.2017 р. Надрукована/Printed :8.2.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Кичак В.М.

УДК 621.384.3

О.М. ПЛОТНІКОВ, В.І. МИКИТЕНКО
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МЕТОД КОМПЛЕКСУВАННЯ ДАНИХ З ПОПЕРЕДНІМ ЗНАХОДЖЕННЯМ ІНФОРМАТИВНОЇ ОБЛАСТІ СЦЕНИ

Дана стаття присвячена методам підвищення ефективності обробки зображень в багатоспектральних оптико-електронних приладах. Вирішується проблема покращення якості зображень отриманих з різних каналів оптико-електронних систем спостереження шляхом їх подальшого комплексування. Запропоновано новий метод обробки зображень, що містить в собі комплексування зображень з різних каналів із попереднім знаходженням їх карти інформативності. Після виконання цих операцій покращується можливість виявлення об'єктів на фоні. За допомогою такого способу обробки збільшується швидкість оцінки зображень оператором, а за рахунок підвищення якості тільки інформативної частини зображення істотно зменшується розмір обробленої інформації, а отже збільшується швидкість передачі отриманих даних.

Ключові слова: комплексування зображень, інформативність сигналу, фон.

O.M. PLOTNIKOV, V.I. MIKITENKO
National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

DATA FUSION METHOD WITH THE PREVIOUS FINDING INFORMATIVE AREA ON SCENE

This article focuses on methods of improving the efficiency of a multispectral imaging of opto-electronic devices. The problem of improving the quality of images is received from different channels of optoelectronic surveillance systems by combining them further. A new imaging method that involves combining images from different channels with the previous finding of their informative cards is presented. The ability to detect objects in the background improves after performing these operations. The speed of image evaluation increases by the operator, and by improving the quality of the image informative with this method of treatment. The size of the processed information slightly reduces, and thus increases the speed of the data transmission.

Keywords: integration of images, information signal background.

Вступ

Основними каналами в багатоспектральних оптико-електронних приладах спостереження є як мінімум телевізійний (ТВ) і тепловізійний (ТПВ) [1]. Для покращення оцінки сцени отриманої з різних каналів спостереження використовують комплексування зображення, на даний момент це є основним рішенням при покращенні інформативності зображення. Але комплексування є складним і затратним процесом для блоку відеообробки в пристрої. Оскільки увага оператора фокусується головним чином на інформативній частині зображення, фон залишається поза увагою і його якість може бути низькою. Попереднє знаходження карти інформативності може вирішити задачу відокремлення інформативних областей від фону.

Постановка задачі

Мета роботи полягає в розробці методу обробки зображень використовуючи знаходження інформативних областей в зображеннях отриманих в багатоспектральних приладах, та подальшого попіксельного комплексування.

Опис об'єкту дослідження

На сьогоднішній день карта інформативності отримується переважно методом, описаним авторами L. Itti, C. Koch, & E. Niebur [2]. Архітектура такого підходу наведена на рис. 1.

Недоліком моделі виявлення сигналу на основі візуального спостереження для швидкого аналізу сцени є відносно невисока точність знаходження інформативних областей, яка складає 84%. Кращою альтернативою є модифікований метод запропонований авторами Jonathan Harel, Christof Koch, Pietro Perona [3], який базується на графіку візуальної значимості (Graph-Based Visual Saliency), знаходження сигналу якого складає 98%. Спільним недоліком обох методів є обробка великого обсягу даних, що уповільнює роботу приладу і відповідно реакцію на зміну сцени, збільшує енергоспоживання, а також вартість самого приладу спостереження. Метод комплексування даних з попереднім знаходженням інформативної області сцени вирішує спільну для обох методів проблему пов'язану з великим обсягом даних.

Комплексування даних з попереднім знаходженням інформативної області

Комплексування даних з попереднім знаходженням інформативної області дає на виході зображення, в якому область корисного сигналу отримана на зображенні з низькою роздільною здатністю за допомогою карти інформативності, виділяється на зображенні високої роздільної здатності. Після чого отримана область комплексується з зображенням з низькою роздільною здатністю.

Для отримання вхідних зображень синхронно робляться знімки з двох камер одна з яких низької роздільної здатності (рис. 2а), а інша – високої (рис. 2б).

Зображення можуть отримуватись з різних каналів: телевізійна кольорова камера високої роздільної здатності; телевізійна кольорова камера низької роздільної здатності; тепловізійна камера; чорно-біла камера; інші.

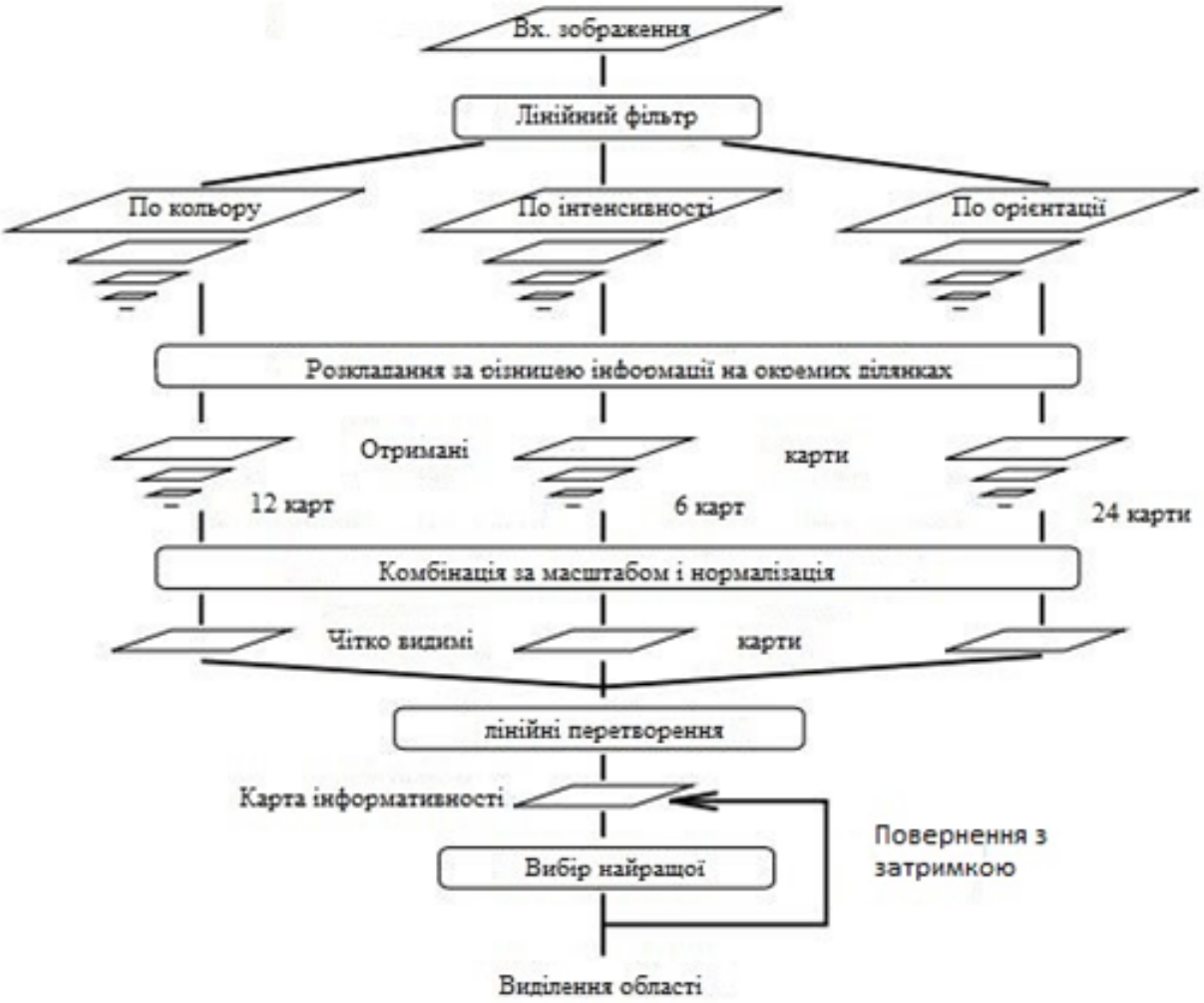


Рис. 1. Архітектура моделі виявлення сигналу на основі візуального спостереження для швидкого аналізу сцени [2]

а) зображення низької роздільної здатності **б) зображення високої роздільної здатності**

Рис. 2. Фото зроблене з двох різних каналів

На рис. 3 зображені фрагменти отриманих на вході програми фото. На фрагменті а) зображення (1) неможливо розгледіти номерний знак, а на тому ж фрагменті зображення (2) чітко видно номер. Схожа ситуація складається з фрагментами б). На фрагментах в) авто є фоновим, оскільки жодне з зображень не надає нам корисної інформації хоч і мають різну чіткість.

Рис. 3. Фрагменти: зображення низької роздільної здатності (1, 3, 5), зображення високої роздільної здатності (2, 4, 6)

Знаходження карти інформативності виконується на зображенні низької роздільної здатності (рис. 2а). Отримана інформативна область виділяється на зображенні високої роздільної здатності (рис. 2б) і в результаті на виході отримується зображення в якому фонова область відсутня (рис. 4).

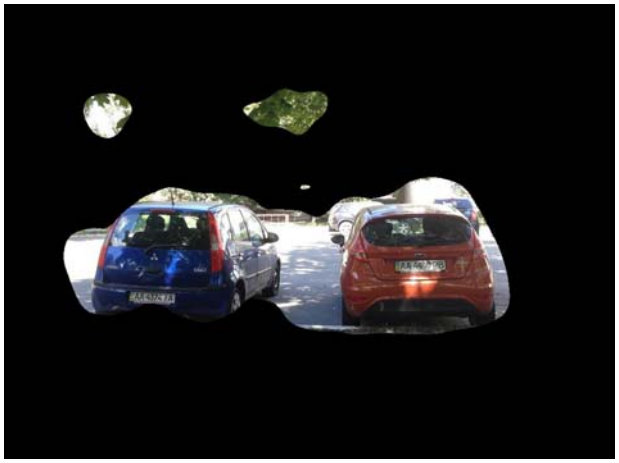


Рис. 4. Виділення інформативних областей на зображенні високої роздільної здатності

Отримане зображення комплексується з вхідним зображенням низької роздільної здатності (рис. 2а). Після виконання операції комплексування даних на виході отримується кінцеве комплексне зображення з виділеною інформативною областю (рис. 5).

Рис. 5. Вихідне зображення отримане методом комплексування даних з попереднім знаходженням інформативної області

Такий метод обробки вхідних зображень дозволяє пришвидшити роботу приладу, не погіршуючи якості областей інформативного сигналу. При цьому загальна картина оцінюваної місцевості не втрачається, як було б при звичайному обрізанні знайденої інформативної області.

На рис. 6 відображено фрагменти зображення отриманого комплексуванням даних з попереднім знаходженням інформативної області (рис. 5), після якого інформативні області залишились високої роздільної здатності, що видно з фрагментів (1) і (2), а фонова область низької роздільної здатності, фрагмент (3).

1

2

3

Рис. 6. Фрагменти отриманого вихідного зображення

Суттєве зменшення обсягу даних якісно впливає на швидкість комплексування зображень, отриманих з різних каналів, і подальшої передачі даних на комп'ютер або сервер. Особливо це корисно при потоковій передачі даних через різного роду мережі (Wi-Fi, WAN, LAN і т.п.). Також це вплине на обсяг інформації, яка буде зберігатись на носіях.

В таблиці 1 наведено розміри отриманих файлів і швидкість виконання роботи програми в середовищі MATLAB 2016, на комп'ютері з характеристиками:

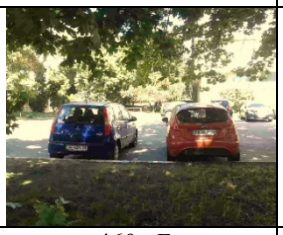
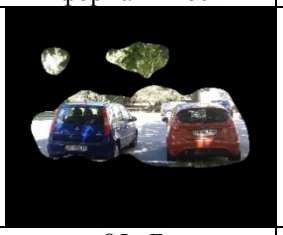
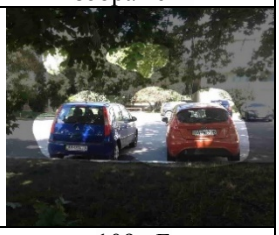
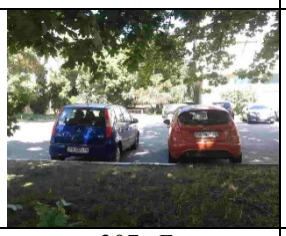
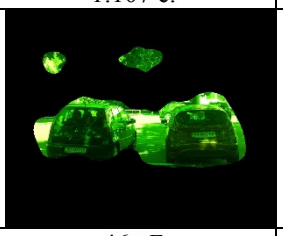
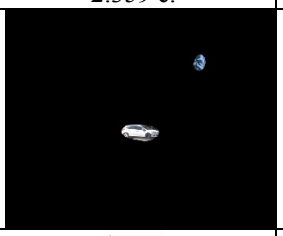
Процесор – Intel Core 2 Duo T5750 (2.0 ГГц).

Оперативна пам'ять – 4 ГБ, DDR2, 667 МГц.

Графічний адаптер – NVIDIA GeForce 9500M GS.

Таблиця 1

Порівняння розмірів зображень при різних операціях і швидкість їх виконання

№	Перший канал	Другий канал	Знаходження карти інформативності	Комплексування зображень
1				
	311 кБ	460 кБ	85 кБ	109 кБ
	-	-	1.168 с.	4.743 с.
2				
	4.85 кБ	199 кБ	40 кБ	45 кБ
	-	-	1.107 с.	5.915 с.
3				
	307 кБ	3.07 МБ	46 кБ	102 кБ
	-	-	2.359 с.	7.751 с.
4				
	144 кБ	423 кБ	15 кБ	95 кБ
	-	-	2.402 с.	3.568 с.

З табл. 1 видно чому знаходження інформативної області виконується саме на зображенні першого каналу. В прикладі (1) обсяг даних зображення першого каналу менший на 33% за зображення другого каналу, в прикладі (2) – на 97%, в прикладі (3) – на 90%, в прикладі (4) – на 66%, а це досить вагомо впливає на швидкість виконання операції пошуку інформативної області. Отримана інформативна область виділяється на зображенні високої роздільної здатності.

Перевага такого підходу знаходження карти інформативності полягає в тому, що обробка проводиться над меншим обсягом даних , ніж якщо б вона виконувалась безпосередньо над зображенням другого каналу. Переконатись в цьому можна оцінивши таймінги наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Порівняння часу виконання операцій звичайного і запропонованого методу

№	Запропонований метод (сек.)	Виконання операції безпосередньо над зображенням другого каналу (сек.)	Різниця (сек.)
1	1.167	2.374	1.206
2	1.107	1.279	0.172
3	2.359	76.501	74.141
4	2.402	3.113	0.710

Швидкість пошуку карти інформативності безпосередньо над зображенням другого каналу залежить від обсягу даних, особливо це видно в прикладі (3) (табл. 2).

В таблиці 3 наведені таймінги виконання операції попіксельного комплексування зображень.

Таблиця 3

Порівняння часу комплексування зображень запропонованим методом та звичайним комплексуванням за пікселями

№	Запропонований метод з картою інформативності (сек.)	Розмір зображення (кБ)	Виконання комплексування двох зображень безпосередньо (с.)	Розмір зображення (кБ)
1	0.924	109	0.862	153
2	0.574	45	0.524	47.3
3	1.092	102	0.881	142
4	1.101	95	0.942	189

Швидкість комплексування зображення низької роздільної здатності (рис. 3а) і отриманого зображення з виділеними інформативними областями (рис. 5) відрізняється від безпосереднього комплексування двох вхідних зображень низької (рис. 3а) і високої (рис. 3б) роздільної здатності.

Висновок

На сьогоднішній день комплексування зображень відіграє велику роль в обробці інформації, так як людині стає все важче проаналізувати постійно зростаючий обсяг даних, отриманих з різних джерел і отримати якісні результати в процесі аналізу. Ще однією проблемою є швидкість обробки зображень, оскільки якість зображень, отриманих на вході невпинно росте, процес подальшої обробки і зберігання інформації ускладнюється, що впливає на швидкість роботи і ціну приладів спостереження. Тому доцільно розробляти такі методи, як комплексування зображень з попереднім знаходженням інформативних областей. З таблиці 3 видно недолік операції попіксельного комплексування зображень, швидкість якої менша за швидкість обробки двох зображень без попередньої обробки. В подальшому планується покращувати розроблений метод зміною алгоритму операції комплексування зображень для покращення швидкості її виконання.

Література

1. Колобродов В.Г. Тепловізійні системи (фізичні основи, методи проектування і контролю, застосування) : підручник / Колобродов В.Г., Шустер Н. – К. : Тираж, 1999. – 340 с.

2. L. Itti, C. Koch, E. Niebur. "A model of saliency based visual attention for rapid scene analysis", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine. 1998.

3. J. Harel, C. Koch, P. Perona. "Graph-Based Visual Saliency", Proceedings of Neural Information Processing Systems (NIPS), 2006. URL: http://www.vision.caltech.edu/~harel/share/gbvs.php

Рецензія/Peer review : 11.1.2017 р. Надрукована/Printed :5.2.2017 р.
Рецензент : д.т.н. Гераїмчук М. Д.

УДК 617:615.4

М.В. БАЧИНСЬКИЙ
Вінницький національний технічний університет
К.С. НАВРОЦЬКА
Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя
С.М. ГОРБАТЮК
Вінницький національний медичний університет ім. М. І. Пирогова

ПРИНЦИПИ СТИМУЛЯЦІЇ І РЕАБІЛІТАЦІЇ ЗОРОВОГО АНАЛІЗАТОРА ОПЕРАТОРА

В роботі представлено підсистему оцінки зорового аналізатора, в якому запропоновано поєднати в одному корпусі світлодіоди RGB і RGBW, що дає можливість вирішити проблему високонадійного низько інтенсивного джерела для засобів світлової і кольорової стимуляції.

Ключові слова: зоровий аналізатор, світлодіоди, випромінювання, стимуляція.

M.V. BACHINSKIY
Vinnytsia National Technical University
K.S. NAVROTSKA
Ternopil National Technical University by I. Pul'uj
S.M. GORBATYUK
Vinnitsa National Medical University by M. I. Pirogov

PRINCIPLE OF REHABILITATION AND STIMULATION VISUAL ANALYZER OPERATOR

The paper presents the visual analyzer subsystem evaluation, which proposed to combine in a single package LED RGB i RGBW, which makes it possible to solve the problem of low highly reliable sources for vehicles and light colored stimulation. Grounded choice of parameters and indicators for modes of diagnosis, stimulation and rehabilitation. For determining the so-called stimulus facial features proposed test.

Keywords: visual analyzer, LEDs, radiation, stimulation.

Вступ

Для взаємодії з навколишнім світом, людині необхідно сприймати та аналізувати інформацію, що надходить з зовнішнього середовища. Для цього природа наділила її органами почуттів, одним з яких є зір. Таким чином, людина формує уявлення про все, що його оточує і про себе самого. Але зв'язку зі збільшенням кількості людей, які страждають на різні захворювання, наявність специфічних фізіологічних станів, що обмежують застосування лікарських засобів, велике значення набувають фізіологічні методи впливу, зокрема світлостимуляції. Загальний лікувальний ефект, визначається комплексним впливом декількох факторів і сумою відповідних реакцій органів і систем організму. Це пояснює широкий діапазон терапевтичних ефектів від світлової стимуляції: релаксація, зменшення болі, стимуляція апетиту та пам'яті, лікування мігрені та післятравматичних стресових розладів [1].

Експериментальна частина

Як уже відзначалось, основним фактором впливу на ФС оператора є світло і колір. На даному етапі найбільш поширеними є світлодіоди різної конфігурації, потужності та яскравості. Поєднання в одному корпусі трьох світлодіодів RGB, а потім і RGBW, практично вирішило проблему високонадійного низько інтенсивного джерела для засобів світлової і кольорової стимуляції.

Функціонування підсистеми характеризується низкою параметрів і показників, серед яких обов'язковими є забезпечення режимів діагностики (контролю стану), стимуляції і реабілітації, що оцінюються за допомогою наступних показників: частота випромінювання; КЧЗСМ (критична частота злиття миготінь); КЧРСМ (критична частота розділення світлових миготінь); впливу різних частот на ФС операторів (на ЕЕГ); інтенсивність; співвідношення фаз сигналів; ПСМ (поріг світлових миготінь); колір; область поля зору для стимуляції (за результатами проходження тесту), [1].

Розглянемо кожну із зазначених характеристик більш детально.

Стандартний діапазон частоти визначається, як правило, в межах від 0,5 до 50 Гц (в середньому 39-42 Гц).

КЧЗСМ і КЧРСМ. Чим вище значення мають дані показники при більш низькому значенні диференційного порогу ПСМ, тим вище лабільність коркового відділу зорового аналізатора. Норма ПСМ – 1,5÷2,0 Гц. При абсолютному значенні КЧЗСМ не більше 38 Гц, лабільність коркового відділу оцінюється як низька, при 38-41 Гц – як середня, а від 41 Гц і більше – як висока [1].

Із представлених даних видно, що при використанні частоти 10 Гц відзначається релаксація і зменшення болі, а в поєднанні з несучою частотою 330 Гц відбувається стимуляція апетиту. Частота 4 Гц сприяє стимуляції пам'яті, а альфа-бета стимуляція (в різних комбінаціях) виявилося ефективною при лікуванні мігрені і післятравматичних стресових розладів [1].

Якщо під час робочого дня проводиться сеанс на релаксацію, то щоб уникнути сонливості і

сутінкового стану, необхідно закінчувати стимуляцію на частотах 13–18 Гц близько 5-и хвилин (табл. 1), [1].

Таблиця 1

Зведені дані щодо впливу різних частот на функціональний стан [1].

Хвилі	Частота	Ефект
Дельта	0.1–3 Гц	Глибокий сон, посилення імунітету, гіпноз
Тета	3–8 Гц	Глибока релаксація, поліпшення пам'яті, концентрація, творчість, гіпнотичний стан
Альфа	8–12Гц	Легка релаксація, «наднавчаємість», позитивні думки
Низькі бета	12–15 Гц	«Сенсомоторний ритм», легка фокусування, поліпшення пізнавальних здібностей
Середні бета	15–18 Гц	Поліпшення розумових функцій, концентрації, настороженість, збільшення інтелекту
Високі бета	Вище 18 Гц	Повна активність, нормальний стан настороженості, стрес і тривожність
Гамма	40 Гц	Зв'язується з обробкою великих обсягів інформації і обробкою високо рівневої інформації

Інтенсивність випромінювання підбирається, як правило, за суб'єктивними відчуттями, плавним збільшенням або зменшенням яскравості світлодіодів.

Для швидкого переключення свідомості із стану релаксації до активації і навпаки рекомендується припиняти процедуру на високих інтенсивностях випромінювання [1].

Дія різнокольорового випромінювання детально розглядалася раніше, тому тут наведено тільки дані, які конкретизують таку дію. Стимули білого світла підвищують бажання бути лідером, зменшують інтенсивність болі. Крім того, білий і синій кольори нормалізують часові біологічні ритми (сон – неспання), викликають позитивні емоції і здійснюють знеболюючий ефект [2].

Червоний колір збільшує потужність бета-ритму і м'язовий тонус, а фіолетовий – збільшує потужність тета-ритму. Зелений, голубий і синій кольори підвищують потужність альфа-ритму, сприяють релаксації м'язів і зменшенню болі.

Для визначення так званого стимуляційного типажу: аудіали, візуали, кінестетики пропонується наступний тест [1, 2].

Перед вами чотири висловлювання. Вони не закінчені. Під кожним з них є чотири закінчення. Позначте закінчення, яке більше за все підходить вам, цифрою 4; яке трохи менше підходить вам – цифрою 3 і т.д. Поставте 1 перед закінченням, яке найменше підходить вам. Проробіть це під кожним з чотирьох висловлювань. Висловлювання під номером 5 закінчені, але вони різні, і тому їх треба також оцінити [1, 2].

Після цього буде підрахунок очок в таблиці 2.

1. Я приймаю важливе рішення, засноване на:
1.1. добре перевірених почуттях.
1.2. тому, що звучить краще.
1.3. тому, що виглядає для мене найкраще.
1.4. точному, старанному вивченні питання.
2. Під час суперечки на мене найчастіше впливає:
2.1. тон голосу іншої людини.
2.2. чи можу я чи ні, ясно бачити точку зору іншої людини.
2.3. логіка аргументів іншої людини.
2.4. відчуваю я чи ні, що я в контакті з іншими справжніми відчуттями цієї людини.
3. Я можу дуже просто зрозуміти свій настрій за допомогою:
3.1. того, як я одягаюся.
3.2 почуттів, які я поділяю.
3.3. слів, які я вибираю.
3.4. свого тону голосу.
4. Для мене просто:
4.1. підібрати ідеальну гучність і звучання на стерео системі.
4.2. вибрати найбільш інтелектуальні місця по предмету, який цікавий для мене
4.3. вибрати надзвичайно зручні меблі.
4.4. вибрати комбінації (поєднання) насичених кольорів.
5. Я:
5.1. буквально налаштовуюся на звуки в моєму оточенні.
5.2. добре вмію осмислювати нові факти і дані.
5.3. дуже чутливий до того, як предмети одягу впливають на мене.
5.4. сильно реагую на кольори і на те, як виглядає кімната.

Таблиця 2

Вибір ведучого невербального каналу [1, 2]

Підпункт	Номер відповіді					Разом
	1	2	3	4	5	
1-А						
2-В						
3-К						
4-Д						

А - аудиальна система, В - візуальна, К - кінестетична, Д - дискретна

Підрахунок очок при проведенні тесту:

а) У кожен з п'яти блоків послідовно занесіть виставлені вами бали.

б) Заповніть таблицю, перенісши бали з блоків в відповідний рядок таблиці. Складіть бали, пов'язані з кожною літерою.

в) Порівняння балів "Разом" дасть інформацію про перевагу тієї або іншої репрезентативної системи.

Якщо провідною виявляється аудіальна система, то світловий вплив краще проводити на бічні внутрішні поля зору, візуальний - на верхній, кінестетичний - на нижні, дискретний - на бічні зовнішні поля зору (рис. 1) [1, 2].

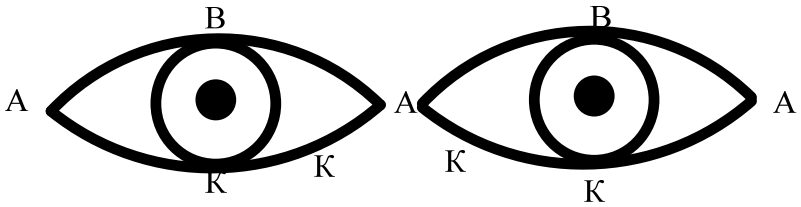


Рис. 1. Поля зору для стимуляції

В офтальмології проблема несанкціонованого і непрогнозованого впливу на зоровий аналізатор людини – його очі, полягає в тому, що при формуванні як діагностичних, так і стимуляційних впливів практично не враховуються поточний стан ока, його фізіологічні особливості і функціональний статус. На практиці це приводить до неточного діагнозу захворювання, неадекватної медикаментозної терапії, погіршення зору тощо. Однією з причин, що зумовили таку ситуацію, є відсутність практичних принципів стимуляції і реабілітації зорового аналізатора, які повинні стати основою їх побудови.

В роботі пропонується підхід до визначення принципів стимуляції і реабілітації зорового аналізатора оператора в процесі його професійної діяльності.

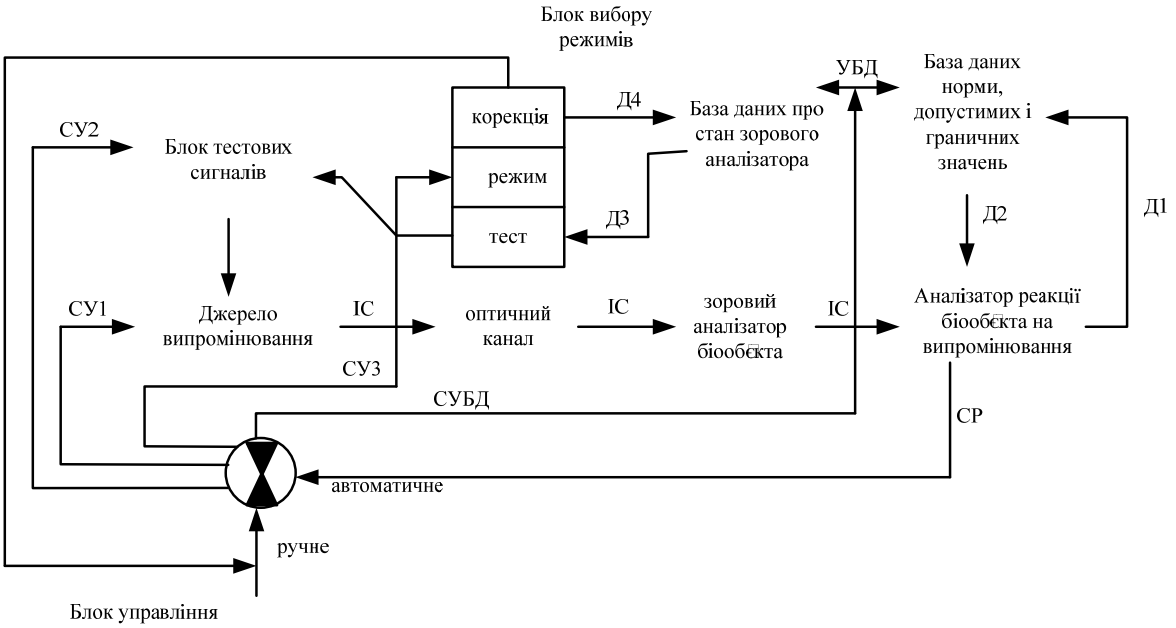


Рис. 2. Графічна інтерпретація принципу стимуляції зорового аналізатора біооб'єкта

Суть принципу стимуляції зорового аналізатора оператора (біооб'єкта) передбачає наявність біологічного зворотного зв’язку, який використовуючи сигнал реакції зорового аналізатора СД оцінює його стан за місцезнаходженням отриманих поточних параметрів відносно діапазонів норм, допустимих та

граничних значень. Коли поточні значення знаходяться в межах діапазону норми, то стимуляція зорового аналізатора продовжується. Якщо хоча б один із параметрів виходить за межі діапазону допустимих значень, то здійснюється корекція значень відповідно параметра випромінювання до моменту, коли його значення повернуться, як мінімум, в діапазон допустимих значень (рис. 2).

Особливістю запропонованого принципу створення апаратури є введення до його структури режиму «Тест», що формується блоком тестових сигналів і реалізується безпосередньо перед використанням оператором своїх професійних обов'язків. Режим «Тест» формується за результатами, отриманими після виконання режимів «Діагностика (контроль стану)» і «Реабілітація», що побудовані за принципом, графічна інтерпретація якого показана на рис. 3.

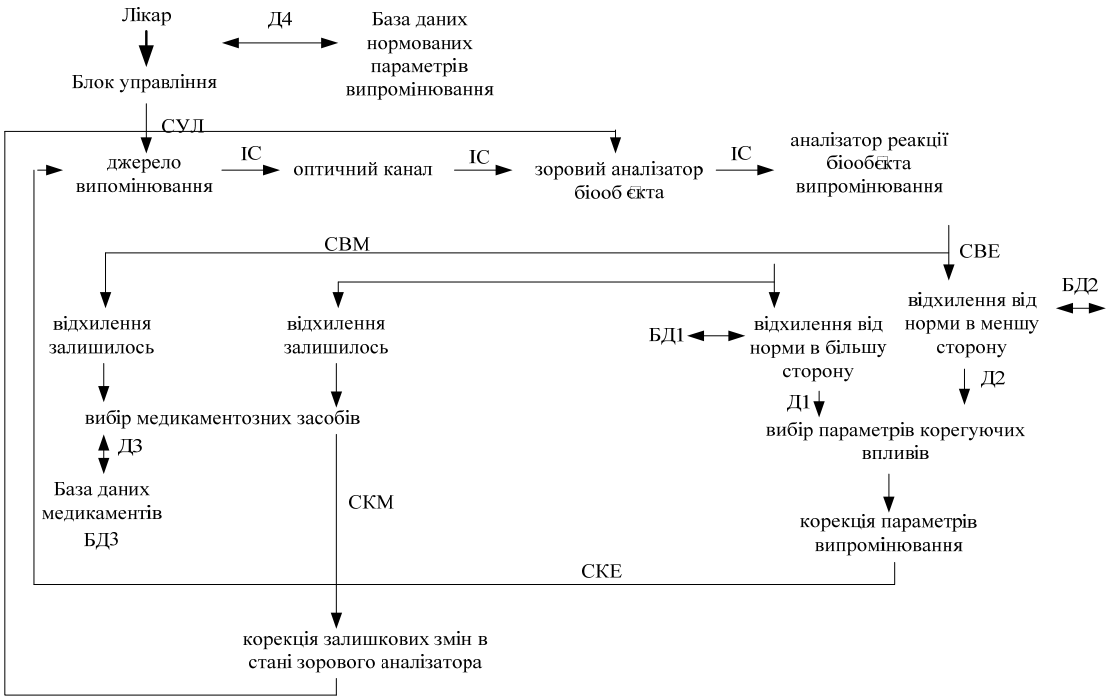


Рис. 3. Графічна інтерпретація принципу реабілітації зорового аналізатора біооб'єкта

де СУЛ – сигнал управління лікаря; ІС – інформаційний сигнал; СВЕ – сигнали відхилення електрофізіологічні; СВМ – сигнали відхилення медикаментозні; СКЕ – сигнал корекції електрофізіологічний; СКМ – сигнал корекції медикаментозний; Д1 – Д4 – потоки даних.

Відмінність принципу створення режиму «Реабілітація» полягає в наявності блоків і зв'язків, що пов'язані з корекцією і відновленням фізіологічного стану як оператора в цілому, так і його зорових аналізаторів (СКЕ і СКМ, потоки даних Д1-Д4, бази даних Д1-Д3). Слід відзначити, що доцільність використання випромінювань з різними спектральними діапазонами зумовлена глибиною проникнення у біологічні тканини, можливістю суттєвого підсилення терапевтичного ефекту за рахунок комбінованої (послідовної) дії синьої і червоної та інфрачервоної і червоної частин спектра [3]. При цьому, спектральний діапазон 600….1200 нм (червона і ближня червона частини спектру) відповідає так званому вікну прозорості біотканин [3], який може бути від 3 до 7 мм.

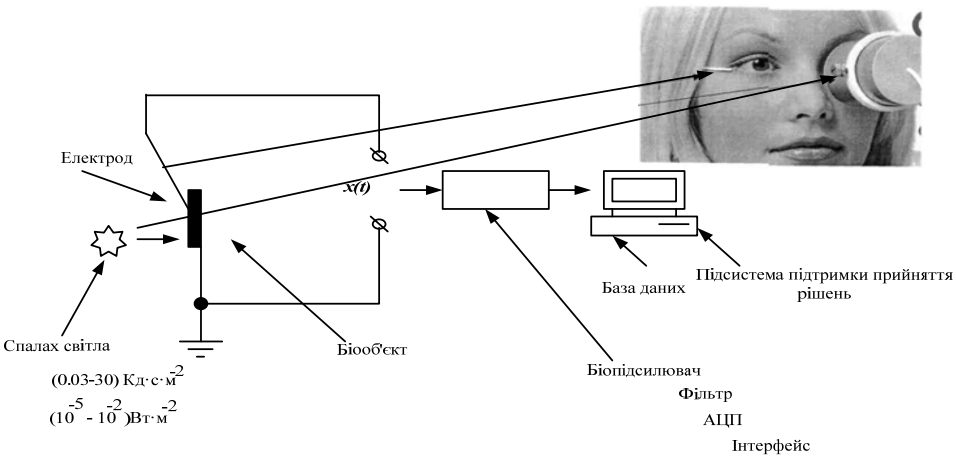


Рис. 4. Підсистема для оцінки стану зорового аналізатора

Висновки. Запропоновані принципи побудови засобів низькоінтенсивної світлової стимуляції у сукупності із класичними забезпечують багатофункціональність проектованої апаратури, яка, в свою чергу, може бути досягнута використанням над яскравих світлодіодних випромінювачів з різними довжинами хвиль і різною глибиною проникнення їх випромінювання в біотканину; багатоваріантним управлінням режимами роботи; застосуванням методу широтно-імпульсної модуляції, оригінальними конструктивними рішеннями [4].

Література

1. Голуб В. Я. Медико-психологические аспекты применения светозвуковой стимуляции и биологически обратной связи / В. Я. Голуб, В. Н. Жиров. – СПб : КЕРИ, 2007. – 100 с.

2. Пат. РФ № 2266144. Устройство для изменения уровня мозговой активности подачей сенсорных раздражителей / Голуб В.И., Голуб И.В., Голуб Я.В. ; заявник і патентовласник Голуб Ярослав Валерьевич ; заявл. 18.11.2002 ; опубл. 20.12.2005. – 8 с.

3. Бадалова Э. Д. Изучение конструкции и принципа действия многофункционального диагностического комплекса / Бадалова Э. Д. – Ташкент, 2013. – 41 с.

4. Управление цветовой гаммой мощных RGB светодиодов [Електронний ресурс]. – Режим доступу : http://www.rlocman.ru/shem/schematics.html?di=158836

Рецензія/Peer review : 15.1.2017 р. Надрукована/Printed :6.2.2017 р.
Рецензент: Кожем'яко В.П.

UDC 656.073:658.51

L.A. TARANDUSHKA, N.L. KOSTIAN
Cherkasy State Technological University, East European University of Economics and Management

AUTOMATION OF CALCULATING THE COST OF TRANSPORT SERVICES USING THE THEORY OF DECISION TREES

The purpose of research is to develop software to optimize logistics forwarding services. To optimize the operation of logistics, it was defined additional factors that influenced the cost of transportation. Data of analysis in the providing charging services is made on the basis of decision trees. Functional model of and manager of logistics forwarding organization is built. Designing of databases necessary to preserve the original information is implemented by using of Unified Modelling Language UML 2.0. It was founded an algorithm of optimal transportation costs. Software implementation script is made using language PHP and JavaScript. The developed software allows to automate the activities of transport and logistics services and improve the accuracy of calculating the cost of carriage, taking into account the climatic conditions and parameters of vehicles used in transportation.

Keywords: logistics, freight forwarding service, decision trees, functional diagram.

Л.А. ТАРАНДУШКА, Н.Л. КОСТЬЯН
Черкаський державний технологічний університет, Східноєвропейський університет економіки і менеджменту

АВТОМАТИЗАЦІЯ РОЗРАХУНКУ ВАРТОСТІ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕОРІЇ ДЕРЕВ РІШЕНЬ

Метою даного дослідження є розробка програмного забезпечення для оптимізації роботи відділу логістики транспортно-експедиторської служби. З метою оптимізації роботи відділу логістики визначено додаткові чинники, що впливають на вартість перевезень. Аналіз даних при тарифікації послуг, що надаються, здійснено на базі дерев рішень. Побудовано функціональну модель діяльності менеджера з логістики транспортно-експедиторської організації. Проектування бази даних, необхідної для збереження початкової інформації реалізовано з використанням уніфікованої мови моделювання UML 2.0. Розроблено алгоритм визначення оптимальної вартості перевезень. Програмна реалізація сценарію виконана з використанням мов PHP та JavaScript. Розроблене програмне забезпечення надає змогу автоматизувати діяльність транспортно-логістичної служби та підвищити точність розрахунку вартості перевезень з урахуванням кліматичних умов та параметрів транспортних засобів, що застосовуються при транспортуванні.

Ключові слова: логістика, транспортно-експедиторська служба, дерева рішень, функціональна діаграма.

Introduction. A modern transport infrastructure of Ukraine, following the standards of world economy, gradually goes back into the side of system structural transformations, oriented to logistics. The prospects of logistics are characterized by the effect of integration IT (information technologies) and logistic subsystems in the informative and of communication systems, which conduces to a significant reduction of costs and growth of quality in the service of shippers and consignees [1].

Raising of problem in a general view and its connection with major scientific and practical tasks. On a background reformation of many enterprises and realization of their plans in relation to an output on domestic and western financial markets, IT becomes a central instrument which provides control after the business processes of organization. Integrated logistics approach to business processes has changed radically for the last decade. A management of logistic operations and supply chain grew into the highly profitable and developed sphere of economy. Optimization of supply chains and multiple access to information allows to get an additional effect from cooperation of their participants.

Object of study. The object of research are informative resources – the key element of logistic chains. Development of information technologies, in particular, allowed progress in the methods of collection, storage and treatments given many organizations to accumulate the enormous arrays of data which must be analysed. Possibilities of experts are not enough in the process of work with the large volumes of information. It generated demand for the methods of automatic research (to the analysis) of information, which with every year is constantly increased.

One of such methods of automatic analysis of data are trees of decisions. In the complement of many packages, intended for the analysis of data, the methods of their construction are already included [2, 3]. In areas, where there is a high cost of error, they serve as an excellent help for analyst or leader.

Formulation of aims of the article (tasks). A research purpose is an analysis of mechanisms process of ratification for transport services which get contractors, determination of factors which influence on changing of tariff, development of determination algorithm for final cost of transportation and it's programmatic realization.

Analysis of the last researches and publications in which the decision of this problem is founded which an author focuses on, excretions still unsolved parts of general issue, to which this article is dedicated

Considerable contribution in research of problems of transport logistics and mechanisms of optimization of logistic chains belongs to the research workers of the world, in particular, Dueker, K.J. and P. Bender. assess and summarize alternative approaches and data sources for the development of a Transportation Framework for the State of Washington [1].

Dueker, Butler, Bender, and Zhang summarize some key points from Sharing Transportation GIS Data [2].

David, Blanchard summarized that logistic guarantee that the correct materials will be delivered to the

correct location at the correct time with the correct quality and with the most competitive cost. [3]

Nuri Mehmet, and Needy Gokhan are presented a development of a simultaneous design for supply chain process for the optimization of the product design and supply chain configuration problem. [4]

A model that is measuring the influence of relational competencies on supply chain resilience: a relational view is discussed in [5].

Also, Anikin O. [6], Golubchik A.M. [7], Kizim A.O. [8], Kobzeva K.V. [9], Mirotin L.B. [10], Prokof'eva T.A. [11], Smekhov O.O. [12], Frolova L.V. [13], Chernopiskiy N.V. [14] and too many others researched this problem. In most of these works an accent is done on the theoretical aspects of logistics, a well as transport logistics. In works, devoted to transport logistics the methods of strategies choice of custom registration, determination of optimum route, choice of transport vehicle for transportation and others like that were investigated. The total worth of transportations was short-changed as a sum of cost of financial charges on transportation, packing and depreciation of transport vehicles.

The presentation of basic material researching with the complete ground of scientific results. The transport logistics is the system for organizations of delivery, namely transferring of any financial objects or matters from one point in other after an optimum route. The optimum route is that which provides an opportunity to deliver a logistic object in the shortest time with minimum charges, and also with minimum harm for the delivery's object.

Logistic charges on a transport include cost load's transporting on the different types of transport, which is determined by a tariff or chartered rate. A tariff is a price for transportation of loads, which sets by ferryman on the certain period of time. A freight – is a price on transporting, which sets by concordance between the owner of goods and ferryman on every concrete transportation.

The prices for services of motor-car ferrymen are set by enterprises independently depending on a tariff rate and tariff chart. The last is the order of calculation for transportation of load for a certain situation. Three schemes are used in practice: piecework, hourly and conditional unit of transport work. A ferryman can differentiate tariff charts and rates for users, types of load, types and brands of rolling stock. The system of tariffs has the features depending on the different types of transport. A tariff must provide the compensation of running expenses and receipt of income for a ferryman, and possibility to cover transport charges for the buyer of transport services.

On fig. 1 the diagram of businesses processes of manager's activity from logistic freight forwarding organization is presented. A diagram is built on the standard of structural design of IDEF0 with the use of Case-mean of AllFuiion Process Modeler r7.

A manager gets an order from a customer on load's transportation which includes the following information: a type and weight of load, place of loading/unloading, date of loading, type of transport vehicle for this load and cost of transportation (but frequently cost of transportation is not specified by a customer). The form of addition a load is farther filled in logistics' Internet programs: lardi-trans and della, then the search of transport vehicle is executed.

When the proper transport vehicle is found, there is a process of negotiations between forwarder and the proprietor of auto or his dispatch. After that as participants of negotiations will come to the consent there is an exchange of documents, namely by such documents as: certificate of enterprise's state registration and certificate of VAT's payer. The next step of manager is skidding of got information to the database about a ferryman and customer, and creation on the basis of that information the agreement-request. The agreement-requests prints and then approves by a director or responsible person and sends to contractors on a signature. After that as dispatch will get the signed documents from both sides, transportation is considered settled and a driver can go by a load. When a driver will carry out unloading, transportation considered to be completed, and documents head to the accountant, which writes an account, acts of the executed works and tax invoice for payment of this transportation. A manager does the proper record in a journal. The mechanism of work is uncomfortable, because the incompatible with each other software is used and the result is the considerable exes of time.

Della.ua it is a transport Internet resource which gives possibility to add and dispose a load and transport on territory of Ukraine, and also out of its limits. Lardi-trans is transport-informative server, which is the most visited transport forum of Ukraine. The noted resources realize such functions as calculation of distance of transportations; search of load; search of transport; support of forum. However, on these Internet services the calculation of freightage, access, absent to the client base, possibility of request creation and main – factors which influence on the tariff of transportation are not taken into account.

With the purpose of automation cost calculation for transportations as output data it was taken tariff rates for transportation of loads by awning cars with capacity of 20 tons. Tariffs for this type of transport were determinate, on the base of personnel experience of LTD. «OPS TRANCE TREYDING» and information from transport sites. The noted tariffs set as initial standard information. The mechanism of recalculation standard tariffs in tariffs for other types of transport (refrigerator and isothermal) with other capacity (5–10 tons and 10–20 tons) is offered, season is also considered. The algorithm of recalculation is based on the using of decisions trees, which, in this case, are the method of presentation of rules in a hierarchical, successive structure, where each node checks tree meets one value of factors, which influence on the tariff of transportation.

As a rule a logical construction, presented like «If you select a specific value of factor, then initial tariff multiplied by the appropriate index». Rules are used consistently fallow a route from the root of tree to it end nodes. In the process of researching factors which influence on oscillation of tariffs for transportations of loads appeared, that each of them has more than two possible values. Therefore at the construction of determination tree for

optimum tariff of transportation it was taken of algorithm C4.5 [2]. List of factor's attributes, which are necessary for a calculation of tariffs, and their values are resulted in a table 1. Source: own elaboration is based on the logistic manager's expert assessments from LTD. «OPS TRANCE of TREYDING»

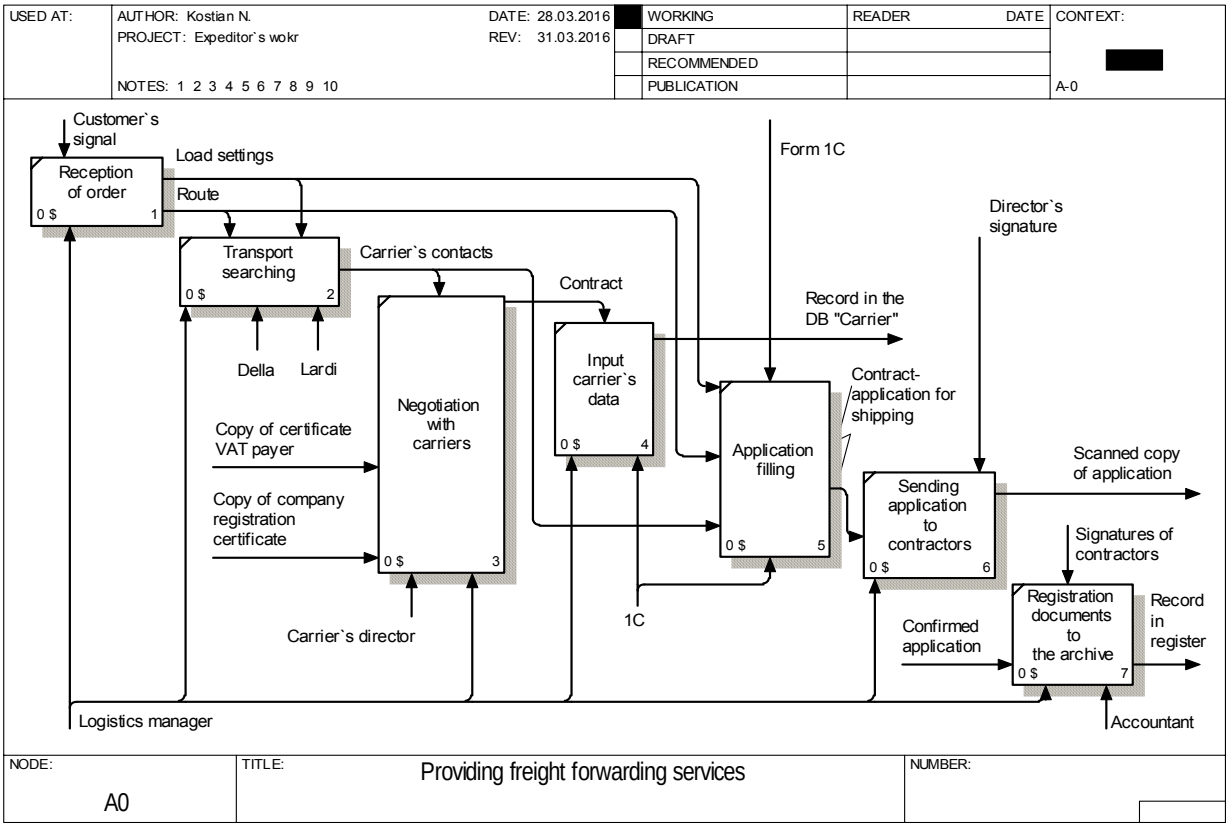


Fig. 1. A functional model of activity of manager is from logistic of LTD «OPS TRANCE of TREYDING»

Table 1

Factors which are taken into account on the calculation of tariffs of transportations

Value of attributes		Coefficient of increase
Carrying capacity	5 t.	0,4
	10 t.	0,6
	20 t.	1
Autumn	Car awning	1
	Refrigerator	1,15
	Isotherms	1,05
Spring	Car awning	1
	Refrigerator	1,1
	Isotherms	1
Summer	Car awning	1
	Refrigerator	1
	Isotherms	0,9
The winter	Car awning	1
	Refrigerator	1,2
	Isotherms	1,1

The tree of factors which influence on the tariff of transportation is presented on fig. 2.

The main function of logistic manager from a freight forwarding activity is creation of contract-request between a customer and ferryman. That's why for programmatic realization of functional model activity of a freight forwarding organization a database which consists of the followings seven tables was projected:

- «Contractors» – a file **contracting_parties**.dbf;
- «Requests» – a file **requests**.dbf;
- «Additional information for requests» – a file **additional_info_request**.dbf;
- «Cities» – a file **city**.dbf;
- «A type of vehicle» – a file **car_tipes**.dbf;
- «Auto on a request» – a file **cars**.dbf;

- «Tariffs» – a file **tariff**.dbf.

The information in a database is entered by a manager from logistics and used in the process of determination of initial cost transportations. A main table of bases is a table «Request». For connection between all of tables is used the type of connection «One to many».

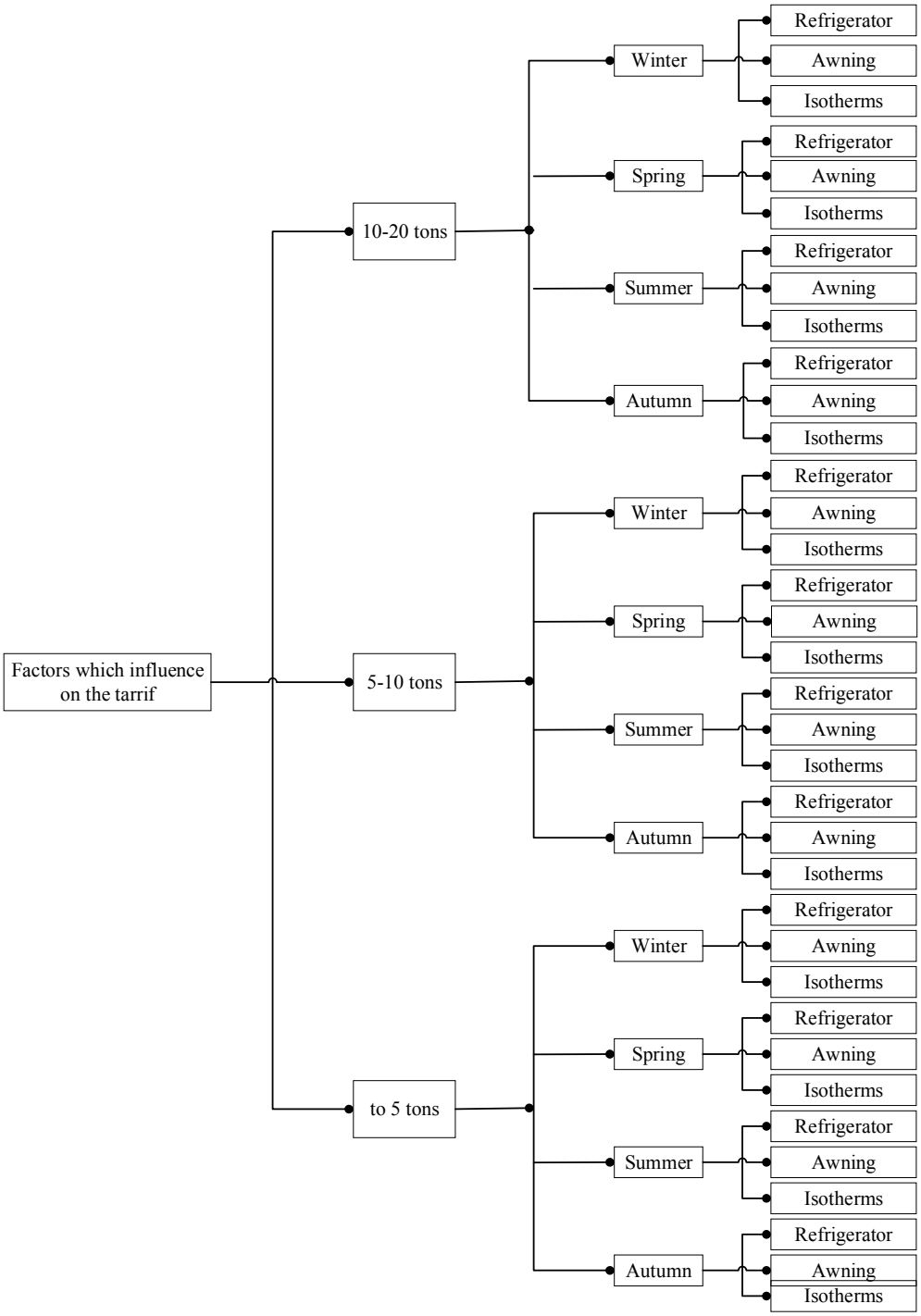


Fig. 2. Tree of factors which influence on the tariff of transportations

Designing of database is carried out in control system of relational database like MYSQL. On fig. 3 a diagram of the designed database «essence-connection» is presented.

The place «driverPrice» in the table «Request» is a calculational and determine on the basis of transportation's tariffs which are saved in a table «Tariff». Tariffs depend on the city of sending and the destination, and also from the regions of unloading points.

Programmatic realization of calculation algorithms of transportation's cost and registration of contract-request is executed in language PHP, which supports conception of the object-oriented programming. For calculation of distance on an optimum route were used objects which interacted with service of interface's routes as API Google Maps. For the normal functioning of all program's tools, it is necessary to connect a computer with the Internet. On a main page a manager enters initial information which gets from a client. At pressure of the button

«Calculate» the program determines distance and cost of transportation and lays a route on a card (fig. 4).

Fig. 3. A diagram is «essence-connection» of DB of evident area

The algorithm of determination of cost transportation considers said factors and also number of unloading cities. Such cities can be from 1 to 3. For every additional place of unloading 300 grn is added. The calculation of cost transportation is determined the following formula:

$$VT = S * P + 300 * k ,$$

where VT – a freightage;

S – distance between a city loading and discharge point;

P – a price for a kilometre (tariff);

k – the number of additional unloading seats.

Using the main menu buttons you can add and view database tables records system (fig. 5).

With the purpose of placing or searching of transport vehicle or necessity load provided transition the link from the home page of the program sites lardi-trans.com but della.ua.

In an order to secure an agreement between a forwarding firm and the customer an contract- request is created on transportation of load. For this purpose it is needed to push the button of «Request» in a main menu. After skidding and maintenance of information it is possible to print it (see fig. 6).

Thus, all operations that performs logistics manager executed using a software tool and connected it to the Internet transport services.

Summary. In research the method and its software implementation that illustrate the approach for equipment of logistics automation capabilities for determining of cost of any transportations by a motor transport on the basis of standard tariff plans, taking into account the type of motor transport, and also seasonal conformities to the law of climate.

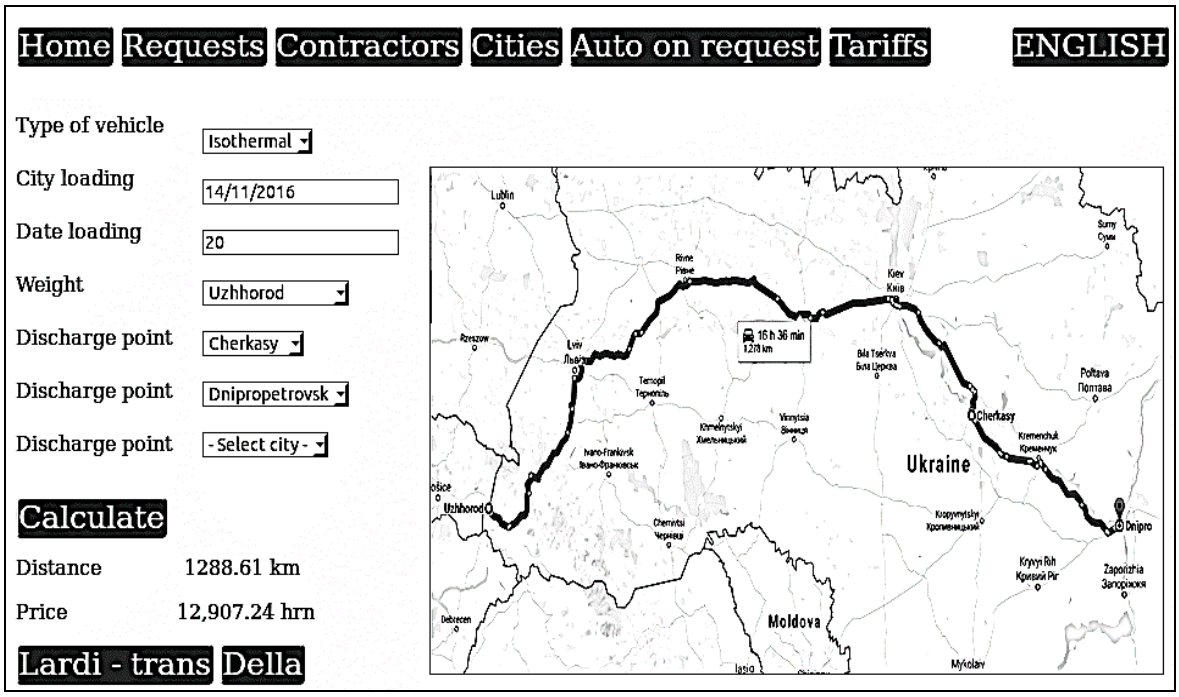
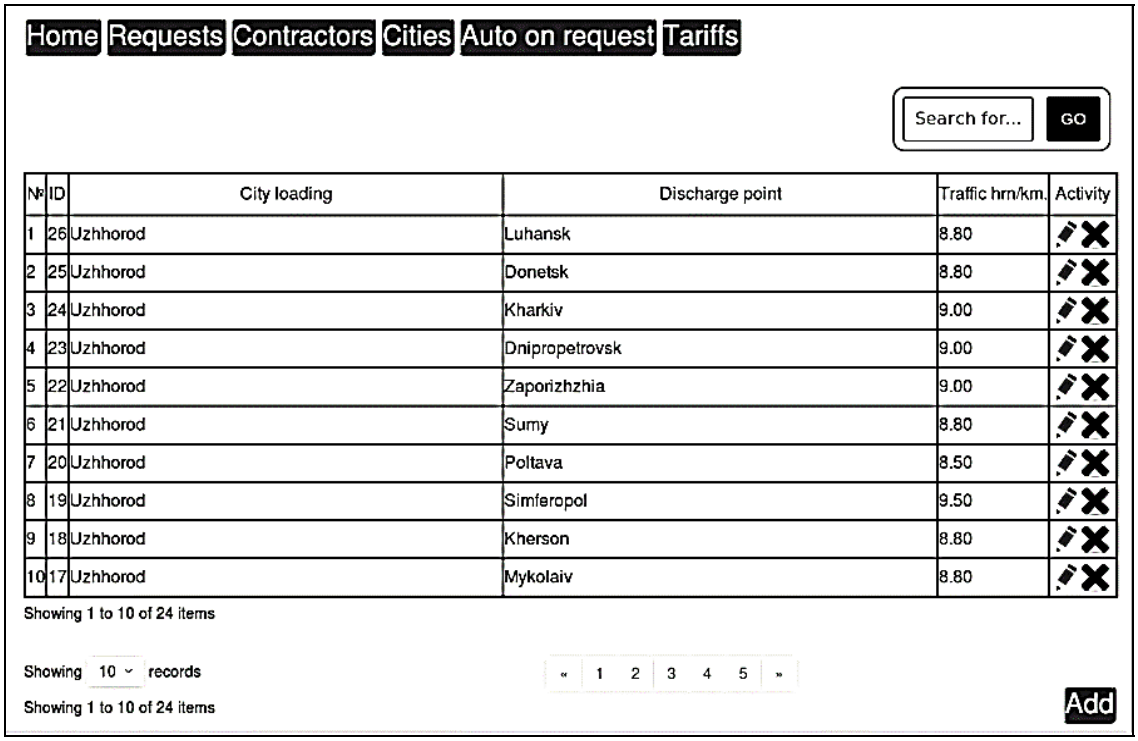


Fig. 4. Result of calculation of distance and cost



№	ID	City loading	Discharge point	Traffic hrn/km.	Activity
1	26	Uzhhorod	Luhansk	8.80	
2	25	Uzhhorod	Donetsk	8.80	
3	24	Uzhhorod	Kharkiv	9.00	
4	23	Uzhhorod	Dnipropetrovsk	9.00	
5	22	Uzhhorod	Zaporizhzhia	9.00	
6	21	Uzhhorod	Sumy	8.80	
7	20	Uzhhorod	Poltava	8.50	
8	19	Uzhhorod	Simferopol	9.50	
9	18	Uzhhorod	Kherson	8.80	
10	17	Uzhhorod	Mykolaiv	8.80	

Fig. 5. A revision of table is «Tariffs»

Automation of manager's work from logistic considerably will shorten time of preparation of order and will reduce the risk of error, caused overload of manager. Important advantage of the developed programmatic mean is possibility of entering base contractors and possibility of printing the necessary accounting. Areas of future research will be used to identify and use a wide range of factors that affect the cost of transport and objects that describe the scope of transport services. It is necessary to develop a module for calculating the cost of foreign transportation based on their specificity.

Contract- request for the provision of freight forwarding services № NF0000000001 1 c. Cherkasy from 08. 01. 2016		**LTD. «OPS TRANCE TREYDING»** "USREOU" 38554677;INN 385 546723016 MFO 380805 a/a 26000995036 PJSC "Raiffeisen Bank Aval" Address: 18015, m. Cherkasy, str. Pastur, b. 99
LLC. «OPS TRANCE TREYDING» in the person of Naumchuk A.N., acting under the statute, the "Forwarder" on one part and FOP A. Michalski, represented by Director Oleg Vladimirovich Michalski, the "Customer", on the other part, acting according to the Laws of Ukraine "About automobile transport" from 23.0 2.2006 , № 3 492-6, "Rules of transportation of goods by road in Ukraine" № 363 from 14.10.1997, and the Law of Ukraine "About the freight forwarding activity" from July 1, 2004, concluded this agreement on the implementation of freight forwarding on the following conditions:		
Conditions of carriage:		
1	Route:	**Uzhhorod -Dnipar**
	Date and time: download to:	30.01.2016
	Date and time: of unloading to:	31.01.2016
2	Address of downloading:	Uzhgorod, st. Stolichik, 15
	Contact person and telephone:	Vadim 0672131133
	Address of unloading:	Dnipro, st.Korolova, 22
	Contact person and telephone:	Larisa 0972211123
3	Load (weight and volume):	Planks 20 t 86 m3
	The requirements to transport:	dry, sure
4	Calculations:	$ 5000.00, 20%, 10 days. For originals
5	Data of AUTO:	Iveco, CA3301AM
	Driver (Full name, phone):	Savchenko Taras Sergeevich 0991651121
Responsibilities of parties:		
6	Standard time of loading and unloading - 8 hours, excluding weekends and Festive days; For poorly packed and loaded Customer's goods Forwarder does not bear responsibility; For vehicle downtime through Customer, Customer pays a fine of $ 500 (five hundred) dollars to Forwarder for each day downtime or delay simultaneously with payment of transportation cost. The parties agreed that excess downtime vehicle confirmed by waybill and in writing documents of carrier, composed in any form; In case of confirmation of the Contract- request by customer with followed rejection of downloads in less than 8 hours, The Customer pays a fine to Forwarder 1000 (thousand hryvnas) no later than three business days. The refusal must be confirmed in writing form.	
7	Parties commit to not disclose any information which is a trade secret or confidential information. Commercial information is information provided by the parties in the contract, concerning the financial conditions of the contract, identified by the legislation of Ukraine for this type of contracts. In the case of disclosure from the guilty party will be levy a fine to unfold of the cost of transportation.	
8	Замовник забезпечується оплатити Експедитору вартість організації перевезення вантажу в Замовленій та погодженій формі вказаної в п. 4 цього договору-заявки, але не гіршими умовами ніж в момент розмитнення вантажу. За затримку оплати вартості перевезення Замовник забезпечується сплачувати Експедитору пеню в розмірі 1 відсотка від суми такого перевезення за кожний день затримки оплати.	
ADDRESS AND REQUISITES OF THE PARTIES:		
Forwarder: Limited liability company "OPS TRANCE TREYDING", Tel.: +380 (472) 31-38-26, p/p 26000995036, Bank PJSC "Raiffeisen Bank Aval", s. Kyiv, MFO 380805 18015, Cherkasy region., s. Cherkasy, str. Pastur, b. 99 Is a liable to income tax on general grounds Director_____Naumchuk A.M.		Customer . 18005, s. Cherkasy, str. Sadova, b. 55 0502221 199 "USREOU" 22222123, INN 22334651, Certificate number 222113665123 Michalski Oleg Volodymyrovych_____Director

Fig. 6. Printing variant of request

References

1. K.J. Dueker, P. Bender. “White Paper on Issues and Strategies for Building a State Transportation Framework”. (Aug 1, 2002). URL: http://www.wsdot.wa.gov/gis/transframework/TFwpFINALApril.pdf.
2. K. Dueker and A. Butler, “Implementing the Enterprise GIS in Transportation Database Design”, URISA Journal, vol. 13, no. 1, 2001 pp. 17-24.
3. D. Blanchard, Supply Chain Management Best Practices, 2nd ed. New York: John Wiley & Sons, 2015.
4. N. Mehmet and N. Gokhan, “Development of a Simultaneous Design for Supply Chain Process for the Optimization of the Product Design and Supply Chain Configuration”, Problem: Engineering Management Journal, Taylor & Francis, vol. 22, no. 4, 2010 pp. 20-30.
5. A. Wieland and C. Wallenburg, “The influence of relational competencies on supply chain resilience: A relational view”, International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, vol. 43, no. 4, 2013 pp. 300-320.
6. B.A. Anikin, Logistics, Moscow: INFRA-M, 2002.
7. A.M. Golubchik, Freight forwarding business, Moscow:TransLit, 2011.
8. A.A Kizim, I.V. Batykov and A.V. Belousov, . Socio-economic aspects of the regional transport and logistics system development, Krasnodar: Kuban State University, 2004.
9. K.V. Kobzeva, “Theoretical justification of logistics formation as a science”, Economics. Management, Entrepreneurship , vol. 18, no. 2, 2007 pp. 61-66.
10. L.B. Mirotin, B.P. Bezel, T.O.Suleimenov and K.O Madalie, Transport Logistics: Textbook. Benefit, Moscow: MADI (STU), 1996.
11. T.A. Prokofeva and O.M. Lopatkin, Logistics transport and distribution systems, Moscow: R.Konsult, 2003.
12. A.A. Smekhov, Fundamentals of transport, Moscow: Transport, 1995.
13. L.V. Frolova, Logistics business management: theoretical and methodological aspects, Donetsk: Dong duo, 2004.
14. N.V. Chornopyska, “Methodological approaches evaluating the logistics of the enterprise”, Herald of the National University "Lviv Polytechnic", Herald of the National University "Lviv Polytechnic", vol. 608, 2008 pp. 265-271.

Рецензія/Peer review : 14.1.2017 р. Надрукована/Printed :8.2.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Поздеєв С.В.

УДК 004.056.55

С.Д. ГАЛЮК, О.В. КРУЛІКОВСЬКИЙ, Л.Ф. ПОЛІТАНСЬКИЙ
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДВОМІРНИХ ВІДОБРАЖЕНЬ ДЛЯ ПЕРЕСТАНОВОК ПІКСЕЛІВ

У статті наведено результати досліджень перестановок на основі дискретизованих двомірних хаотичних відображень: Кота, Бейкера, стандартного та відображення з двома нелінійностями. Проаналізовано простір ключів відображень і складність перестановок. Досліджено стійкість перестановок до кореляційної атаки. Показано, що використання відображення з двома нелінійностями унеможливлює кореляційну атаку після двох циклів перестановок та суттєво збільшує ключовий простір.

Ключові слова: перестановка пікселів, двомірні відображення, хаотичні шифри.

S.D. HALIUK, O.V. KRULIKOVSKYI, L.F. POLITANSKYI
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University

COMPARATIVE ANALYSIS OF TWO-DIMENSIONAL MAPS FOR PIXEL PERMUTATIONS

The article contains results of studies permutations based on discredited two-dimensional chaotic maps: Cat, Baker, standard, and map with two nonlinearities. The key space of maps and complexity of permutations are analyzed. Determined resistance of permutations to attacks based on the correlation between adjacent pixels. Also is shown, that using map with two nonlinearities prevents correlation attack after two cycles of permutations and significantly increases the key space.

Keywords –pixel permutations, two-dimensional chaotic map, chaotic ciphers.

Вступ

Починаючи з другої половини XX ст. в ході активного розвитку інформаційних технологій неперервно зростає багатогранність та складність проблем інформаційної безпеки [1]. Це підтверджується типовими і креативними атаками на бази даних і інформаційні системи державних, корпоративних та приватних користувачів. Для протидії цим атакам необхідно постійно вдосконалювати методи та засоби захисту інформації. Серед найбільш ефективних засобів захисту даних з обмеженим доступом є їх криптографічне шифрування. Постійне збільшення обчислювальної потужності ЕОМ та нових методів криптоаналізу зумовлює систематичне підвищення вимог до засобів безпеки інформації, що, в свою чергу, стимулює розвиток і дослідження нових напрямків в криптології.

Одним з перспективних напрямків досліджень є можливість використання теорії детермінованого хаосу для побудови інформаційно-комунікаційних систем [2, 3] та захисту інформації [4, 5]. Детерміновані хаотичні системи є чутливими до початкових умов і параметрів, а їхні траєкторії непередбачувані на великих часових інтервалах [6]. Використання цих властивостей є однією з необхідних умов для розробки нових криптографічних методів [7, 8].

Для розроблення криптографічних додатків можна використовувати аналогові [9], дискретні [10] хаотичні системи чи їх поєднання. З точки зору економічних і часових затрат кращими будуть дискретні рекурентні відображення, оскільки вони є простішими в реалізації та подібні до традиційних криптосистем. Надійний метод шифрування зображень повинен складатися з двох етапів [8]:

- перестановки пікселів,
- дифузії кольору пікселів.

На першому етапі здійснюється перетворення блоку інформації за допомогою дискретного двомірного хаотичного відображення. Метою перестановки є розрив взаємозалежності між послідовними пікселями зображення. При цьому розподіл градацій кольорів зображення не змінюється. Під час перестановки пікселів розмір блоку буде дорівнювати N^2.

Дифузія представляє собою зміну значень складових кольору пікселів за допомогою нелінійної детермінованої системи. Для дифузії розмір блоку визначатиметься типом використовуваної арифметики, розмірами зображення, кількістю двійкових розрядів для запису однієї з складових кольору пікселів. Наприклад, розмір блоку при дифузії для зображень формату RGB становитиме $\frac{24}{3}N^2 = 8N^2$ біт. Ключем дифузійного процесу є початкові умови і параметри функції дифузії. Дифузія чутлива до повідомлення при наявності зворотних зв'язків за шифротекстом у алгоритмі шифрування. Хаотичний потоковий шифр може містити тільки операції дифузії [11], які найчастіше полягають у додаванні за модулем два псевдовипадкової та інформаційної послідовності бітів.

В процесі перестановок чутливість до початкового значення відповідає чутливості до початкового положення пікселя. При зростанні чутливості покращується випадковість перестановки. Якість перестановки залежить від кількості циклів. Простором ключів буде область допустимих значень параметрів хаотичного відображення. Чутливість до ключа визначається чутливістю до параметрів хаотичного відображення та кількістю циклів. Недоліком перестановок є відсутність чутливості до повідомлення. Алгоритми шифрування, в яких використовуються тільки перестановки, легко зламуються атакою

відкритим текстом [12].

В [13] запропоновані модифікації стандартного відображення, призначені для виконання перемішування на етапі перестановки в шифрах на базі хаосу. В пропонованій роботі нами детально досліджено одну з модифікацій та здійснено порівняльний аналіз відомих двомірних дискретизованих хаотичних відображень.

Хаотичні відображення для перестановок

Для процесу перемішування можуть бути використані багато різних двомірних хаотичних відображень, наприклад, відображення Бейкера, відображення Кота, стандартне відображення (Чирікова), які дискретизовані по розміру зображення, дають змогу забезпечити перемішування всіх пікселів без втрат [8]. Для зображення розміром $N \times N$ пікселів дискретизовані відображення Чирікова, Кота і Бейкера описуються наступними системами рівнянь [8,14]:

$$\begin{aligned} x_{j+1} &= \left(x_j + y_j\right) \bmod N, \\ y_{j+1} &= \left(y_j + K \sin \frac{x_{j+1} N}{2\pi}\right) \bmod N, \end{aligned} \tag{1}$$

де K – параметр (ключ перестановки) стандартного відображення;

$$\begin{aligned} x_{j+1} &= \left(x_j + u y_j\right) \bmod N, \\ y_{j+1} &= \left(v x_j + (1 + uv) y_j\right) \bmod N, \end{aligned} \tag{2}$$

де u, v –параметри відображення Кота;

$$\begin{aligned} x_{j+1} &= \frac{N}{k_i}\left(x_j - N_i\right) + y_j \bmod \frac{N}{k_i}, \\ y_{j+1} &= \frac{k_i}{N}\left(y_j + y_j \bmod \frac{N}{k_i}\right) + N_i, \end{aligned} \tag{3}$$

де $k_1, k_2, \ldots, k_t$ – параметри відображення Бейкера, які задовольняють умови:

$$\begin{cases} k_1 + k_2 + \ldots k_t = N, \\ N = k_1 + \ldots + k_{i-1}, \\ N_i \le x_j < N_i + k_i, \\ 0 \le y_j < N. \end{cases}$$

Детально властивості, переваги та недоліки відображень (1)–(3) проаналізовані в [12–14].

В [15] запропоновано двомірне хаотичне відображення:

$$\begin{aligned} x_{j+1} &= \left(x_j + K_1 \sin \frac{y_j N}{2\pi}\right) \bmod N, \\ y_{j+1} &= \left(y_j + K_2 \sin \frac{x_{j+1} N}{2\pi}\right) \bmod N, \end{aligned} \tag{4}$$

де K_1 і K_2 – параметри системи.

Критерієм хаотичної поведінки нелінійної системи є швидкість розбігання близьких траєкторій, що таблично оцінюються значенням старшого показника Ляпунова [16]. Залежності показників Ляпунова для (4) від параметрів системи наведено на рис. 1. Розрахунок здійснено методом QR [17]. Як слідує з рис. 1, система (4) є хаотичною при заданих значеннях параметрів, сума показників Ляпунова дорівнює нулю, що є ознакою консервативності системи.

Значення якобіана системи (4) не залежить від значення параметрів K_1 і K_2:

$$D = \begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial x} & \frac{\partial x}{\partial y} \\ \frac{\partial y}{\partial x} & \frac{\partial y}{\partial y} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} 1 & \frac{K_1 N}{2\pi} \cos \frac{yN}{2\pi} \\ \frac{K_2 N}{2\pi} \cos \frac{\left(x + K_1 \sin \frac{yN}{2\pi}\right) N}{2\pi} & 1 + \frac{K_1 K_2 N^2}{(2\pi)^2} \cos \frac{\left(x + K_1 \sin \frac{yN}{2\pi}\right) N}{2\pi} \cos \frac{yN}{2\pi} \end{vmatrix} = 1,$$

тобто відображення буде зберігати площу і є потенційно придатним для здійснення перестановок у хаотичних алгоритмах шифрування.

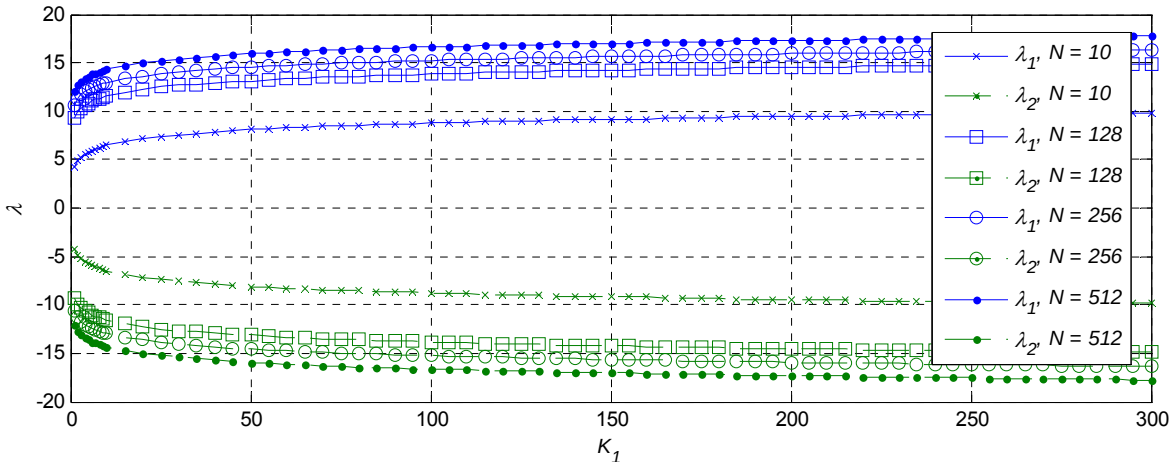
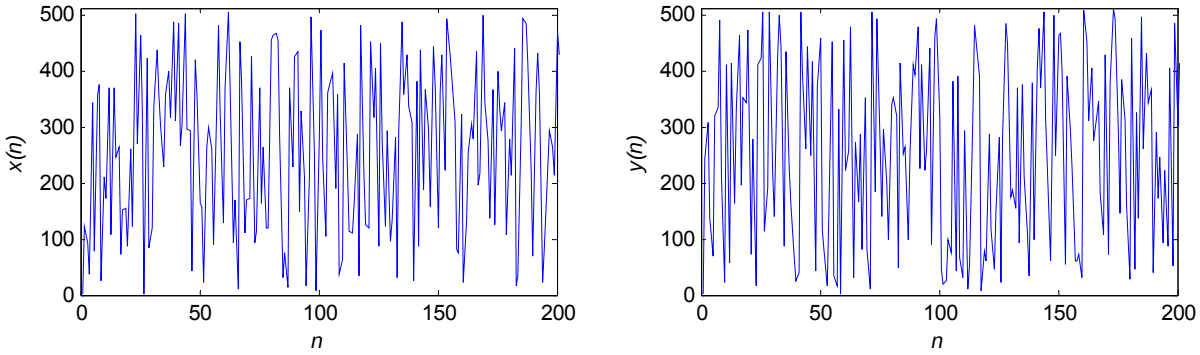


Рис. 1. Залежність показників Ляпунова для системи (4) від параметра K_1 і N при $K_1 = 100$

Приклади реалізації хаотичного процесу відображення (4) наведено на рис. 3. Всі ітераційні залежності схожі на випадкові коливання, але утворюються детермінованими системами.

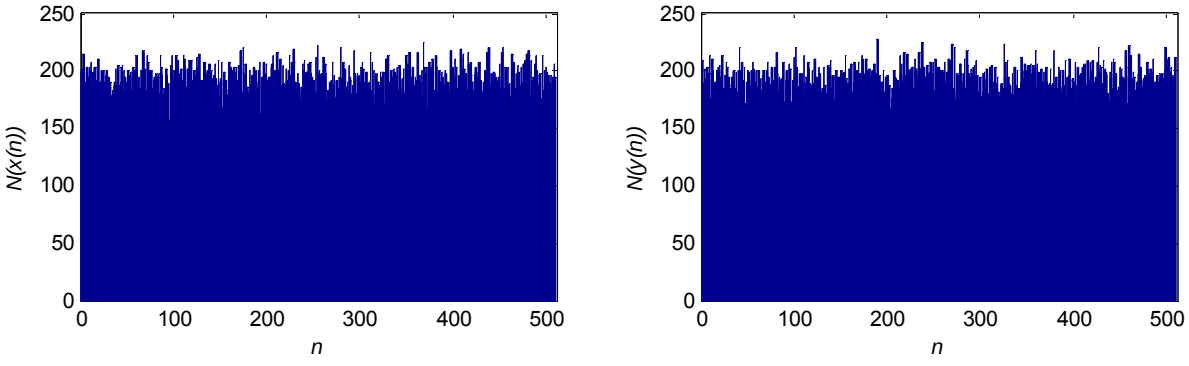


а **б**

Рис. 2. Приклади розв'язків системи (4): *а* – для змінної *x*, *б* – для змінної *y*

З точки зору обчислювальної складності система (4) є складнішою, порівняно з (1) тому що для розрахунку наступної ітерації необхідно двічі знаходити значення функції синуса. Враховуючи, що значення тригонометричних функцій у цифровій техніці обчислюються за допомогою розкладу в ряд Тейлора шуканих функцій, за кількістю необхідних часових ресурсів і/або об'єму пам'яті відображення Кота і стандартне є простішими та потребують виконання меншої кількості математичних операцій.

Гістограми розподілу розв'язків системи (4) характеризуються рівномірним розподілом (рис. 3), що найчастіше зустрічається в криптографії. Рівноймовірність розподілу обох змінних означає незалежність (в статистичному розумінні) між послідовними ітераціями хаотичного процесу.



а **б**

Рис. 3. Гістограми розподілу розв'язків системи (4): *а* – для змінної *x*, *б* – для змінної *y*

При виконанні перестановок пікселів у зображеннях системи рівнянь (1)–(4) пов'язують поточну та наступну координати пікселя з точністю до дробової частини. Дискретизоване за розміром зображення $N \times N$ відображення матиме вигляд

$$X_{j+1} = \left(X_j + K_1 \sin \frac{Y_j N}{2\pi} \right) \bmod N,$$
$$Y_{j+1} = \left(Y_j + K_2 \sin \frac{X_{j+1} N}{2\pi} \right) \bmod N, \quad (5)$$

де X_j, Y_j – початкові координати j-го пікселя, X_{j+1}, Y_{j+1} – координати j-го пікселя після перестановки; $\cdot$ – операція отримання цілої частини числа.

Обернене до (5) дискретизоване відображення застосовується для відновлення зображення після перестановки:

$$X_{j+1} = \left(X_j - K_1 \sin \frac{Y_{j+1} N}{2\pi} \right) \bmod N,$$
$$Y_{j+1} = \left(Y_j - K_2 \sin \frac{X_j N}{2\pi} \right) \bmod N. \quad (6)$$

При шифруванні та розшифруванні зображення в кілька циклів відповідну кількість раз необхідно застосовувати (5) і (6).

В порівнянні з дискретизованим стандартним відображенням [8] система (5) має дві нелінійності $K_1 \sin \frac{y_j N}{2\pi}$ і $K_2 \sin \frac{x_{j+1} N}{2\pi}$, і два параметри K_1 і K_2. Наявність двох незалежних рівноцінних параметрів квадратично збільшує ключовий простір системи. В роботі [15] показано, що для стандартного відображення можна ефективно застосувати кореляційну атаку, яка при одному або двох циклах перестановки дає змогу повністю дешифрувати зображення, не знаючи ключа *K*. Нелінійність у кожному рівнянні (5) вносить невизначеність в обидві змінні (координати), що покращує якість перестановки, і дає змогу усунути недоліки, характерні для стандартного відображення.

Порівняння ефективності перестановок

Розглянемо ефективність перестановок з використанням пропонованого та відомих відображень на прикладі зображення розміром 512×512 пікселів. Тестові зображення наведені на рис. 4 *а, е, м*.

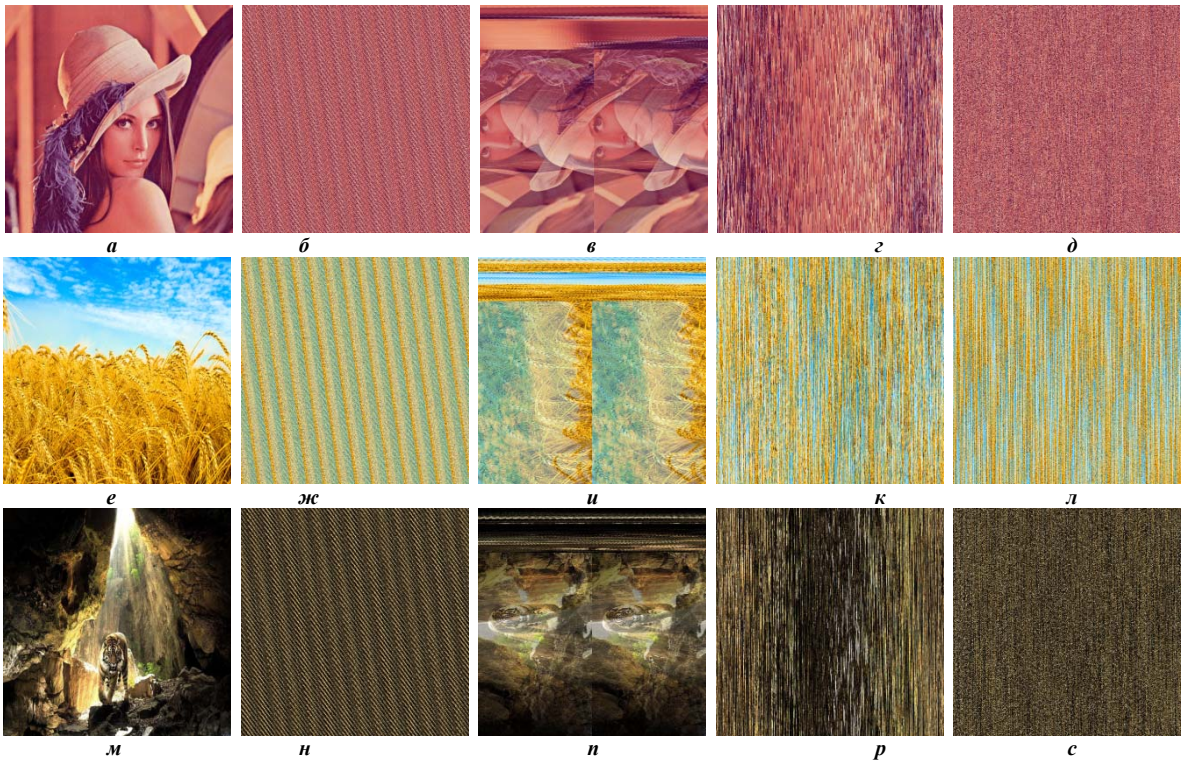


Рис. 4. *а, е, м* – оригінальні зображення, *б, ж, н* – після перестановки за допомогою (2), *в, и, п* – після перестановки за допомогою (3), *г, к, р* – після перестановки за допомогою (1, *д, л, с* – після перестановки за допомогою (4)

Після перестановки за допомогою відображення Кота (рис. 4 *б, ж, н),* незважаючи на відсутність контурів оригінального зображення в шифрованому, спостерігаються певні закономірності, що призводять до циклічності перестановки і можуть бути використані зловмисником. Застосування відображення Бейкера не дає змоги ефективно перемішати пікселі (рис. 4 *в, и, п*), зміст оригінального зображення можна легко

зрозуміти на основі шифрованого. Наші дослідження показують, що якість перестановок згідно (3) залежить від ключа і може мати малий період перестановки в декілька циклів.

Для перестановок пікселів в зображеннях на рис. 4 використовувались наступні параметри:

Таблиця 1

Використовувані параметри відображень для перестановок

Відображення	Параметри
Стандартне	K= 10000
Кота	v = 5677, u = 4359
Бейкера	{32, 4, 64, 2, 2, …, 2}
Пропоноване	K_1=K_2 = 10000

Один цикл перестановок за допомогою стандартного відображення теж не призводить до рівномірного розпорошення пікселів (рис. 4 *г, к, р*), тому для ефективного перемішування необхідно використовувати більшу кількість циклів. При використанні відображення (5), задовільне перемішування пікселів для заданих зображень можна отримати за один цикл перестановки (рис. 4 *д, л, с*).

Мірою взаємозв'язку між зображеннями є коефіцієнт кореляції. Чим менше значення модуля коефіцієнта кореляції, тим менш подібними будуть два зображення. Розглянемо, як змінюється кореляція між сусідніми пікселями по горизонталі і по вертикалі. Для розрахунку кореляції використаємо наступну формулу [18]:

$$C_r = \frac{N\sum_{j=1}^{N}\left(x_j \times y_j\right) - \sum_{j=1}^{N} x_j \times \sum_{j=1}^{N} y_j}{\sqrt{(N\sum_{j=1}^{N} x_j^2 - (\sum_{j=1}^{N} x_j)^2) \times (N\sum_{j=1}^{N} y_j^2 - (\sum_{j=1}^{N} y_j)^2)}} \quad (7)$$

де x, y – значення градацій кольору двох сусідніх пікселів, N – кількість пікселів у зображенні.

Для оригінального зображення (рис. 4 *а*) значення коефіцієнта кореляції між сусідніми пікселями по горизонталі і вертикалі дорівнює 0,9759 та 0,9857 відповідно. Розраховані значення коефіцієнта кореляції після одного циклу перестановок наведені в Табл. 2. Серед досліджених систем найгірші кореляційні властивості перестановок забезпечує відображення Бейкера, для якого за один цикл перестановки кореляція пікселів по горизонталі майже не змінюється. Для стандартного відображення високим залишається значення коефіцієнта кореляції по вертикалі. Перестановки за допомогою (5) забезпечують найменшу кореляцію для всіх тестових зображень.

Таблиця 2

Кореляція пікселів зображення після одного циклу перестановок

Зображення	Кореляція пікселів	Відображення			
		Кота	Бейкера	Стандартне	Нове
Рис. 4 *а*	по горизонталі	-0,0796	0,9829	0,0972	-0,0011
	по вертикалі	0,1198	0,0433	0,9699	0,0375
Рис. 4 *е*	по горизонталі	-0,3555	0,9436	-0,0389	-0,0498
	по вертикалі	0,6639	-0,2540	0,9010	0,6258
Рис. 4 *м*	по горизонталі	0,1129	0,9673	0,0393	-0,0039
	по вертикалі	0,4548	0,1246	0,9468	0,0391

Для порівняння зазначимо, що в [14] для стандартного відображення рекомендується виконувати мінімум 4 цикли перестановок. Як випливає з аналізу, наведених в таблиці 3 значень коефіцієнтів кореляції при двох циклах перестановки, нове відображення володіє найкращими кореляційними властивостями.

Таблиця 3

Кореляція пікселів зображення після двох циклів перестановок

Зображення	Кореляція пікселів	Відображення			
		Кота	Бейкера	Стандартне	Нове
Рис. 4 *а*	по горизонталі	0,1083	0,0438	-0,0040	-0,0026
	по вертикалі	0,0099	0,0090	0,0969	-0,0029
Рис. 4 *е*	по горизонталі	-0,2535	-0,2552	$-1.0756*10^{-4}$	$7,4517*10^{-4}$
	по вертикалі	0,3038	0,4974	-0,0392	$-1,1870*10^{-4}$
Рис. 4 *м*	по горизонталі	0,1477	0,1219	-0,006	-0,0028
	по вертикалі	-0,1896	-0,1092	0,0396	$-6,5642*10^{-4}$

Оцінка часу перестановок

Безпека криптосистеми знаходиться в зв'язку з її обчислювальною складністю. В свою чергу

обчислювальна складність залежить від кількості циклів, складності хаотичного відображення і функції дифузії. Висока складність, зумовлена хаотичним відображенням або функцією дифузії, може бути зменшена шляхом вибору підходящого відображення. Оцінку обчислювальної складності проведемо за допомогою часу роботи алгоритму перестановки для різних відображень. Результати дослідження наведені в табл. 4. Для розрахунку використовувався ноутбук з Intel Corel Dual CPU 1,86 ГГц, 2ГБ ОЗУ.

Серед відображень Кота, стандартного та нового існує певна різниця в тривалості перестановки, проте не можна стверджувати, що вона є значною. Це пояснюється тим, що найбільше часу в процесі перестановки займає власне пошук і перемішання пікселя в матриці пікселів з одного положення в інше. При цьому час розрахунку значень наступного положення пікселя є малим в порівнянні з часом його переміщення.

Таблиця 4

Тривалість одного циклу перестановок для різних відображень

Зображення	**Відображення**			
	Кота	Бейкера	Стандартне	Нове
Рис. 6 *а*	0,913604	11,458918	0,935441	0,996236
Рис. 6 *е*	0,898154	11,360945	0,928541	0,993391
Рис. 6 *м*	0,887040	11,488943	0,937095	0,981561

В порівнянні з стандартним нове відображення характеризується більшою тривалістю циклу. Проте, якщо врахувати суттєве збільшення простору ключів та зменшення кількості циклів, необхідних для уникнення кореляції між сусідніми пікселями, його використання є повністю виправданим і доцільним.

Простір ключів

Оскільки в криптосистемах використовуються процеси перестановок і дифузії, тому ключовий простір криптосистеми дорівнює добутку кількості ключів цих процесів [14]. Нехай простір ключів при дифузії дорівнює $\boldsymbol{S}_1$, а для перестановок – $\boldsymbol{S}_2$; тоді для криптосистеми

$$\boldsymbol{S} = \boldsymbol{S}_1\boldsymbol{S}_2. \tag{8}$$

На практиці для різних циклів можуть використовуватися різні ключі. Якщо $\boldsymbol{n}$ – кількість циклів, тоді простір ключів

$$\boldsymbol{S} = (\boldsymbol{S}_1\boldsymbol{S}_2)^{\boldsymbol{N}}. \tag{9}$$

Із (9) випливає, що простір ключів $\boldsymbol{S}$ криптосистеми збільшується зі збільшенням простору ключів перестановок $\boldsymbol{S}_1$, області початкових значень ключів дифузії $\boldsymbol{S}_2$, або кількості циклів $\boldsymbol{n}$. Для різних хаотичних відображень розмір області значень ключа шифрування наведено в Табл. 5. Для нового відображення (5) два параметри K_1 і K_2 вносять невизначеність в перестановку. Зсув пікселя по горизонталі визначається значенням $\boldsymbol{d_x} = \left(\boldsymbol{K}_1 \boldsymbol{sin} \frac{\boldsymbol{y}_j \boldsymbol{N}}{2\boldsymbol{\pi}}\right) \boldsymbol{mod}\, \boldsymbol{N}$, по вертикалі – $\boldsymbol{d_y} = \left(\boldsymbol{K}_2 \boldsymbol{sin} \frac{\boldsymbol{x}_{j+1} \boldsymbol{N}}{2\boldsymbol{\pi}}\right) \boldsymbol{mod}\, \boldsymbol{N}$. В обох випадках існує N можливих варіантів зсуву по кожній координаті. Піксель після перестановки в залежності від значень ключів K_1 і K_2 може опинитися на будь-якій позиції $\boldsymbol{N} \times \boldsymbol{N}$ матриці пікселів. Піксель з координатами (0, 0), як і у випадку стандартного відображення, не змінюватиме свою позицію, незалежно від кількості циклів перестановки. Тому максимальний ключовий простір пропонованого відображення становитиме $(N^2\text{-}1)!$

Таблиця 5

Оцінка максимального простору ключів перестановки для зображення розміром $\boldsymbol{N} \times \boldsymbol{N}$ з кількістю компонент кольору $\boldsymbol{L}$

Хаотичне відображення	**Простір ключів перестановки відображення, $\boldsymbol{S}_2$**	**Простір ключів перестановки (один ключ в різних циклах) для зображення, $\boldsymbol{S}_2$**	**Простір ключів криптосистеми (різний ключ в різних циклах) для зображення, $\boldsymbol{S}_2$**
Кота [8]	N^2	N^2L	$N^{2n}L^n$
Бейкера [8]	$2^{N\text{-}1}$	$2^{N\text{-}1}L$	$2^{n(N\text{-}1)}L^n$
Стандартне [13]	$N^{N\text{-}1}$	$N^{N\text{-}1}L$	$N^{n(N\text{-}1)}L^n$
Відображення з двома нелінійностями [15]	$N^2\text{-}1!$	$(N^2\text{-}1)!L$	$((N^2\text{-}1)!)^nL^n$

Оцінка ключів перестановки для (5) отримана при умові, що параметри K_1 і K_2 не обмежені за максимальним значенням. Реальний розмір ключів обмежиться мінімальним значенням добутку потужності

множин значень параметрів K_1 і K_2 і величиною (N^2-1)!, і залежатиме від прецизійності обчислень:

$$S_2 = \min\{card(K_1) * card(K_2),\ (N^2-1)!\}.$$

Ключовий простір збільшується, якщо в кожному циклі використати різні ключі. З таблиці 5 можна пересвідчитися, що пропоноване відображення має найбільший простір ключів, а відображення Кота – найменший.

Висновки

У роботі досліджено нове дискретне хаотичне відображення для перестановок пікселів в зображеннях $N \times N$ розмірності. Представлено порівняння якості перестановок пікселів новим відображенням з іншими відомими двомірними відображеннями. Досліджено швидкість перестановок, стійкість до кореляційної атаки. Встановлено, що при використані пропонованого відображення можна скоротити кількість циклів перестановки пікселів з врахуванням унеможливлення кореляційної атаки. З'ясовано, що потужність простору ключів перестановок є максимальною для растрових зображень $N \times N$ розмірності і становить $\left(N^2-1\right)!$ Відзначимо, що оцінка потужності простору ключів перестановок приймається на підставі умови абсолютної точності розрахунків. Вплив обмежень на потужність простору ключів є предметом подальших досліджень.

Література

1. Фомичев В. М. Дискретная математика и криптология / В. М. Фомичев. – М. : ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 400 с.

2. Пивовар О. С. Моделювання випромінювання плат із вбудованими компонентами для передачі широкосмугових хаотичних сигналів / О. С. Пивовар, О. Б. Голевич // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 1. – С. 213–216.

3. Пивовар О.С. Дослідження впливу значення абсолютної похибки вирішення систем диференційних рівнянь на атрактори типу «ФОКУС» для генератора Чуа / О.С. Пивовар, О.Б. Голевич // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2014. – № 6. – С. 243–246.

4. Гресь О.В. Алгоритм шифрування інформації з використанням псевдовипадкових послідовностей / О.В. Гресь, Р.Л. Політанський, П.М. Шпатар, А.Д. Верига // Наукові записки УНДІЗ. – 2013. – № 1.

5. Політанський, Р. Л. Моделювання схем шифрування інформації з використанням псевдовипадкових послідовностей / Р. Л. Політанський, Л.Ф. Політанський, П.М. Шпатар, О.В. Гресь // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – Т. 57. – № 3/9. – С. 50–52.

6. Птицын Н. Приложение теории детерминированного хаоса в криптографии / Н. Птицын. – Москва : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 80 с.

7. Şefika Şule Erçetin Chaos, Complexity and Leadership 2013 / Şefika Şule Erçetin, Santo Banerjee – Ankara : Springer International Publishing, 2013. – 566 p.

8. Fridrich J. Symmetric Ciphers Based on Two-Dimensional Chaotic Maps / J. Fridrich // Inter. Journal of Bif. and Chaos. – 1998. – Vol. 8, No. 6. – P. 1259–1284.

9. Pareschi F. A Fast Chaos-based True Random Number Generator for Cryptographic Applications / F. Pareschi, G. Setti and R. Rovatti // Proceedings of the 32nd European Solid-State Circuits Conference. – Montreux, 2006. – P. 130–133.

10. Ljupco Kocarev Chaos-Based Cryptography Theory, Algorithms and Applications / L. Kocarev, S. Lian. – Berlin : Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. – 397 p.

11. Гресь О.В. Апаратна реалізація пристрою шифрування мовної інформації / О.В. Гресь, А.Д. Верига, Р.Л. Політанський, О.В. Дробик // Сучасний захист інформації. – 2014. – № 3. – С. 71–78.

12. Ercan Solak Cryptanalysis of fridrich's chaotic image encryption / Ercan Solak, Cahit okal, Olcay Taner Yildiz // International Journal of Bifurcation and Chaos. – 2010. – Vol. 20, No. 5. – P. 1405–1413.

13. Haliuk S. Analysis of Pixels Permutations Based on Discretized Chirikov Map / S. Haliuk, O. Krulikovskyi, L. Politanskyi // Proceedings of the XIIIth International Conference TCSET'2016, Lviv-Slavsko, Ukraine, February 23–26, 2016. – P. 519–521.

14. Lian S. Security analysis of a chaos-based image encryption algorithm / S. Lian, J. Sun, Z. Wang // Physica A: Statistical Mechanics and its Applications. – 2005. – Vol. 351, Is. 2–4. – P. 645-661.

15. Haliuk S. Two-dimensional map for permutations in chaotic ciphers / S. Haliuk, O. Krulikovskyi, L. Politanskyi // Conference PREDT 2016, 3–5 November 2016, Chernivtsi, Ukraine.

16. Генераторы хаотических колебаний / Б.И. Шахтарин, П.И. Кобылкина, Ю.А. Сидоркина, А.В. Кон-дратьэв, С.В. Митин. – М. : Галилеос АРВ, 2007. – 247 с.

17. Hubertus F. von Bremen An efficient QR based method for the computation of Lyapunov exponents / Hubertus F. von Bremen, Firdaus E. Udwadia, Wlodek Proskurowski // Physica D. – 1997. – № 101. – P. 1–16.

18. Jolfaei A. An image encryption approach using chaos and stream cipher / Alireza Jolfaei, Abdolrasoul Mirghadri // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. – 2010. – Vol 19. No. 2.

Рецензія/Peer review : 27.1.2017 р. Надрукована/Printed :5.2.2017 р.
Рецензент : д.ф-м.н., проф. Махній В.П.

УДК 521.1:523.2:523.6:523.9:524.6:524.8:532.5.01:534.1:621.891

Ю.П. ЗАСПА
Хмельницький національний університет

КОНТАКТНЕ ДИНАМО ЯК ГЕНЕРАТОР КОГЕРЕНТНИХ КОСМІЧНИХ ФОРМ РУХУ ТА ДЖЕРЕЛО ПЛАНЕТАРНОЇ, СОНЯЧНОЇ, ГАЛАКТИЧНОЇ І МЕТАГАЛАКТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА МАГНЕТИЗМУ. ЧАСТИНА VI

Запропонований некосмологічний (недоплерівський) механізм утворення червоного зміщення у спектрах віддалених галактик та квазарів, який полягає у резонансній Breггівській дифракції світла (радіохвиль) на стоячих хвилях метагалактичного фонового теплового випромінювання. Теплооптичне лінзування в космічних системах складає пряму альтернативу гравітаційному лінзуванню за участю гіпотетичної темної матерії та темної енергії. Проведений подальший аналіз контактно-наведених внутрішніх хвиль та каскадного транспорту енергії збурень в технічних та космічних системах. Підтверджена контактна природа магнетизму Землі. Спектральний аналіз геомагнітного поля свідчить про те, що воно генерується не тільки в контактах внутрішнього твердого ядра Землі, але й на границях рідке ядро – мантія та астеносфера – літосфера. Розглянутий взаємозв'язок контактної геодинаміки та глибинної плюм-тектоніки. Показано, що висхідні розплавлені потоки речовини у мантії (плюми) мають не конвективну, як це на сьогодні вважається, а хвильову контактно-наведену природу. Динамічно-активовані переходи металізованого водню в діелектричний стан на етапах релаксації контактного тиску на границі твердого та рідкого ядер Землі, що супроводжуються значним локальним енерговиділенням, забезпечують випереджаючий рух твердого ядра щодо оболонки та генерують глобальні внутрішні хвилі. Інтерференція цих хвиль у сфероїдному резонаторі тіла Землі, в свою чергу, обумовлює як утворення плюмів, так і циклічний (з основним періодом порядку мільярда років) рух континентів на планеті. Важливу роль у цьому процесі відіграє хвильове перенесення метастабільного водню з ядра Землі у мантію, де відбуваються екзотермічні переходи водню з металічного в діелектричний стан, що формують глобальні глибоко ешелоновані температурні поля, плюми та суперплюми. Побічним ефектом такого хвильового перенесення метастабільного водню є глибинний абіогенний синтез вуглеводнів (нафти та природного газу). На ранніх етапах еволюції планети це перенесення стимулювало утворення гідросфери Землі. Аналізується контактне походження ядер хімічних елементів та космічних частинок надвисоких енергій. Показано, що ядра хімічних елементів та елементарні частинки утворюються в контактних розривах активних ядер галактик в процесі прямого енергетичного каскаду за участю контактно-наведених внутрішніх хвиль. Вони де-факто є продуктами зношування поверхневих контактних шарів та викидаються назовні релятивістськими струменями (джетами). Енергетичним джерелом таких процесів є колосальне енерговиділення при переходах ущільненої метастабільної речовини галактичних ядер у більш рівноважний стан на етапах релаксації контактного тиску.

Ключові слова: *контактне динамо, космічна система, червоне зміщення, теплове випромінювання, теплооптичне лінзування, магнетизм Землі, металічний водень, внутрішні хвилі, мантійні плюми, абіогенний синтез вуглеводнів, походження хімічних елементів, космічні промені, джети, активні ядра галактик.*

YU. P. ZASPA
Khmelnytsky National University

CONTACT DYNAMO AS A GENERATOR OF THE COHERENT SPACE FORMS OF MOTION AND A SOURCE OF THE PLANETARY, SOLAR, GALACTIC, AND METAGALACTIC ENERGY AND MAGNETISM. PART VI

The non-cosmological (non-doppler) mechanism of formation of red shift in the spectrum of distant galaxies and quasars, which is the reason of the resonant Bragg diffraction of light (radio waves) on the standing waves of Metagalaxy background thermal radiation is proposed. Thermooptical lensing in space systems is a direct alternative to gravitational lensing involving hypothetical dark matter and dark energy. Further conducted investigation of contact-induced internal waves and cascading transport of the disturbances energy in engineering and space systems. The contact nature of the Earth magnetism is proved. Spectral analysis of the geomagnetic field indicates that it is generated not only in the contacts of the inner solid core of the Earth, but also on the borders of liquid core – mantle and asthenosphere – lithosphere. The relationship of contact geodynamics and deep-plums tectonics is examined. It is shown that the original molten material flows in the mantle (Plume) have no convection, as it is nowadays considered, but the wave contact-induced nature. Dynamically-activated metalized hydrogen transitions into the dielectric state at the stages of relaxation of the contact pressure on the boundary of solid and liquid cores of the Earth which are accompanied by significant local energy release, provide anticipatory movement of the solid core concerning to the shell on generating global internal waves. Interaction of such waves in a spheroid resonator of the Earth body, in its turn, causes the formation of a plume and cyclical (the main period of the order of a billion years) movement of continents on the planet. An important role in this process is played by the wave transferring of metastable hydrogen from the Earth's core into the mantle, where the exothermic transitions of hydrogen from metallic state into dielectric state is happening, and that is forming global deeply echelon temperature fields, plumes and superplumes. A side effect of higher described wave transferring of metastable hydrogen is profound abiogenic synthesis of hydrocarbons (oil and natural gas). In the early stages of the evolution of the planet, such transferring stimulated the formation of the hydrosphere of the Earth. The contact origin of the chemical elements nucleis and space particles of ultrahigh energies is analyzed. It is shown that the nucleis of chemical elements and elementary particles are formed due to the contact rupture of the active galactic cores in the direct energy cascade involving contact-induced internal waves. They are de facto the products of the contact surface layers erosion and they are thrown out by the relativistic jets. Energy source of such processes is the enormous energy in the processes of transitions of the condensed metastable matter of the galactic cores into more equilibrium stage for relaxation of the contact pressure.

Key words: contact dynamo, space system, red shift, thermal radiation, thermooptical lensing, the Earth magnetism, metalized hydrogen, internal waves, mantle plume, abiogenic synthesis of hydrocarbons, the origin of chemical elements, cosmic rays, jets, active galactic cores.

Брегівська дифракція світла та радіохвиль на стоячих хвилях метагалактичного теплового фонового випромінювання як механізм червоного зміщення у спектрах віддалених галактик та квазарів. Теплове лінзування в космічних системах

Некосмологічне походження червоного зміщення у спектрах віддалених галактик та квазарів попередньо пояснювалось через подвійну Брегівську дифракцію фотонів на акустичних фононах на поверхні космічного пилу (метеороїдних частинок) в умовах низьких космічних температур [1]. Подальший аналіз проблеми виявив фізично подібну, однак масштабно цілком альтернативну схему утворення такого зміщення – резонансну Брегівську дифракцію світла та радіохвиль на стоячих хвилях теплового $\left(\mathrm{T} \approx 2,7^{\circ} K\right)$ фонового космічного випромінювання, що традиційно іменується "реліктовим". З нашої точки зору, таке випромінювання знаходиться у термодинамічній рівновазі з масивним "пісочним" гало Метагалактики [2], що формує найграндіознішу реально діючу модель абсолютно чорного тіла: сфероїдну Метагалактичну оболонку, всередині якої знаходиться ядро Метагалактики та вся частина Всесвіту, доступна нам для спостереження.

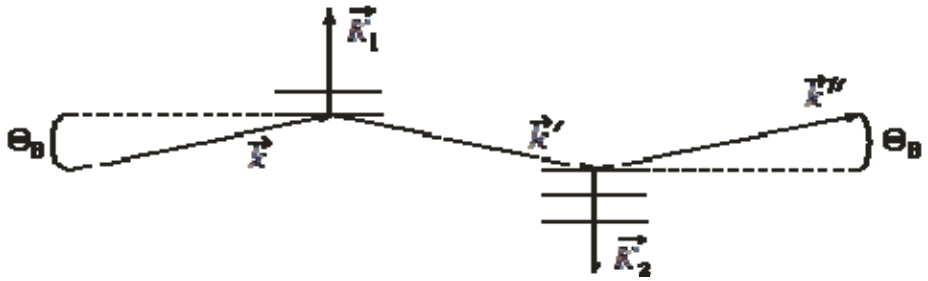


Рис. 1. Схема резонансної Брегівської дифракції оптичних та радіо-фотонів на стоячих хвилях теплового випромінювання

Схема Брегівської дифракції оптичних та радіо-фотонів на стоячих хвилях теплового випромінювання аналогічна до акустооптичної схеми, наведеної в роботі [1] рис. 1. Єдина відмінність полягає, власне, у заміні фазової швидкості звуку в матеріалі метеороїдних частинок (для фононів) на фазову швидкість світла для фотонів теплового випромінювання. В такому випадку із законів збереження імпульсу та енергії в процесі подвійного Брегівського розсіяння світла (радіохвиль) слідує:

$$2k \cdot \sin\theta_B = K\,, \tag{1}$$

$$\tilde{Z}_e'' = \frac{\omega - \omega''}{\omega} = 2\frac{\Omega}{\omega} = 2\frac{K}{k} = 4\sin\theta_B\,. \tag{2}$$

Тут k і K − хвильові вектори падаючого світла і теплового випромінювання, θ_B − кут Брегга, $\tilde{Z}_e''$ − елементарне червоне зміщення в термінах частот в результаті подвійного розсіяння, ω і ω'' − циклічні частоти падаючого та розсіяного світла, Ω − циклічна частота фотонів теплового випромінювання. Схема рис. 1 відповідає саме червоному зміщенню в спектрі світла (радіохвиль). Можливі також обернені напрями хвильових векторів теплових фотонів щодо наведених на рис. 1, які відповідають фіолетовому зміщенню у спектрі світла. Результуючий колір спектрального зсуву визначається відповідними ймовірностями елементарних процесів розсіяння і, судячи з даних спостережень, є саме червоним. Загальне зміщення спектральних ліній як результат сукупності елементарних зміщень по трасі спостереження довжиною L відповідає закону Бугера, що описує зменшення енергії фотонів по мірі розсіяння:

$$E(L) = E_0 \cdot e^{-\alpha \cdot L}\,, \tag{3}$$

$$\tilde{Z}(L) = \frac{E_0 - E(L)}{E_0} = 1 - e^{-\alpha \cdot L}\,. \tag{4}$$

Тут E_0, E − початкова та результуюча енергія світлових квантів, $\tilde{Z}(L)$ − червоне зміщення в термінах частот, що використовується в космологічних (доплерівських) інтерпретаціях ефекту [3]. Згідно з останніми за законом Хаббла

$$\tilde{Z}(L) = \frac{H}{c} \cdot L\,, \tag{5}$$

де H – постійна Хаббла, c – швидкість світла у вакуумі. В нашій інтерпретації постійна Хаббла відображає не розширення Всесвіту [3], а розсіяння світла та тепловому фоновому випромінюванні Метагалактики. При $\alpha \cdot L \ll 1$ з (4) – (5) маємо:

$$\alpha = H / c\,, \tag{6}$$

де α − коефіцієнт розсіяння.

На практиці вимірюється не $\tilde{Z}(L)$, а відповідна величина червоного зміщення в термінах довжин

хвиль $Z(L)$ [1]:

$$Z(L)=\frac{\tilde{Z}(L)}{1-\tilde{Z}(L)},\quad \tilde{Z}(L)=\frac{Z(L)}{1+Z(L)}. \tag{7}$$

Підставляючи у перший вираз (7) величину $\tilde{Z}(L)$ з (4), отримаємо:

$$Z(L)=e^{\alpha\cdot L}-1. \tag{8}$$

Якщо $\alpha\cdot L\ll 1$, то величини $Z(L)$ і $\tilde{Z}(L)$ практично співпадають, що відповідає лінійним ділянкам діаграм Хаббла. Однак, при $\tilde{Z}(L)\sim 1$ спостерігається прискорене зростання $Z(L)$, що спекулятивно видається за прискорене розширення Всесвіту [4]. На наш погляд, це відображає лише закон Бугера для розсіяння світла згідно (8). Довжина хвилі теплового резонансного випромінювання Λ для світла (радіохвиль) з довжиною λ визначається через кут Брегга:

$$\Lambda=2\pi/K=\pi/(k\cdot\sin\theta_B)=\lambda/(2\sin\theta_B). \tag{9}$$

При малих кутах Брегга ця довжина хвилі попадає у довгохвильову Релей-Джинсову область спектру теплового випромінювання. При цьому кількість квантів теплової енергії N у тепловій моді з частотою Ω та довжиною хвилі Λ задається виразом [5]:

$$N=\frac{kT}{\hbar\Omega}=\frac{kT\Lambda}{\hbar c}=\frac{kT\cdot\lambda}{2\hbar c\cdot\sin\theta_B}. \tag{10}$$

Тут k − постійна Больцмана, T – абсолютна температура, $\hbar$ − редукована постійна Планка (постійна Дірака). При малих кутах Брегга $N\gg 1$, що підтверджує не тільки хвильовий, але й квантовий характер процесу розсіяння.

Довжина елементарної траси розсіяння згідно схеми рис. 1 виражається наступним чином:

$$L_e=\frac{2\Lambda}{\sin\theta_B}=\frac{\lambda}{\sin^2\theta_B}. \tag{11}$$

Тривалість такого процесу становить:

$$T_e=L_e/c=\frac{\lambda}{c\cdot\sin^2\theta_B}, \tag{12}$$

а відповідний частотний параметр:

$$\nu_e=1/Te=c\cdot\sin^2\theta_B/\lambda=\nu_0\cdot\sin^2\theta_B. \tag{13}$$

Тут ν_0 – вихідна частота світла. Відношення частот ν_e та ν_0 характеризує степінь вширення спектральної лінії в результаті Бреггівського розсіяння:

$$\frac{\nu_e}{\nu_0}=\sin^2\theta_B\ll 1. \tag{14}$$

При малих кутах Брегга це вширення незначне, що пояснює можливість спектрального зміщення частоти без суттєвого вширення спектральної лінії.

Концентрація фотонів теплового випромінювання х хвильовим вектором K задається виразом:

$$n=\frac{2}{3}\cdot\frac{K^3}{3\pi^3}. \tag{15}$$

Коефіцієнт 2/3 враховує направленість поширення світла. Враховуючи (1), маємо:

$$n=\frac{128}{9}\cdot\frac{\sin^3\theta_B}{\lambda^3}. \tag{16}$$

Оцінимо переріз розсіяння:

$$\sigma=\alpha/n=\frac{9}{128}\cdot\frac{H\cdot\lambda^3}{c\cdot\sin^3\theta_B}. \tag{17}$$

Практично у всіх отриманих виразах в якості базового параметра входить кут Брегга $(\sin\theta_B)$. Його можливо оцінити лише зверху, використовуючи відомі експериментальні дані для червоного світла [1]:

$$c\cdot Z_{\min}\approx 250\ \text{м/с}, \tag{18}$$

що з врахуванням (2) дає:

$$\sin\theta_B<2\cdot 10^{-7}. \tag{19}$$

В такому випадку, наприклад, для резонансного розсіяння червоної лінії Бальмер-альфа у спектрі атома водню переріз розсіяння на теплових фотонах більш ніж на сорок порядків величини перевищуватиме відомі теоретичні оцінки для перерізу розсіяння фотонів на фотонах, отримані в рамках локальної квантової електродинаміки [6]. Останні базуються на моделі утворення проміжних електрон-позитронних пар у

процесі розсіяння. Ця невідповідність свідчить про нелокальність розглянутого Бреггівського розсіяння – як у просторі, так і в часі. Адже при умові (19) довжина елементарної траси розсіяння червоного світла згідно (11) перевищує 10^7 м, а тривалість елементарного процесу розсіяння згідно (12) перевищує десяті долі секунди.

Розглянутий фізичний механізм дозволяє запропонувати пряму альтернативу не тільки космологічності червоного зміщення, але й гравітаційному лінзуванню та мікролінзуванню за містичною участю темної матерії та темної енергії [7, 8]. В цьому контексті мову слід вести не тільки про гравітаційні, але й про теплові лінзи, утворені теплом зоряних галактичних балджів, дисків та гало,або ж теплом газових мас у космосі. Дифракція світла та радіохвиль на тепловому випромінюванні цілком аналогічна акустооптичній дифракції світла [9, 15] – з утворенням прямого та дифрагованих пучків. Саме такого роду теплооптичні ефекти лежать в основі явищ космічного лінзування, які на-сьогодні штучно відносять на рахунок ”темної” гравітації. Теплооптичне лінзування, на наш погляд, пояснює також додаткове (до гравітаційного) відхилення світла поблизу гарячих зір – у т.ч. поблизу Сонця. Таке відхилення, як відомо, свого часу стало предметом спекуляцій щодо ”підтвердження” [10] загальної теорії відносності Ейнштейна – теорії, що вже століття рухає космологію та астрофізику в бік, протилежний до істини.

Контактно-наведені внутрішні хвилі та каскадний транспорт енергії збурень в технічних та космічних системах

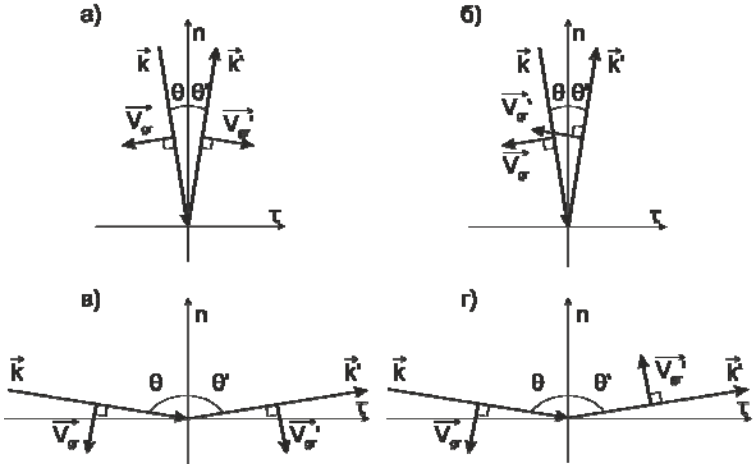


Рис. 2. Схеми поширення контактно-наведених внутрішніх хвиль

В даному пункті продовжимо розпочатий раніше [1] аналіз контактно-наведених внутрішніх хвиль в технічних та космічних системах, вважаючи рух роторів цих систем як поширення таких хвиль. На рис. 2 наведені характерні схеми поширення хвиль по відношенню до дотичної (вісь τ) та нормалі (вісь *n*) до площини контакту. У всіх випадках, як уже зазначалось [1], групова швидкість хвиль $\vec{V}_{gr}$ ортогональна до фазової швидкості та, відповідно, до хвильового вектора $\vec{k}$. Циклічна частота хвилі ω знаходиться з умови [1]:

$$\omega^2 = N^2 \cdot \sin^2\theta\,, \tag{20}$$

де кут між $\vec{k}$ та нормаллю (рис. 2), N – циклічна частота нормальних контактних коливань, або ж частота накачки. Випадки малих кутів θ (рис. 2*а*, *б*) відповідають низькочастотним хвилям та оберненому енергетичному каскаду [1], випадки $\theta \le \pi/2$ – високочастотним хвилям та прямому каскаду (рис. 2*в*, *г*). Крім вказаних на рис. 2, існує ще чотири характерних схеми поширення хвиль, що відрізняються від вказаних напрямом $\vec{V}_{gr}$ – на протилежний. Схеми рис. 2*а*,в відповідають найбільш динамічно навантаженому імпульсному режиму руху, схеми рис. 2 *б*, *г* – менш навантаженому квазігармонічному (в часі) режиму. В імпульсному режимі, характерному, зокрема для генерації сонячного магнітного поля [1], ротор періодично втрачає рівноважний характер руху, генеруючи хвильові збурення в оболонці. Цей вид руху може бути прикладом часової переміжності турбулентного та ламінарного режимів.

На рис. 3 наведені технічні приклади акустичних спектрів, де явно виділяється розділення на низькочастотні та високочастотні хвильові кластери. На відміну від рис. 3*а*, на рис. 3*б* значно підсилені дискретні (когерентні) компоненти на фоні хаотичних – особливо у низькочастотній області. Їх поява пов’язана з хвилеводними ефектами в динамічній системі. В першій частині роботи [11] на основі гідродинамічної моделі внутрішніх хвиль отримані наступні дисперсійні співвідношення:

$$\xi_n \cdot H \cdot \left[\left(N/\omega_n \right)^2 - 1 \right]^{1/2} = \left(n - 1/2 \right) \cdot \pi\,, \quad n = 1, 2, 3\ldots \tag{21}$$

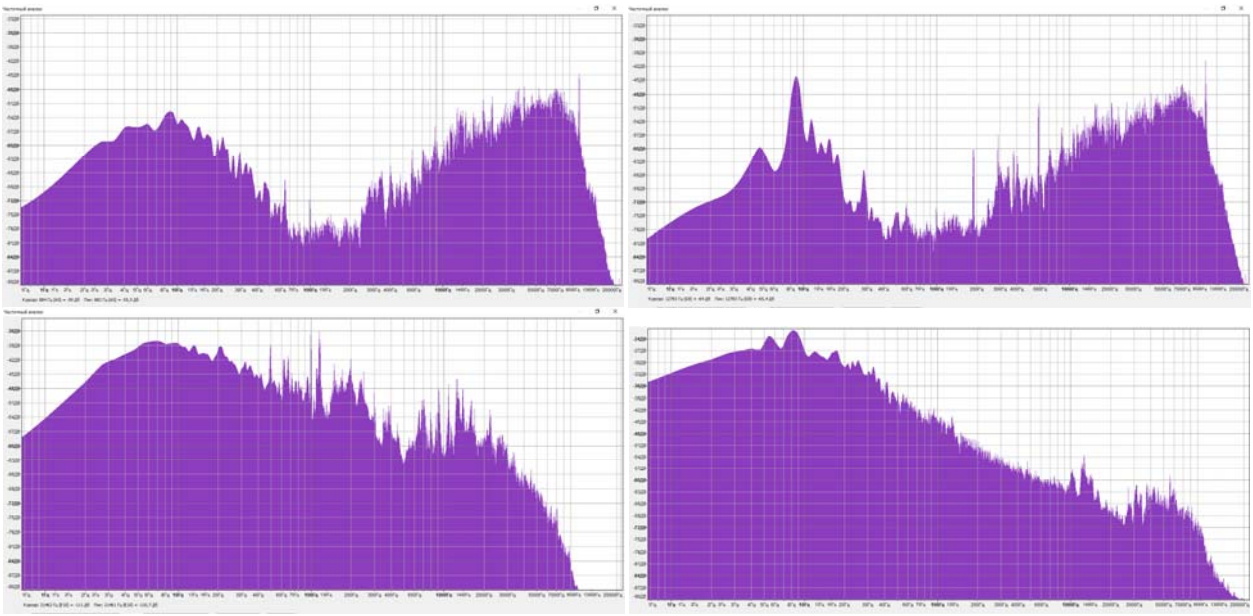


Рис. 3. Спектри Фур'є акустичної емісії, що супроводжує роботу електромеханічної шліфувальної машини в двох режимах холостого ходу (вгорі) та спектри Фур'є акустичної емісії, що супроводжує роботу електромеханічного бетонозмішувача в режимі холостого ходу (зліва внизу) та роботу автомобіля ЗАЗ-1102-"Таврія" в ненормативному режимі з перебоями в системі запалювання (справа внизу)

$$\xi_m \cdot H \cdot \left[\left(N / \omega_m \right)^2 - 1 \right]^{1/2} = m \cdot \pi , \quad m = 1, 2, 3\ldots \tag{22}$$

Тут $\xi_{n,}\xi_m$ – хвильові числа в напрямі осі τ для n - та m – мод, H – товщина еквівалентного шару рідини. Використовуючи умову для кільцевого хвильового резонатора радіусом R

$$\xi_{n,i} = i / 2R , \ \xi_{m,i} = i / 2R , \ i = 1, 2, 3\ldots \tag{23}$$

з (21)-(22) отримуємо вирази для відношень частоти накачки до частоти хвилі:

$$N / \omega_{n,i} = \left(1 + \left[\left(2n - 1 \right) \cdot \pi R / \left(i \cdot H \right) \right]^2 \right)^{1/2}, \tag{24}$$

$$N / \omega_{m,i} = \left(1 + \left[2m \cdot \pi R / \left(i \cdot H \right) \right]^2 \right)^{1/2}. \tag{25}$$

При умові $R / N \ll 1$ ці відношення близькі до одиниці. У випадку $R = H$, i = 1, 2 вирази (24)-(25) значно спрощуються:

$$N / \omega_{n,i} \approx \left(2n - 1 \right) \pi / i ; \quad n = 1, 2, 3\ldots \tag{26}$$

$$N / \omega_{m,i} \approx 2m \cdot \pi / i ; \quad m = 1, 2, 3\ldots \tag{27}$$

Вирази (24)–(27) дозволяють ідентифікувати процеси переносу енергії в спектрах – від частоти накачки до частоти хвилі і в зворотному напрямі. Зокрема, в спектрі рис 3 *б* присутні компоненти на низьких частотах , що відповідають значенням n = 1, та m = 1 у виразах (26)-(27).

У випадку складних різномасштабних технічних систем (з ієрархією контактів) формуються виражені обернені енергетичні каскади з рядом максимумів – рис. 3 в,г. Для простіших систем (рис. 3а,б) характерне накопичення енергії на двох основних масштабних рівнях – низькочастотному та високочастотному, розділених вельми глибокою "спектральною долиною".

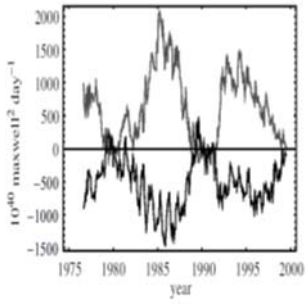


Рис. 4. Періодограма транспорту магнітної спіральності в атмосфері Сонця [34]

Повертаючись у цьому контексті до сонячних циклів активності [1], слід уточнити, що

квазістолітній цикл (102,6 років) з високого точністю відповідає співвідношенню (26) при $n = 2$, $i = 1$, якщо за N взяти ”середньозважену” частоту квазіодинадцятирічного циклу, яка відповідає періоду 10,85 років [1]. Таким чином, як уже відзначалось [1], ці два основні цикли сонячної активності є виразом оберненого енергетичного каскаду внутрішніх хвиль, згенерованих механізмом контактного динамо в ядрі Сонця. Додатковий вельми помітний [11] у спектрах Сонячної активності квазіпівстолітній цикл відповідає значенню $i = 2$ у виразі (26). Короткоперіодний (T~1,1 років) цикл Сонячної активності,що добре проявлений,наприклад,на періодограмах транспорту магнітної спіральності (рис. 4), відповідає значенням $n = 2$, $i = 1$ у виразі (26) – як період накачки основного квазіодинадцятирічного циклу.

Контактна природа магнетизму Землі

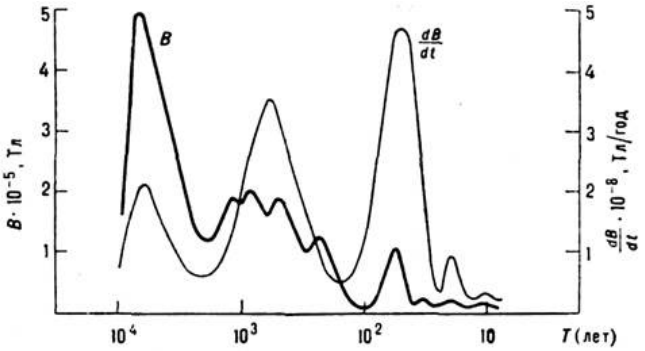


Рис. 5. Спектр часових варіацій геомагнітного поля [15]

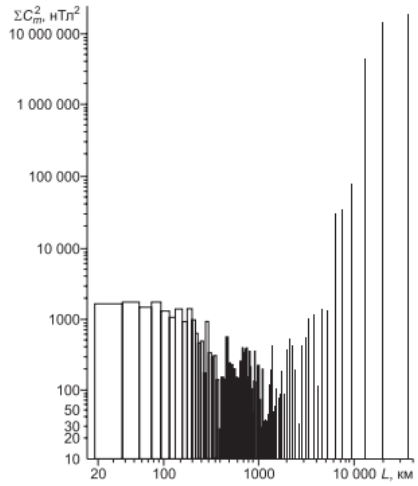


Рис. 6. Спектральна густина модуля повного вектора геомагнітного поля вздовж кругового профілю [12, 13]

На рис. 5, 6 наведені відомі спектри геомагнітного поля у часовому та просторовому вимірах, на яких чітко проступають вищеописані деталі та особливості контактно-наведених внутрішніх хвиль. Дискретні компоненти оберненого енергетичного каскаду найкраще проявлені на періодограмах – рис. 5, в той час, як на рис. 6 найхарактернішою особливістю виступає згадана вже ”спектральна долина”. Ці деталі не залишають сумнівів у контактній природі геомагнітного поля, заперечуючи розтиражовану десятиліттями ідею гідромагнітного динамо як джерела магнетизму Землі. Такий висновок корелює з розрахунковими результатами роботи [12] щодо положень уявних геомагнітних диполей у т.ч. у мантії Землі, що аж ніяк не вписується в ідею гідромагнітного динамо. Останні експериментально-розрахункові дані [14] щодо високої в'язкості рідкого ядра Землі теж заперечують цю ідею. Наявність вельми сильних недипольних компонент геомагнітного поля (рис. 7,8) свідчить про те, що таке поле генерується не тільки в контактах внутрішнього твердого ядра Землі, але й на границі рідке ядро-мантія та на границі астеносфера-літосфера. Зміна широтного розташування крупномасштабних варіацій геомагнітного поля за декілька століть (рис. 7) підтверджує відомий західний дрейф недипольних компонент поля у екваторіальній області із середньою швидкістю близько 0,2 градуси на рік [15].

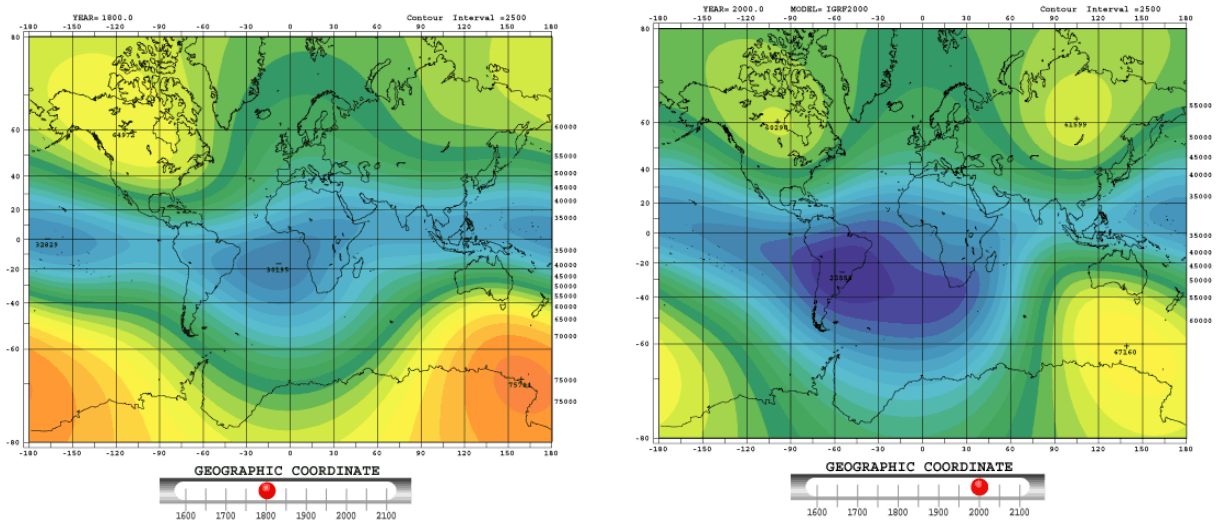


Рис. 7. Зміна карти крупномасштабних варіацій геомагнітного поля за останні 200 років: а – 1800-й рік, б – 2000-й рік [32]

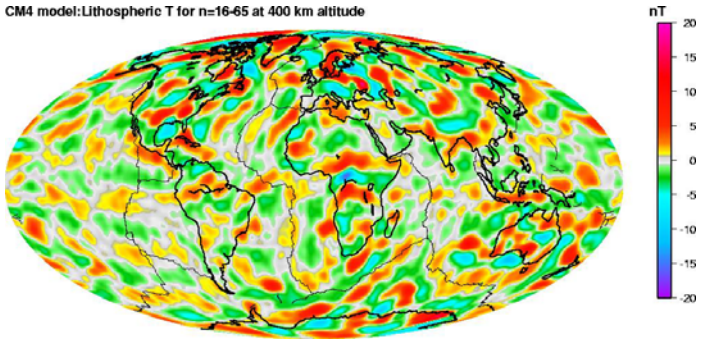


Рис. 8. Карта глобального розподілу дрібномасштабних варіацій геомагнітного поля [33]

В той же час, як видно, у середніх та полярних широтах такий дрейф чітко не виражений, що свідчить про диференційний характер контактного проковзування на границі рідке ядро-мантія, де, судячи з усього, й генеруються крупномасштабні недипольні складові геомагнітного поля. В свою чергу, диференційне проковзування у згаданому контакті обумовлене як дією сил інерції, так і деформаціями (полярним стисненням) форми геоїда.

Контактна геодинаміка та глибинна плюм-тектоніка

Досягнення геосейсмології підтверджують глибинний характер динамічних процесів планетарного масштабу. Зокрема, просторовий розподіл аномалій поширення сейсмічних хвиль на границі твердого та рідкого ядер Землі повністю дублює такий розподіл у мантії та корелює з положенням сучасних континентів на поверхні Землі [16] – рис. 9, 10. Таким чином, висхідні розплавлені потоки у мантії (плюми) мають не конвективну, як це на-сьогодні вважається [17–21], а хвильову контактно-наведену природу. Як відомо [22], тверде ядро Землі у своєму обертанні випереджає оболонку приблизно на 1 градус на рік, що відповідає відносній швидкості контактного проковзування порядку міліметра за секунду. На наш погляд, саме контактно-активовані переходи металізованого водню в діелектричний стан на етапах релаксації контактного тиску забезпечують це відносне обертання, що супроводжується генерацією глобальних внутрішніх хвиль. Інтерференція цих хвиль у сфероїдному резонаторі тіла Землі, в свою чергу, й обумовлює утворення плюмів та циклічний (з основним періодом порядку мільярда років) рух континентів на планеті. Наявний дрейф літосферних плит по астеносфері із вкрай малою швидкістю порядку декількох сантиметрів на рік [19], таким чином, виступає прямим проявом оберненого енергетичного каскаду контактно-наведених внутрішніх хвиль – аналогічно до дрейфу фотосфери Сонця щодо конвективної зони [1]. Останній, однак, відбувається із значно вищою швидкістю – порядку десятків метрів за секунду, що цілком зрозуміло з огляду на незрівнянно меншу в'язкість сонячного контактного шару відносно земного.

Просторова анізотропія глибинних процесів у тілі Землі (рис. 9, 10) вельми характерна для контактного динамо. На рис. 11 для порівняння наведені візуалізації контактно-наведених прецесійних рухів корпусу електромеханічної шліфувальної машини, отримані шляхом відеозйомки траєкторії руху зайчика лазерного випромінювання, відбитого від дзеркальця на корпусі. Як видно, спостерігається чітко виражена просторова анізотропія руху – як у нормативному режимі роботи, так і в резонансних режимах при зупинці ротора.

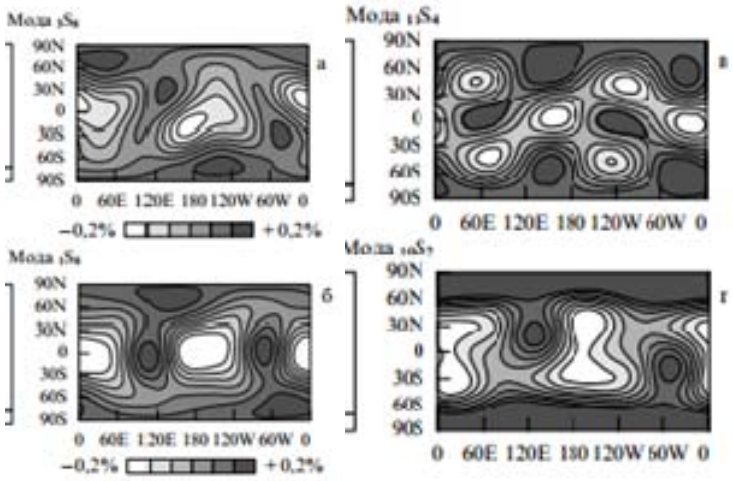


Рис. 9. Функції розщеплення для різних мод власних коливань Землі залежно від географічних координат, записані для мантії (а, б), зовнішнього ядра (в) та внутрішнього ядра (г) [16]

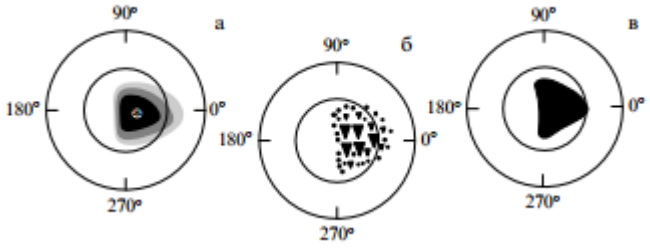


Рис. 10. Латеральна анізотропія швидкостей сейсмічних хвиль у внутрішньому ядрі Землі (вид зі сторони Північної півкулі) (а), циліндрична анізотропія швидкостей сейсмічних хвиль у внутрішньому ядрі (вид з того ж боку) (б), розташування материків на поверхні Землі (той же вил) (в) [16]

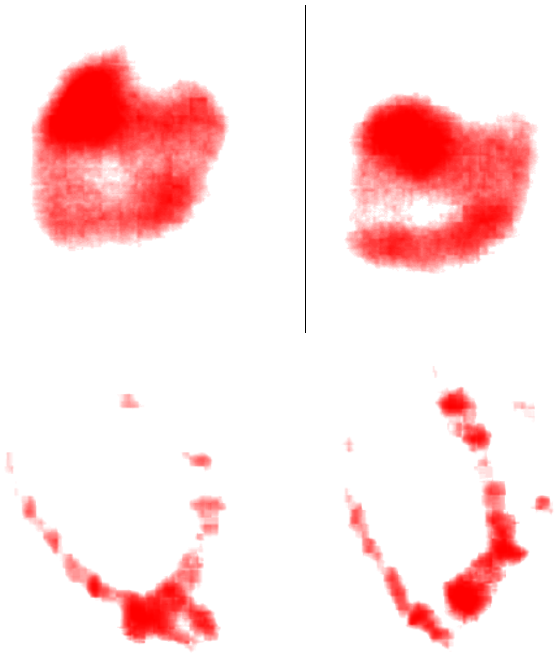


Рис. 11. Візуалізації кутової анізотропії прецесійного руху корпусу електромеханічної шліфувальної машини в режимі холостого ходу (зліва) та в резонансному режимі в процесі зупинки ротора (справа)

Хвильове перенесення метастабільного водню з ядра в мантію Землі як фактор формування теплового поля планети, абіогенного синтезу вуглеводнів та утворення гідросфери Землі

Суттєвий вміст метастабільного металізованого водню в твердому та рідкому ядрах Землі демонстративно ігнорується пануючими на-сьогодні акреційними теоріями (Шмідта-Сафронова) утворення планет [23, 24], незважаючи на помітний дефіцит густини ядер в рамках тих же теорій: 3-4% у внутрішньому ядрі та ~5% у зовнішньому [24]. Ілюзорне ”вигнання” водню з матеріалу Землі в процесі акреції планети, що постулюється у згаданих моделях [23, 24], не має нічого спільного з реальністю. Навпаки, хвильовий транспорт наявного метастабільного елементу номер один з ядра Землі у мантію виступав на етапах еволюції планети ,і виступає на сучасному етапі, як головний чинник глобальних геодинамічних і термохімічних процесів. Варіації теплового поля Землі (рис. 12), що подібні за походженням до варіацій геомагнітного поля (рис. 7, 8), з нашого погляду, формуються не термічною, або ж термохімічною конвекцією, як це на-сьогодні вважається [17–21], а екзотермічними переходами водню з метастабільного металізованого стану у більш рівноважний діелектричний стан. Саме ці переходи, по суті, формують астеносферу Землі та чисельні лінзовидні структури у мантії, що містять розмягчений матеріал підвищеної температури та пониженої в’язкості. Рекордне питоме енерговиділення вказаних переходів водню [11] генерує як плюми, суперплюми, так і весь сучасний вулканізм Землі, що не відомо авторам існуючих теорій цих процесів [17–21], які обмежуються у своїх схемах границею ядро-мантія. В дійсності, декларована ними глибинна геодинаміка є ”більш глибинною” і зароджується, як уже відмічалось, не тільки на границі твердого та рідкого ядер Землі, але й на відкритому нещодавно внутрішньому контактному розриві твердого ядра [25]. Слід, однак, зауважити, що глобальні варіації теплового поля планети і глобальні варіації геомагнітного поля формуються цілком різними модами контактно-наведених внутрішніх хвиль. Це випливає із неспівставності відповідних часових масштабів: якщо найвиразніший період варіацій геомагнітного поля складає близько восьми тисяч (рис. 5), то, як уже відзначалось, рух континентів йде з періодом близько мільярда років. Такого роду процеси скорельовані в часі з рухом зоряної речовини у диску

Галактики [2].

Перенесення метастабільного водню з надр Землі у мантію контактно-наведеними внутрішніми хвилями зіграло (з нашого погляду) вирішальну роль в абіогенному синтезі вуглеводнів в глибинах Землі, адже воно супроводжується не тільки доставкою необхідного матеріалу для синтезу нафти та природного газу, але й внутрішньої енергії фазових переходів водню. Такий механізм суттєво підкріплює позиції сучасних прихильників теорій абіогенного синтезу вуглеводнів та гарячої глибинної біосфери [26–28] в їх полеміці з опонентами, що визнають лише біологічний синтез нафти та газу на поверхні Землі.

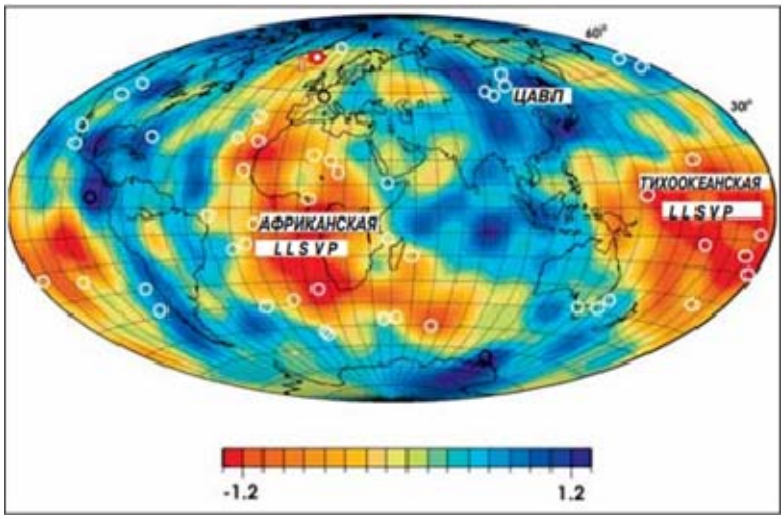


Рис. 12. Глобальні варіації теплового поля Землі, проявлені у змінах фазової швидкості сейсмічних хвиль (у відсотках): жовто-червоний колір відповідає зонам підвищеного тепловиділення, синьо-фіолетовий – пониженого [19]

Не менш принциповою є також роль хвильового перенесення метастабільного водню з надр на поверхню Землі у формуванні атмосфери та гідросфери планети на ранніх етапах її еволюції. Як відомо [29], первинна атмосфера Землі складалась переважно із водню і була дуже гарячою (~100 $^{\circ}$C) та щільною. Значна частина цього тепла, на наш погляд, походила саме із фазових переходів метастабільного водню. Взаємодія останнього з киснем силікатних порід мантії, очевидно, і сформувала вже на ранніх стадіях еволюції планети наявну гідросферу. Як не дивно, цей ”простий” механізм не спадає на думку теоретикам космічного походження гідросфери Землі, які шукають весь гігантський запас води … у метеоритах, що падали на планету.

Контактне походження ядер хімічних елементів та космічних частинок надвисоких енергій

На завершення цього розгляду звернемось до проблем походження ядер хімічних елементів та генерації космічних частинок надвисоких енергій, які на-сьогодні не вирішені [15, 30, 31]. На рис. 13 наведена масова спектрограма поширеності нуклідів у Сонячній системі, яка ,з нашого погляду, аналогічна високочастотному кластеру контактно-наведених внутрішніх хвиль у технічних системах, що розглядались раніше [1], та показані на рис. 3а,б. Спектрограма рис. 13 відповідає схемам генерації внутрішніх хвиль, наведеним на рис. 2 *в*, *г*. В такому випадку швидкість хвиль майже ортогональна до поверхні контакту, і ядра хімічних елементів по-суті є продуктами зношування контактних шарів речовини, стиснутої а активних ядрах галактик. Ці продукти викидаються назовні релятивістськими струменями (джетами) Максимум зношування, як видно, припадає на найпоширеніше у Космосі ядро атома водню – протон. Релятивістські та ультрарелятивістські протони становлять також більшу частину космічних променів [15]. Оскільки активні ядра галактик, де формуються останні, являють собою складну багатошарову конструкцію, то спектри космічних променів мають декілька характерних максимумів, розділених тими ж-таки ”спектральними долинами” (рис. 14), аналогічно до спектрів різномасштабних технічних систем (рис. 3). Речовина в контактних шарах активних ядер галактик знаходиться у екстремальному метастабільному стані, з надлишком внутрішньої енергії, запасеної на початковій стадії гравітаційного колапсу. Колосальне енерговиділення при переході цієї речовини з метастабільного стану в більш рівноважний на етапах релаксації контактного тиску, як уже зазначалось, генерує потоки ядер хімічних елементів та космічні промені надвисоких енергій.

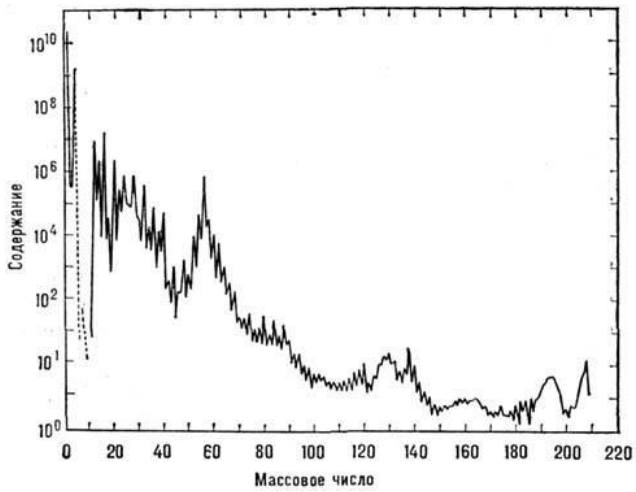


Рис. 13. Масова спектрограма поширеності нуклідів у Сонячній системі [15]

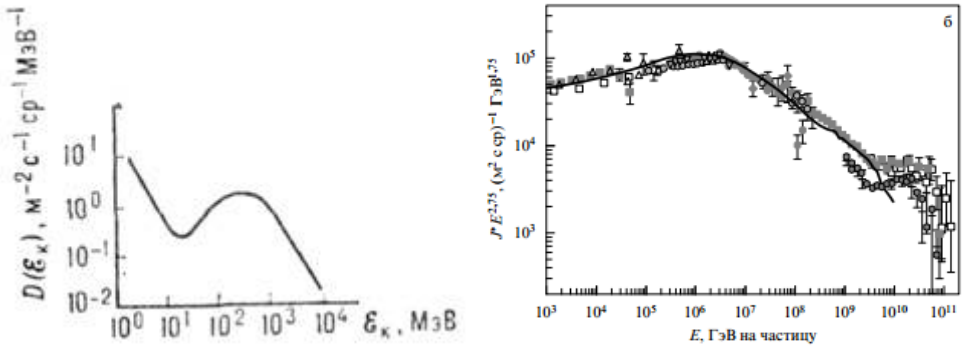


Рис. 14. Спектри космічних променів середніх (зліва) [15], а також високих і надвисоких (справа) [31] енергій

Література

1. Заспа Ю.П. Контактне динамо як генератор когерентних космічних форм руху та джерело планетарної, сонячної, галактичної і метагалактичної енергії та магнетизму. Частина V / Ю.П. Заспа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 5(241). – С. 198–208.

2. Заспа Ю.П. Контактне динамо як генератор когерентних космічних форм руху та джерело планетарного, сонячноого, галактичноого і метагалактичноого магнетизму. Частина II / Ю.П. Заспа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 2 (235). – С. 36–52.

3. Ландау Л.Д. Теория поля / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М. : Наука, 1988. – 512 с.

4. Перлмуттер С. Измерение ускорения космического расширения по сверхновым : Нобелевская лекция (Стокгольм, 8 декабря 2011) / С. Перлмуттер // УФН. – 2013. – 183, № 10. – С. 1060–1077.

5. Савельев И.В. Курс общей физики. Том 3 / Савельев И.В. – М. : Наука, 1979. – 304 с.

6. Берестецкий В.Б. Квантовая электродинамика / Берестецкий В.Б., Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. –М. : Наука, 1989. – 728 с.

7. Гуревич А.В. Мелкомасштабная структура темной материи и микролинзирование / А.В. Гуревич, К.П. Зыбин, В.А. Сирота // УФН. – 1997. – Т. 167, № 9. – С. 913–943.

8. Захаров А.Ф. Гравитационное микролинзирование / А.Ф. Захаров, М.В. Сажин // УФН. – 1998. – Т. 168, № 10. – С. 1041–1082.

9. Ультразвук. Маленькая энциклопедия / под ред. И.П. Голяминой. – М. : Сов. энциклопедия, 1979. –400 с.

10. Турышев В.Г. Экспериментальные проверки общей теории относительности: недавние успехи и будущие направления исследований / В.Г. Турышев // УФН. – 2009. – Т. 179, № 1. – С. 3–34.

11. Заспа Ю.П. Контактне динамо як генератор когерентних космічних форм руху та джерело планетарного, сонячного і галактичного магнетизму / Ю.П. Заспа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2015, № 5 (229). – С. 106–118.

12. Ладынин А.В. Дипольные источники главного геомагнитного поля / А.В. Ладынин // Геология и геофизика. – 2014. –Т. 55, № 4. – С. 634–649.

13. Alldreddge L.R. A magnetic profile around the world / L.R. Alldreddge, G.van Voorhis, T.M. Davis // J. Geophys. Res. – 1963. – V. 68. – P. 3679–3692.

14. Смайли Д.Е. Прямые наблюдения вязкости внешнего ядра Земли и экстраполяция измерений вязкости жидкого железа / Д.Е. Смайли, В.В. Бражкин, А. Палмер // УФН. – 2009. – Т. 179, № 1. – С. 91–105.

15. Физическая энциклопедия : в 5 т. / под ред. А.М. Прохорова. – М. : Большая росс. энциклопедия,

1999. – 760 с.

16. Кузнецов В.В. Анизотропия свойств внутреннего ядра Земли / В.В. Кузнецов // УФН. – 1997. – Т. 167, № 9. – С. 1001–1012.

17. Хаин В.Е. Современная геология: проблемы и перспективы / В.Е. Хаин // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 1. – С. 26–32.

18. Коваленко В.И. Новейший вулканизм и его связь с процессами межплитного литосферного взаимодействия и глубинной геодинамикой / В.И. Коваленко, В.В. Ярмолюк, О.А. Богатиков // Геология и геофизика. – 2010. – Т. 51, № 9. – С. 1204–1221.

19. Кузьмин М. Глубинная геодинамика – основной механизм развития Земли / М. Кузьмин, В. Ярмолюк, В. Кравчинский // Наука в России. – 2013. – № 6 (198). – С. 10–19.

20. Maruyama S. Superplume, supercontinent and postperovskite: mantle dynamics and anti-plate tectonics on the core-mantle boundary / S. Maruyama, M. Santosh, D. Zhao // Gondwana Res. – 2007. – V. 11. – P. 7–37.

21. Li Z.-X. Supercontinent-superplume coupling, true polar wander and plume mobility: plate dominance in whole-mantle tectonics / Z.-X. Li, S. Zhong // Phys. Earth Planet. Inter. – 2009. – V. 176. – P. 143–156.

22. Song X. Seismological evidence for differential rotation of the Earth's inner core / X. Song, P.G. Richards // Narure. – 1996.V.382.–P.221–224

23. Резанов И.А. История космогонической гипотезы О.Ю. Шмидта / И.А. Резанов // Вопросы истории естествознания и техники.–2002, №4, С. 1–20

24. Хазан Я.М. Не тратьте времени на ознакомление с чужими ошибками /Я.М. Хазан // Географический журнал–2009.–Т.31, №6.–С. 164–166

25. Wang T. Equatorial anisotropy in the inner part of Earth's inner core from autocorrelation of earthquake coda / T.Wang, X. Song, H.H. Xia // Nature Geoscience.–2015.–V.8.–P.224–227

26. Glasby G.P. Abiogenic Origin of Hydrocarbons: An Historical Overview / G.P. Slasby // Resourse Geology.–2006.–V.56, №1.–P.85–98

27. Sephton M.A. On the Origins of Deep Hydrocarbons / M.A. Sephton,R.M. Hazen // Rev. in Mineralogy and Geochemistry.–2013/–V.75.–P.449–465

28. Кучеров В.Г. Генезис углеводородов и образование залежей нефти и природного газа / В.Г. Кучеров // Научн.–техн. сб. Вести газовой науки.–2013, №1(12).С.86–91

29. Кузнецов В.В. Введение в физику горячей Земли.–Камчатка: ИКИР, 2008.–360 с.

30. Франк-Каменецкий Д.А. Происхождение химических элементов / Д.А. Франк-Каменецкий // УФН.–1959.Т.LXVIII, №3.–С.529–556

31. Птускин В.С. Происхождение космических лучей / В.С. Птускин // УФН.–2010.–Т.180, №9.–С.1000–1004

32. Animation of secular variation in geomagnetic total intensity for the last 400 years [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/igrf/anime/index.html

33. Satellite Magnetic Models [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://core2.gsfc.nasa.gov/terr_mag/sat_models.html

34. Berger M.A. Topological methods in astrophysics/M.A.Berger // Phil.Trans.R.Soc.Lond.A.–2001.–V.359.–P.1439–1448

Рецензія/Peer review : 6.9.2014 р. Надрукована/Printed :20.2.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Диха О.В.

УДК 620.92: 62-527.7

В.М. ДАНКО, С.В. СМУТКО, О.С. ПОЛІЩУК
Хмельницький національний університет

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТРЕКЕРНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

В роботі запропоновано розробку конструкції трекерної системи для сонячних панелей. Конструкція трекера є одновісною з можливістю ручного регулювання кута по зеніту. Положення сонячних панелей по азимуту забезпечуються автоматичною системою наведення на Сонце.

Ключеві слова: сонячні панелі, трекер.

V.M. DANKO, S.V. SMUTKO, O.S. POLISCHUCK
Khmelnytsky National University

DEVELOPMENT OF CONSTRUCTION OF THE TRACKING SYSTEM FOR SOLAR PANELS

In the article we discuss the creation of the design of the tracking system for solar panels. It was established that for more efficient solar energy conversion requires that the angle of the sun's rays have to be perpendicular to the surface of the solar panels. In the article it was established that one of the methods that allows to direct the solar panel in sunlight, is the construction of the following tracking system. Wes proposed the construction of the tracking system for solar panels. The construction of tracker is monoaxial with manual angle adjustment on the zenith. The provisions of the solar panel in azimuth provided by the automatic guidance system at the sun. For the proposed construction had been done kinematic synthesis and the calculation of the zenith angles and selected the optimal angles for manual regulation of provisions of the seasonally systems.

Keywords: solar panel, tracker.

Одним із перспективних напрямів відновлювальних джерел енергії, що в останні роки дуже активно впроваджуються в світову промисловість і побут, є сонячна енергетика [1–3]. Завдяки «зеленим» технологіям сонячні енергетичні системи і пристрої дозволяють здійснювати ефективний виробіток електричної і теплової енергії, завдяки природнім, практично невичерпним можливостям світлового випромінювання Сонця із найменшим впливом на екологічний стан довкілля. Майже всі прогресивні країни світу приймають програми скорочення ядерних потужностей і віддають перевагу альтернативним джерелам енергії [2].

Зазвичай схема сонячної станції на базі фотоелектричних перетворювачів включає: модулі сонячних панелей; контролер заряду акумуляторних батарей; інвертор; лічильник електричної потужності та споживачів.

Існує два основних види систем кріплення сонячних панелей: статична і динамічна.

Статична система характерна тим, що орієнтацію модулів і кут нахилу по відношенню до Сонця не можна змінити. Логічно, що сонячні модулі повинні бути максимально висвітлені в світлий час доби, тому вони повинні бути орієнтовані на південь. Якщо з якоїсь причини такої можливості немає, то сонячні панелі можна встановити на південно-західний або південно-східний напрямки. Також на продуктивність сонячних панелей впливає кут нахилу, який встановлюється в залежності від місцевості розташування сонячної електростанції. Для України оптимальним вважається кут в 20–40°.

Що стосується динамічних систем кріплення, тут назва говорить сама за себе. Таку систему ще називають трекером, що з англійської перекладається як «пристрій стеження». Принцип роботи трекерної системи простий – вона прямує за Сонцем, що дозволяє значно підвищити ККД установки [4].

Вибір типу трекера залежить від багатьох факторів, включаючи розмір установки, електричних параметрів, земельних обмежень, широти і місцевих погодних умов. Існує два їх різновиди: одновісні і двовісні.

Трекери з однією віссю обертання — одновісні трекери мають одну ступінь свободи, яка виступає в якості осі обертання. Вісь обертання одновісного трекера, як правило, орієнтована уздовж осі північ-південь. Цілком можлива, орієнтація їх у будь-яких координатних напрямках з використанням алгоритмів стеження.

Трекери з двома осями обертання мають два ступеня свободи, які виступають в якості осей обертання. Ці осі, як правило не пов'язані одна з одною, але працюють разом. Вісь, яка фіксується по відношенню до землі може розглядатися як основна вісь. Іншу вісь можна розглядати як вторинну. Такі трекери, як правило, мають модулі орієнтовані паралельно вторинної осі обертання. Вони дозволяють прийняти оптимальну кількість сонячної енергії за рахунок їх здатності слідкувати за Сонцем вертикально і горизонтально.

Підсумовуючи переваги сонячних трекерів, прийнято рішення спроектувати слідкуючу трекерну систему, яка б дала змогу суттєво підвищити продуктивність сонячних панелей наявних на кафедрі машин та апаратів Хмельницького національного університету.

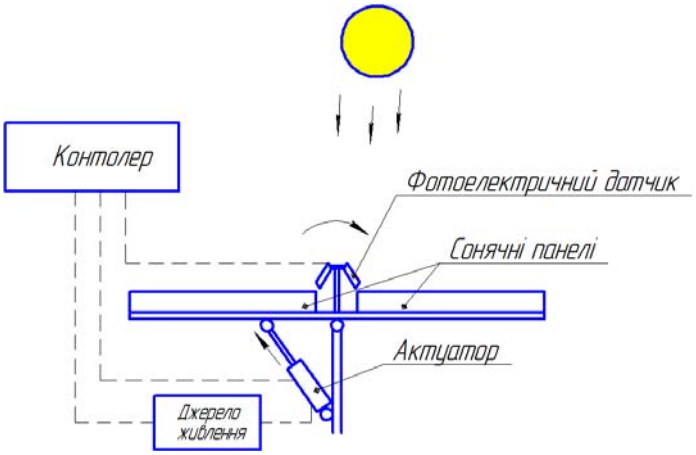


Рис. 1 . Схема конструкції трекерної системи сонячних панелей

Встановлено, що завданням слідкуючої трекерної системи є забезпечення максимальної енергетичної ефективності сонячних панелей, яка досягається при куті падіння сонячних променів 90°.

Отже запропоновано конструкцію трекерної системи сонячних панелей (рис. 1), яка складається з: несучої конструкції трекера; системи орієнтації по азимуту, яка складається із актуатора, датчика освітлення і мікроконтролера для керування процесом орієнтації; інвертора; лічильника потужності.

У системі використано контролер виробника ECO-WORTNY. Плата контролера оснащена детектором погоди, датчиком дня і ночі і регульованого датчика чутливості світла. Точність регулювання $\pm 3^{o}$. Точна орієнтація робочих поверхонь систем на Сонце необхідна для досягнення їх максимальної продуктивності. При цьому завдання трекера – зменшити кут падіння Сонця на робочу поверхню сонячних панелей.

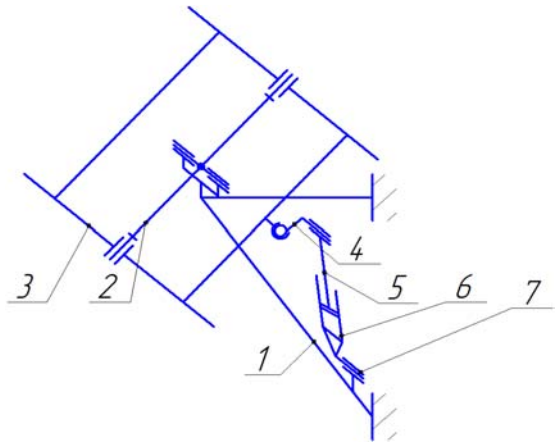
В якості приводу використано актуатор виробника ECO-WORTNY з вбудованими кінцевими вимикачами. Хід актуатора 450 мм при довжині актуатора у початковому положенні 600 мм.

Механізм трекера повинен мати ряд робочих функцій, які на нього накладають. Серед них завдання окремих положень ланок і відтворення заданої траєкторії. В графоаналітичному дослідженні вважаємо, що всі ланки є абсолютно твердими тілами, а зв'язки між ними ідеальні.

Для розв'язання задачі розроблено кінематичну схему механізму (рис. 2, 3), для якої необхідно встановити розміри всіх ланок і закон руху початкової ланки.

У проектуванні механізму ми відштовхуємося від геометричних параметрів обраного приводу, який зарекомендував себе у подібних системах як надійний, простий і легкокерований.

Приймаємо наступні вихідні дані: $AC = 320$ мм – приймаємо конструктивно; $OD_{\max} = 1050$ мм – міжосьова відстань між кріпильними отворами актуатора при повному вильоту штока; $OD_{\min} = 600$ мм – міжосьова відстань між кріпильними отворами актуатора в ближньому положенні; $S = 450$ мм – робочий хід актуатора; $e = 100$ мм – розмір вильоту кронштейна, на якому кріпиться актуатор (прийнято конструктивно для уникнення перехрещення деталей під час руху актуатора).



1 – рама з підкосом; 2 – вісь трекера; 4 – поворотний стіл; 5 – шток привода; 6 – корпус привода; 7 – шарнір

Рис. 2. Кінематична схема трекера

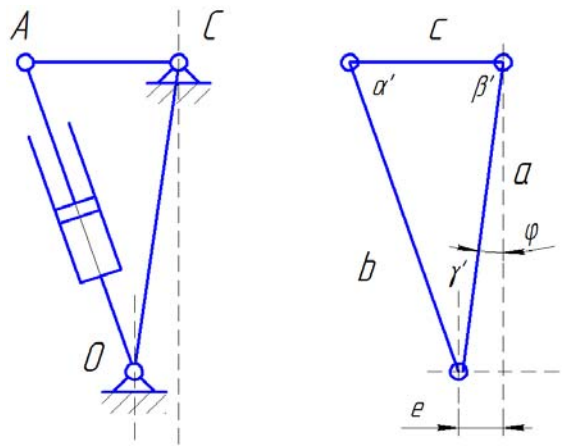


Рис. 3. Кінематична схема виконавчого механізму

Так як розміри всіх ланок нам відомі, треба знайти точку нерухомого центру O, який повинен бути зміщений від основної осі на 100 мм, що унеможливлює перетинання рухів актуатора із іншими елементами конструкції. За початкове положення приймаємо таке, в якому ланка AC буде зміщена від горизонтальної осі

на 30° у зв'язку із особливостями місця розташування трекера. Адже стіна будинку, на якому буде розташована трекерна система, не точно повернута на південь а має зміщення у південно-західному напрямку на 30° . В цьому положенні камінь куліси повинен знаходитися рівно в половині свого робочого ходу. Спочатку будуємо промінь під кутом 30° і описуємо дугу діаметром 320 мм засічкою у частині креслення, де буде рухатися механізм. В результаті знаходимо точку *A*. З точки *A* робимо засічку до перетину лінією зміщення e. В місці перетину буде знаходитися центр шарніра з центром в точці *O*. Від отриманого центру проводимо прямі лінії до точок *A* та *O*. Знайдені лінії показують положення ланок механізму у середині робочого ходу. Для знаходження крайніх положень використаємо центр шарніру *O*, від якого робимо дві засічки до дуги центр якої знаходиться в точці *C*. Діаметр засічок дуги вибираємо відповідно до технічної документації актуатора, а саме довжину між кронштейнами актуатора при витягнутому і втягнутому штоці відповідно.

Ланка 1 (рис. 2, 3) здійснює коливальний рух по колу нерухомого центру *O*. Ланка 2 здійснює складний рух. Центр шарніра *A* рухається по колу миттєвого радіуса *OA* і одночасно поступально вздовж ланки 1. Ланка 3 здійснює коливальний рух по колу радіусом *OA* відносно нерухомого центру *C*.

Для кінематичних розрахунків механізму розглянемо трикутник *AOC* (рис. 3). Ця схема зумовлена розташуванням актуатора (приводу) відносно підкоса несучої рами 1 (рис. 2), а також поворотного столу 3.

На рис. 3 для спрощення розрахунків прийнято наступні позначення: $a = OC$, $b = OA$, $c = AC$. При побудові враховуємо, що довжина ланки $b = 600...1050$ мм.

Для знаходження кутів повороту використовуємо теорему косинусів:

$$\cos\alpha' = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \tag{1}$$

$$\alpha' = \arccos\frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \tag{2}$$

аналогічно до нього:

$$\beta' = \arccos\frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac}. \tag{3}$$

При підставленні у формулу (3) значень максимального і мінімального значення *b* (крайні ближні і дальні положення штока актуатора) отримали максимальні відхилення запропонованої конструкції по азимуту. Різниця цих кутів показала загальний кут повороту сонячного трекера.

Рухома частина трекера може змінювати своє положення за допомогою ручного приводу, або за допомогою 1–2-х актуаторів – виконавчих пристроїв, виконаних на електродвигунах.

Такої орієнтації можна домогтися декількома способами:

У першому випадку пристрій управління актуаторами за допомогою декількох фотоприймачів аналізує освітленість при різних положеннях трекера і передає керуючі сигнали на актуатори до моменту, коли потік світла на всіх фотоелементах буде однаковий. Розбалансування системи через рух сонця дасть імпульс для активації нового переміщення, у напрямку до Сонця. Принципові схеми таких пристроїв нескладні і недорогі. Але у них є один істотний недолік: у похмуру погоду, при опадах і забрудненні фотоприймачів система непрацездатна.

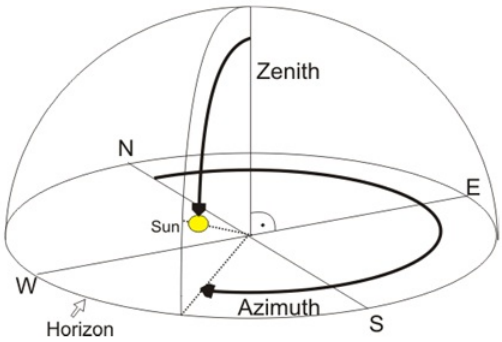


Рис. 4. Орієнтація сонячних трекерів

Переорієнтувати систему можна вручну, або, керуючи актуаторами, подаючи сигнали за допомогою перемикачів. Але такий спосіб прийнятний в основному для сезонної орієнтації трекерів, коли на якийсь період часу виставляється відповідний кут нахилу, на рис. 4 [4] даний кут позначений як Zenith – зенітний кут нахилу Сонця. Точність орієнтації при цьому невелика, постійно оператор не може перебувати у трекера, тому даний спосіб поширений мало, але для сезонної орієнтації малобюджетних систем він цілком підходить.

Управління рухом трекера по азимутальних і зенітних кутах можливо пристроєм управління, до складу якого входить таймер. При цьому актуатори починають свою роботу за добовою програмою таймера (при необхідності, і за річною програмою). Точність орієнтації при цьому невелика, так як сонце протягом

року постійно змінює час, місце сходу і заходу, зенітний кут.

Найбільш ефективним є спосіб управління актуаторами за програмою SPA (Алгоритм Сонячної Позиції) [4], яка в певні інтервали часу розраховує місце розташування Сонця. За внутрішнім годинником пристрою програма видаватиме на блок управління інформацію про значення азимутального (Azimuth) і зенітного (Zenith) кутів (рис. 4), з урахуванням місця розташування трекера (широта, довгота, висота над рівнем моря), після чого виконавчим пристроєм проводиться відповідна переорієнтація трекера в розрахункове положення.

Пристрої управління трекерами можуть бути виконані на захищених комп'ютерах, PLC – програмованих логічних контролерах, або у вигляді окремих закінчених пристроїв, програмованих постачальником при поставці трекера, з прив'язкою до місцевості свого виробу. Група трекерів може управлятися одним комп'ютером, що знижує собівартість електростанції.

Ефективність вироблення електроенергії фотоелектричних перетворювачів змінюється зі зміною косинуса кута неузгодженості панелі з сонцем. Невеликі неузгодженості можуть бути допустимими внаслідок незначного зниження ефективності (менше 1% до 8° градусів і менше 10% до 25 ^{o}), але з подальшим зростанням кута неузгодженості (більше 30°), починає втрачатися вже досить значний відсоток потужності. Кут неузгодження буде зменшуватись до мінімального за допомогою автоматичної системи наведення.

Технічні можливості запропонованої конструкції трекера дозволяють провертати панелі на максимальний кут в площині азимута. Проте зенітний кут буде регулюватися вручну за допомогою тяги. Для цього на рамі передбачено нанести градуювання, яке за мітками дозволить виставляти сезонні положення. Це суттєво здешевить і спростить конструкцію, що в свою чергу зменшить строк окупності установки без суттєвих втрат ККД. Адже основною проблемою для сонячних панелей є значний термін окупності, а додатковий актуатор, крім того, буде споживати частину виробленої електроенергії.

Вихідні дані для визначення оптимальних кутів в площині зеніту визначено за допомогою програми Planetcalc [4]. Для цього за допомогою GPS модуля визначаємо координати місця установки трекера: географічна широта визначеної точки – H 49.4066; географічна довгота – E 26.9639

Ввівши координати в програму [4], визначили кути положення сонця по зеніту впродовж року. За крок приймаємо 1 число кожного місяця в році. Оптимальні кути визначались з умови, що при зміщенні кута падіння сонячних променів на 15–20° втрати потужності складають менше 10%.

Отримані кути при виготовленні конструкції необхідно перенести на раму трекерної системи у місці кріплення з регулювальною тягою. Також необхідно буде зробити мітку на кронштейні, який тримає регулювальну тягу. Ця мітка буде індикатором при регулюванні і по ній буде виставлятися необхідний кут.

Отже, в результаті проведеної роботи, розроблено конструкцію одновісного трекер з можливістю ручного регулювання кута по зеніту. Обґрунтуванням ручного регулювання послужила відносна простота конструкції в порівнянні з двовісними системами слідкування. Для запропонованої конструкції виконано розрахунок кутів зеніту і обрані оптимальні кути для ручного регулювання сезонних положень системи. Положення сонячних панелей по азимуту забезпечуються автоматичною системою наведення на Сонце.

Література

1. Michael Forst. Germany's module industry poised for growth. SUN & Wind Energy. Vol. 5. 2011. pp. 256–263.

2. Украина и Россия: обзоры рынка фотовольтаики, август 2011 [Електронний ресурс] / О.Е. Гадалова, С.Г. Симоненко, Б.Л. Эйдельман, В.М. Звероловлев, Д. Лукомский, М. Черевко // Открытый отчет информационно-аналитического агенства Cleandex PV. – Режим доступу : http://www.cleandex.ru/cleanwatch/2011/08/29/Russia and Ukraine photovoltaic market report 2011

3. Сафонов В.А. Разработка комбинированной солнечной установки для автономного потребителя / В.А. Сафонов, В.В. Кувшинов // Відновлювана енергетика. – 2010. – № 4(23). – С. 61–69.

4. Солнечные трекеры [Електронний ресурс] : по материалам компании UST. – Режим доступу : http://ust.su/solar/media/section-inner79/3032/

Рецензія/Peer review : 17.1.2017 р. Надрукована/Printed :20.2.2017 р.
Рецензент: д.т.н., доц. В.Р. Любчик

УДК 004.925.4

О.Н. РОМАНЮК, О.О. ДУДНИК
Вінницький національний технічний університет

ОСОБЛИВОСТІ АНІЗОТРОПНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ ТЕКСТУР ПРИ ВИКОРИСТАННІ ТЕХНОЛОГІЇ PARALLAX MAPPING

Проаналізовано основні недоліки анізотропної фільтрації текстур при використанні технології parallax mapping, що призводять до зниження якості вихідного зображення. Запропоновано шляхи підвищення реалістичнсті формування зображень при використанні анізотропної фільтрації текстур ти технології parallax mapping.

Ключові слова: текстурування, фільтрація текстур, анізотропна фільтрація, рельєфне текстурування, texture mapping, texture filtering, anisotropic filtering, paralax mapping

A.N. ROMANYUK, O.O. ARCHANGEL
Vinnytsia National Technical University

FEATURES OF ANISOTROPIC FILTERING OF TEXTURE BY USE PARALLAX MAPPING TECHNOLOGY

The article analyzes the main shortcomings of the anisotropic filtering of textures with parallax mapping, leading to a decrease in the quality of the output image. Suggested ways of improving the realism of imaging when using anisotropic filtering of textures technology parallax mapping.

Keywords: texture, texture filtering, anisotropic filtering, texturing relief, texture mapping, texture filtering, anisotropic filtering, paralax mapping

Постановка задачі

Підвищення інформативності комп'ютерної графіки досягають за рахунок формування зображень, які точно відтворюють конструктивні та візуальні особливості об'єкта. При формуванні таких зображень у графічних системах необхідно відображати сцени з великою деталізацією, тому на даному етапі розвитку комп'ютерної графіки особливу увагу приділяють не тільки швидкодії формування графічних зображень, але й їх реалістичності. При побудові високореалістичних зображень використовують текстури, які накладають на графічні об'єкти [1-6].

Текстурування є важливою процедурою 3D-рендерингу, оскільки дозволяє відтворити також малі об'єкти поверхні, створення яких полігонами виявилося б надмірно ресурсомістким. Наприклад, складки на одязі, дрібні камені, предмети на поверхні стін і ґрунту та багато іншого [1, 2]. Текстура використовується в якості шару для додання певного ефекту або зміни геометрії всьому зображенню або його частини. Генерація текстури полягає в проектуванні зображення на тривимірну поверхню.

Використання текстур для імітації нерівностей на поверхні передбачає встановлення співвідношення між екранними координатами об'єкта та координатами текстури. Для реалістичного відтворення нерівностей використовують різні методи рельєфного текстурування: bump mapping, displacement mapping, normal mapping, parallax mapping. При цьому, найвищий рівень реалістичності забезпечує parallax mapping [3, 4].

Сучасні методи фільтрації текстур не враховують особливостей рельєфного текстурування з використанням технології parallax mapping, що може призводити до зниження якості зображення. Тому існує потреба у розробці методів анізотропної фільтрації з урахуванням особливостей parallax mapping.

Аналіз досліджень та публікацій

Текстурування [1-2]— це спосіб надання фактурних особливостей 3D деталі — полігону: кольору, блиску, матовості та інших фізичних властивостей (для імітації природного матеріалу, наприклад: паперу, дерева, каменю, металу тощо).

Текстурування є важливою процедурою 3D-рендерингу, оскільки дозволяє відтворити також малі об'єкти поверхні, створення яких з використанням полігоів виявилося б надмірно ресурсомістким. Наприклад, складки на одязі, дрібні камені, предмети на поверхні стін і ґрунту та багато іншого [1, 2]. Текстура використовується в якості шару для додання певного ефекту або зміни геометрії всьому зображенню або його частини. Генерація текстури полягає в проектуванні зображення на тривимірну поверхню.

Використання текстур для імітації нерівностей на поверхні передбачає встановлення співвідношення між екранними координатами об'єкта та координатами текстури. Для реалістичного відтворення нерівностей використовують різні методи рельєфного текстурування: bump mapping, displacement mapping, normal mapping, parallax mapping. При цьому, найвищий рівень реалістичності забезпечує parallax mapping [3, 4].

Parallax mapping використовується для процедурного створення тривимірної генерації текстурованої поверхні з використанням карт висот замість генерації побудови геометрії. Основна ідея методу полягає в тому, щоб визначати колір піксела за текстурними координатами в тій точці, де видовий вектор перетинає поверхню (рис. 1). Для зміщення текстурних координат виконують трасування променів

до карти висот [3, 4].

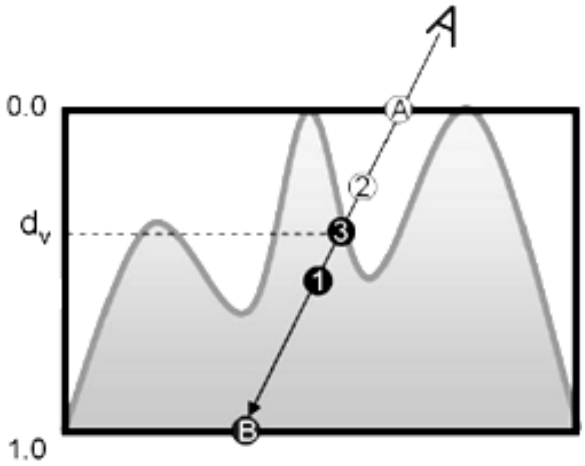


Рис. 1. Трасуванн видового вектора для визначення зміщення текстурних координат

Визначення кольору піксела на екрані шляхом врахування кольору лише одного текселя, призводить то появи різноманітних помилок візуалізації – артефактів. Тому для визначення кольору піксела використовують різні методи фільтрації текстур [1,2]. На даному етапі при текстуруванні широко використовується анізотропна фільтрація, яка дозволяє більш точно визначати кольори пікселів, які відповідають елементам текстури, що розташовані не паралельно екрану. Це найбільш якісний метод текстурування. На відміну від ізотропних видів фільтрації (білінійна та трилінійна) використовується проекція піксела на текстурну поверхню [1, 2, 5].

При анізотропної фільтрації проекція піксела на поверхню текстури розглядається як витягнутий еліпс (рис. 2) та передбачає усереднення кольору текселів усередині проекції, що дозволяє точніше визначати кольори пікселів [1, 2, 5].

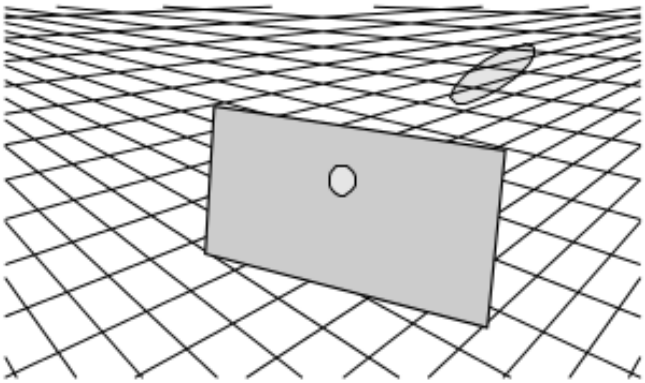


Рис. 2. Проекція піксела на поверхню текстури

Виділення невирішених частин

Виконання анізотропної фільтрації при текстуруванні з використанням техніки parallax mapping може призводити до некоректного визначення кольорів пікселів, надмірного розмиття окремих ділянок зображення. Відомі методи анізотропної фільтрації не враховують нерівності поверхні, а тому всі текселі, що формують проекцію піксела на текстуру в формі еліпса, вважаються видимими для користувача та використовуються для визначення кольору піксела. Тому існує потреба в розробці методів підвищення якості формування зображень з використанням технік анізотропної фільтрації текстур та parallax mapping.

Формулювання цілей

Множина необхідних для фільтрації текселів (T), описується рівнянням еліпса:

$$AU^2 + BUV + CV^2 = F,$$

де $U = u - u_0,\ V = v - v_0;\ A, B, C, F$ - параметри рівняння, що обчислюються за формулами:

$$(U_x, V_x) = \left(\frac{du}{dx}, \frac{dv}{dx}\right)$$

$$
\begin{aligned}
&(U_y, V_y) = \left(\frac{du}{dy}, \frac{dv}{dy} \right), \\
&A = V_x{}^2 + V_y{}^2, \\
&B = -2(U_x V_x + U_y V_y), \\
&C = U_x{}^2 + U_y{}^2, \\
&F = (U_x V_y + U_y V_x)^2,
\end{aligned}
\tag{1}
$$

При цьому похідні знаходять за формулами:

$$
\begin{aligned}
&\frac{\partial u}{\partial x} = u(x+1, y) - u(x, y), \quad \frac{\partial v}{\partial x} = v(x+1, y) - u(x, y), \\
&\frac{\partial u}{\partial y} = u(x, y+1) - u(x, y) \quad \frac{\partial v}{\partial y} = v(x, y+1) - u(x, y).
\end{aligned}
\tag{2}
$$

Із формул (1) і (2) видно, що форма та положення проекції піксела на текстуру залежить як від текстурних координат, що відповідають даному екранному пікселу, так і від текстурних координат, що відповідають сусіднім екранним пікселам (рис 2).

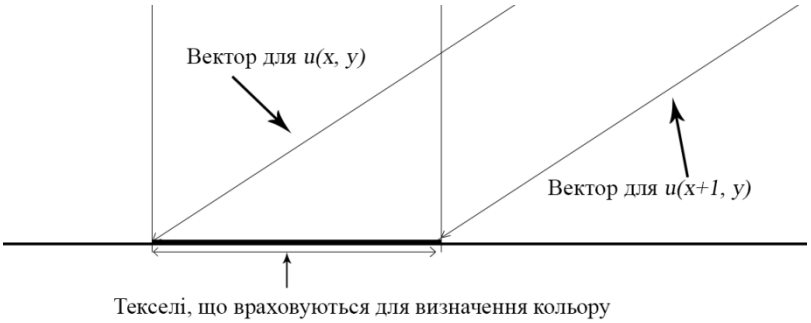


Рис. 2.Текселі, що формують колір піксела при при анізотропній фільтрації без parallax mapping

При тестуруванні з використанням технології parallax mapping, координати текселів, що відповідають екранним пікселам зміщуються і формули (2) набувають виду:

$$
\begin{aligned}
&\frac{\partial u}{\partial x} = u(x+1, y) + n - u(x, y) + m, \quad \frac{\partial v}{\partial x} = v(x+1, y) + o - u(x, y) + m, \\
&\frac{\partial u}{\partial y} = u(x, y+1) + p - v(x, y) + r, \quad \frac{\partial v}{\partial y} = v(x, y+1) + s - v(x, y) + r,
\end{aligned}
\tag{3}
$$

де n, m, o, p, r, s - зміщення текстурних координат відповідно до карти висот. Це призводить до зміни форми та площі ділянки текстури, що формує колір піксела (рис 3).

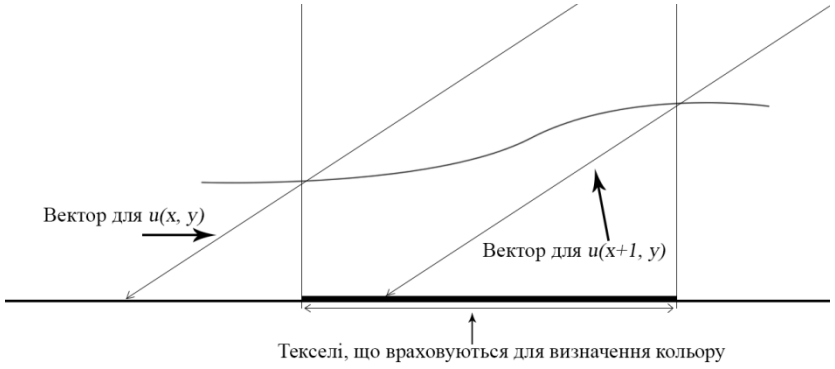


Рис. 3. Текселі, що формують колір піксела при при анізотропній фільтрації з parallax mapping

З урахуванням видимості для користувача, множину текселів T можна розділити на дві підмножини: множина видимих текселів T_{vis} і множина невидимих текселів T_{invis}, таких, що $T = T_{vis} \cup T_{invis}$, при чому $\forall t \in T_{vis} : t \notin T_{invis}$, $T_{vis} \neq \varnothing$. При цьому, із збільшенням площі проекції,

збільшується вірогідність того, що $T_{invis} \neq \varnothing$, тобто охоплення множиною T ділянок, що перекриваються іншими ділянками, що мають більшу висоту (рис. 4). Неточності при визначенні кольорів виникають саме в результаті того, що при фільтрації враховуються текселі підмножини T_{invis}.

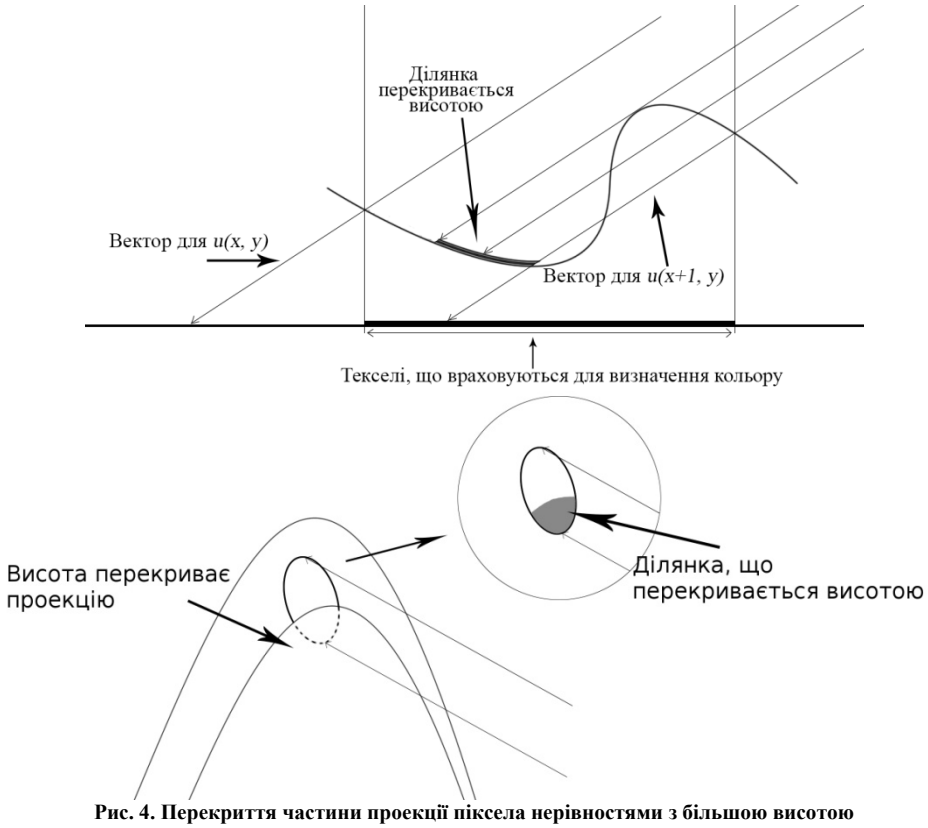


Рис. 4. Перекриття частини проекції піксела нерівностями з більшою висотою

Для усунення неточностей при визначенні кольорів, слід виконувати трасування видового променя для кожного текселя множини T з метою виокремити елементи $t \in T_{invis}$ для виключення їх з обчислювального процесу (рис 5).

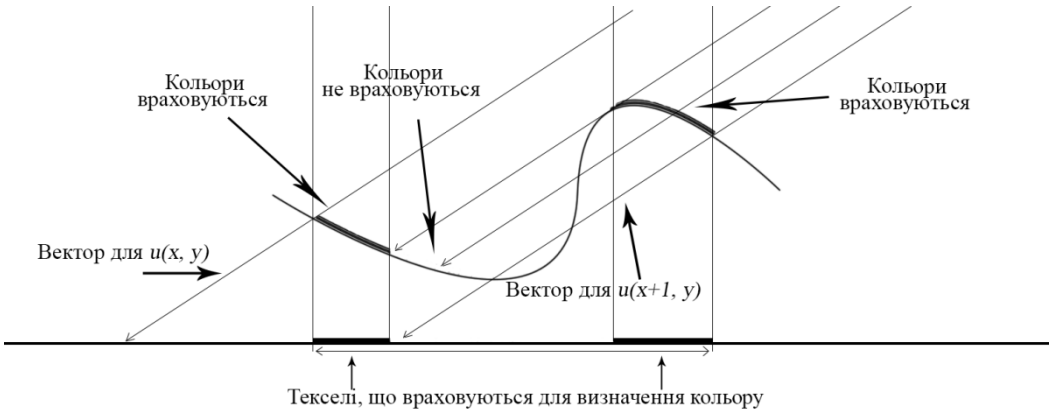


Рис. 5. Визначення текселів, що не повинні враховуватись при фільтрації

Оскільки при ортогональному порядку обходу текселів напрямок обходу не збігається з напрямком проекції видового променя, описана процедура може призводити до того, що в окремих випадках, деякі текселі $t \in T_{vis}$ можуть бути враховані двічі. Така ситуація виникає, коли видовий промінь проходить через точки, що відповідають двом текселям, один із яких $t_1 \in T_{vis}$, а інший $t_2 \in T_{invis}$, і t_1 в порядку обходу з'являється раніше за t_2 (рис 6). Для вилучення з обчилювального процесу подвійного врахування текселів, слід виділити в пам'яті окремий буфер для зберігання координат текселів, що уже були враховані та перед врахуванням кожного текселя перевіряти його наявність в буфері.

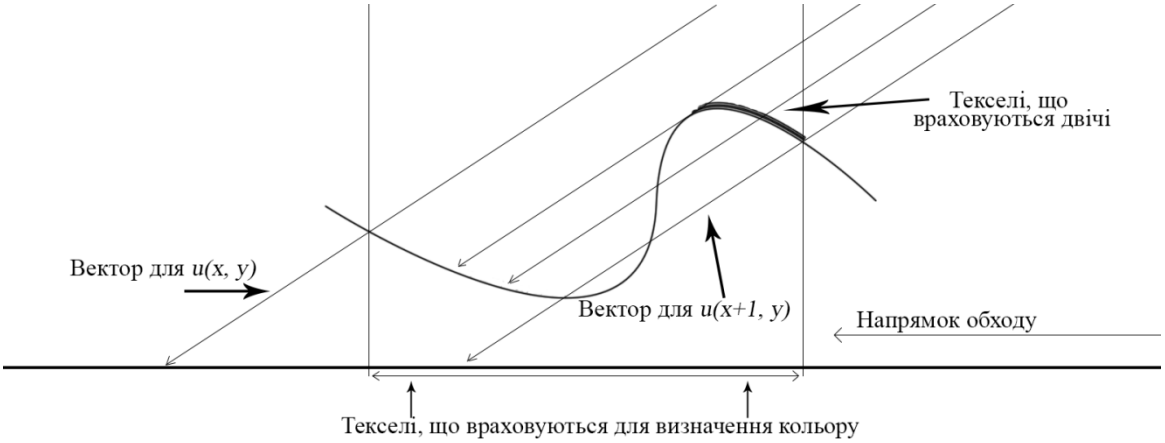


Рис. 6. Текселі що, можуть бути враховані двічі

Трасування променів для кожного текселя вимагає значних обчислювальних затрат, тому по можливості, необхідно визначити інші умови для виключення текслів із процесу фільтрації. Текселі в середині проекції проходять порядково. Як тільки у рядку зустрівся тексель, що $t_1 \in T_{invis}$, обхід рядка слід зупинити, та почати з іншого кінця у зворотному напрямку і продовжувати до тих пір, поки не зустрінеться ще один тексель, що $t_2 \in T_{invis}$. Множину текселів, що знаходяться між t_1 і t_2 позначимо T_1. Оскільки вірогідність існування такої множини T_2, що $\forall T_2 \in T_{vis} : T_2 \in T_1$, достатньо низька, а у випадку коли така множини існує її розмір не може бути достатньо великим по відношенню до розміру усієї множини T, щоб істотно вплинути на колір піксела.

Висновки

Виконання анізотропної фільтрації при текстуруванні з використанням техніки parallax mapping може призводити до появи артефактів. Розроблено метод врахування рельєфних особливостей поверхні при анізотропній фільтрації текстур для підвищення реалістичності формування зображень.

Література

1. Романюк О.Н. Метод підвищення продуктивності перспективно-коректного текстурування/ О.Н. Романюк, О.О. Дудник, // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка. - 2016. - Вип. 1. — С. 43— 46.

2. Романюк О.Н. Підвищення продуктивності перспективно-коректного текстурування з використанням анізотропної фільтрації/ О.Н. Романюк, О.О. Дудник, // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах , №3’ 2016 (56) — С. 192— 195.

3. Kaneko T. Detailed Shape Representation with Parallax Mapping // Omomichi Kaneko, Toshiyuki Takahei, Masahiko Inami, Naoki Kawakami, Yasuyuki Yanagida, Taro Maeda, Susumu Tachi // Proceedings of ICAT 2001, pp. 205—208

4. Татарчук Н. Practical Dynamic Parallax Occlusion Mapping - SIGGRAPH 2005

5. Paul S. Heckbert, Survey of texture mapping // Graphics Interface ’1986.

6. Романюк О. Н. Високопродуктивні методи та засоби зафарбовування тривимірних графічних об’єктів. Монографія. / О. Н. Романюк, А. В. Чорний. - Вінниця : УНІВЕСУМ-Вінниця, 2006 — 190 с.

Рецензія/Peer review : 15.1.2017 р. Надрукована/Printed :20.2.2017 р.
Рецензент : д.т.н., проф. Троцишин І.В.

УДК 621.396

Н.А. ОДЕГОВ
Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова

FINITE TIME-FREQUENCY (FTF) СИГНАЛЫ. ПРИЗРАК ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?

Работа посвящена элементарным вопросам моделирования реальных сигналов, которые обладают очевидными свойствами ограниченности как во временной, так и в частотной области. Существующее представление о том, что если сигнал ограничен во временной области, то он обязательно неограничен в частотной области и, наоборот, сигнал с финитным спектром обязательно имеет неограниченную длительность – рассматривается в работе как математический парадокс, не имеющий отношения к реальности. Приводится пример математического аппарата, в рамках которого функции, моделирующие сигналы, обладают свойством финитности во временной и частотной области одновременно.

Ключевые слова: функция, сигнал, спектр, преобразование Фурье, устойчивость теорем анализа.

O.N. ODEGOV
Odessa A.S. Popov National Academy of Telecommunications

FINITE TIME-FREQUENCY (FTF) SIGNALS. GHOST OR REALITY?

Work is devoted the elementary questions of design of the real signals which possess obvious properties of narrow-mindedness both in temporary and in frequency realm. Existent picture that if a signal is limited in temporary realm, he is necessarily unlimited in frequency area and, vice versa, a signal with a finitary spectrum necessarily has unlimited duration – examined in-process as a mathematical paradox, not relating to reality. The proposals, which can be the basis for FTF-signal theory. Also, some paradoxes are considered related to the incorrect use of the mathematical apparatus. An example of mathematical vehicle, within the framework of which functions, designings signals possess property of finite in temporary and frequency realm simultaneously, is made. It is shown that for parts of the technical annexes is a simple structural model as a weighted sum of time-harmonic with a certain initial phase.

Keywords: function, signal, spectrum, transformation of Fourier, stability of theorems of analysis.

Постановка проблемы

В плане философии науки проблема сводится к исследованию взаимосвязи между явлениями материального мира и их математическими моделями в рамках частной задачи – спектрального анализа. Иногда неаккуратное применение математического аппарата вместо того, чтобы сократить объемы непосредственных измерений, приводит к неверным, с практической точки зрения, результатам. А, собственно, что нам, инженерам, надо от формальной математики?

Первое: математика – это лаконичный язык чисел и формул, который позволяет экономить бумагу.

Второе: физико-математические модели в ряде случаев позволяют заменить дорогостоящие экспериментальные исследования либо аналитическим анализом, либо косвенными измерениями. Прекрасный пример – закон Ома для линейного участка цепи: знаем напряжение, знаем сопротивление, а уж силу тока можно определить по элементарной формуле в виде линейной зависимости. При этом, что очень и очень хорошо: реальную электрическую цепь уже не надо разрывать, чтобы включить в нее амперметр.

Корректное применение математического аппарата для решения практических задач требует выполнения, как минимум, двух условий: ***адекватности*** и ***устойчивости***, что нуждается в пояснении.

Математические предложения, которые составляют содержание формальной теории (тезаурус: аксиомы, леммы, теоремы) в самом общем виде формулируются примерно так: «Если выполнено ***A***, то в условиях аксиоматики и ранее доказанного ***B*** следует ***C***». Условно это высказывание в теории формальных языков представляется оператором ***B(A)=>C***.

Адекватность. Применяя для решения практических задач оператор ***B(A)=>C***, мы должны быть уверены, что условия ***A*** выполнены хотя бы приблизительно, а также, что тезаурус используемой теории ***B*** все-таки более-менее согласуется с условиями решаемой задачи. Приведем два элементарных примера.

Первый: ***A***-неадекватность. Тривиально, из школьной алгебры: ***a+a+a+a = 4a***. К самой по себе алгебре никаких претензий нет. Жизнь, однако, вносит свои коррективы. Покупаем в магазине ***4*** пачки подакцизного товара. Каждая пачка вчера еще стоила ***a*** грн. Рассчитываем заплатить ***4a*** грн. Не получается. Кассир обсчитывает каждую пачку отдельно. Почему? Почему, собственно, нельзя просто умножить ***a*** на ***4***? Оказывается, нельзя, поскольку имеется старая и новая партия этих пачек, из которых старая продается все еще по цене до повышения акцизного сбора, а новая уже после повышения.

Второй: ***B***-неадекватность. Классический пример – неприменимость формул механики Ньютона к движению частиц, скорость которых составляет значимую часть скорости света. Неучет релятивистских поправок приводит в этих случаях к большим ошибкам. Причина: неадекватная аксиоматика.

Вопросы адекватности – это область ответственности инженеров и ученых, которые применяют существующий математический аппарат для решения практических задач. При этом выбор наиболее адекватной модели является, скорее, областью инженерного искусства и, даже, инженерной интуиции, нежели каким-то формальным алгоритмом.

Устойчивость. Поскольку условия ***A*** на практике, как правило, не совсем ***A***, а суть приближение к ним с некоторой точностью (ошибки измерений, малые изменения параметров исследуемого объекта во времени и др.), поскольку четко представить, что реальное явление стопроцентно моделируется тезаурусом

формальной теории ***B***, возникает справедливый вопрос: ***[B+ΔB](A+ΔA)=>(приблизительно)=>C*** ?

Зададим тот же вопрос неформально: малые отклонения условий решения математической задачи или/и малые отклонения относительно тезауруса не приведут ли к некоторым катастрофическим отклонениям выводов от ожидаемых? Когда-то не приведут, а когда-то и приведут.

Приведем простой пример. Имеется система обыкновенных линейных уравнений, которую запишем в матричной форме ***AX=У***, где ***A*** – матрица коэффициентов, ***X*** – вектор неизвестных, ***У*** – правая часть (условия решаемой задачи). Тривиально, имеем решение: $\boldsymbol{X = A^{-1}У^{T}}$. Казалось бы, задача решена, но если определитель матрицы ***A*** близок к ***0***, то при ограниченности разрядной сетки ЭВМ, на которой численными методами решается задача, можем получить практически любой результат, вплоть до сообщения *«dividing error by a zero».* Решение этой проблемы привело к построению теории обусловленности матриц [1]. В более общей постановке речь идет об устойчивости теорем в геометрии и анализе [2].

Решение этой, собственно теоретической задачи – область исследований специалистов «чистой» математики. Инженеры, использующие математический аппарат, хотели бы увериться в том, что он в обозначенном смысле устойчив, что далеко не всегда очевидно. Собственно, рассуждая о применимости математических образов к физическим прообразам, мы и подошли к прикладной проблематике.

Приложение формальной теории рядов и преобразований Фурье ***без достаточной***, на мой взгляд, аргументации привело к цитированию из учебника в учебник, из статьи в статью такой, приблизительно, фразы

ПРЕДЛОЖЕНИЕ 1: «Теоретически любой сигнал с конечной полосой неограничен во времени и, наоборот, сигнал конечной длительности обладает спектром, неограниченно протяженным по оси частот» [3]. При этом, заметим, в цитируемой работе осуществляется, как раз, попытка рассмотрения финитной модели.

В еще более романтической трактовке аналогичный постулат изложен, по сути, и совсем уж многообещающе

ПРЕДЛОЖЕНИЕ 2: «Однако спектры реальных информационных сигналов бесконечны» [3].

После слова «Однако» я бы поставил запятую, но дело не в этом.

Дело в понимании действительности, которое дано впитанными теориями, сложившейся в понимании автора физической картины мира, да и его же, автора, житейским опытом. В силу этого, был бы очень благодарен, если бы кто-то когда-то кому-нибудь и где-то продемонстрировал какое угодно средство измерений, способное в системе единиц измерения СИ (или СГС) продемонстрировать бесконечный результат. Автор о таких экспериментах не знает.

Что касается *ПРЕДЛОЖЕНИЯ 1*, то на некоторое время отнесем это к особенностям используемого формального математического аппарата, а случай *ПРЕДЛОЖЕНИЯ 2* отнесем, все-таки, к курьезам.

Чтобы резко отличать математические модели и материальные сущности, мы будем ниже говорить о *функциях* (понимая, что это – абстрактные математические образы), о *сигналах*, понимая, что это объекты физического мира и о *«сигналах»* - функциях (моделях), которые в рамках конкретной практической задачи не противоречат предположениям о свойствах исследуемых сигналов.

С учетом сложившегося мировоззрения автора, определим ***сигнал*** следующими ***утверждениями*** (которые следует рассматривать не как строгую аксиоматику некоторой теории, а как математическую запись ряда парадигм).

Утверждение 1. ***Сигнал*** – это материальный носитель информации. Безотносительно к способу формирования сигнала, следовательно, безотносительно к среде, в которой он распространяется, безотносительно к приемнику сигнала, который способен его детектировать и распознать, само понятие сигнала ***бессмысленно***. В силу такого понимания процитированное *ПРЕДЛОЖЕНИЕ 2* надо рассматривать как тавтологическую тавтологию в кубе. Будем стоять на том, что сигнал, если это сигнал, то он материален, то есть – реален. А если уж он – суть - сигнал, то он несет информацию. Иначе, зачем он вообще нужен?

Утверждение 2. Поскольку сигнал материален, то он имеет ***конечную энергию***. Если сигнал моделируется некоторой математической зависимостью *s(t)*, где *t* – неуловимый абстрактный параметр (так называемая, независимая переменная – «время»), то это положение можно условно записать в виде формулы: $\int_{-\infty}^{\infty} s^2(t)dt < \infty$. Математически это означает, что соответствующая функция имеет ограниченную норму.

Утверждение 3. Сигнал ***конечен во времени***. Выражаясь близким к чистой математике языком, полагаем финитность соответствующей моделирующей функции: $s(t) = 0, t \notin [t_{\min}, t_{\max}]$. Внутри интервала [$t_{min}$, t_{max}] функция *s(t)* может принимать как ненулевые, так и нулевые значения. Сам интервал [t_{min} , t_{max}], как это и принято в анализе, будем называть носителем функции *s(t)*. Здесь мы будем говорить только о непрерывных (интервальных) носителях. Тогда под *минимальным* носителем будем понимать такой интервал, который удовлетворяет приведенному выше определению и, кроме того, $s(t_{min})\neq 0$ и $s(t_{max})\neq 0$.

К сожалению, существующие представления о безусловной адекватности математического аппарата (*ПРЕДЛОЖЕНИЯ 1* и *2*), вынуждают даже серьезных авторов как-то обосновывать данное положение [4,с.41]. Обоснование финитности сигнала, как представляется, проще всего отыскать в биллинге любого оператора: сколько бы ни длился телефонный разговор, все равно будет зафиксирован момент его начала и момент его окончания. Что из этого следует хорошего?

Оператор не вправе требовать бесконечной оплаты за свои услуги. Ни с кого и никогда.

Утверждение 4. Сигнал ***конечен в частотной области***. Аналогично предыдущему, определяем носитель спектра $[\Omega_{\min},\Omega_{\max}]: S(\omega)=0, \omega \notin [\Omega_{\min},\Omega_{\max}]$. Данное утверждение нуждается в дополнительной конкретизации понятия «спектр», о чем речь идет ниже. Практически важно, что спектры сигналов ограничены некоторой полосой частот, если речь идет о разложениях по гармоническим функциям. Обоснование здесь еще более жесткое, нежели данное выше. Внеполосные излучения на основании «Закона Украины об РЧР» могут быть основанием для отзыва разрешений на эксплуатацию РЭС, а в еще худшем случае – прекращению действия лицензии на использование частот.

Утверждение 5. Сигнал обладает ***инерционностью***. Физически это означает, что не существует реальных систем, способных мгновенно переходить из одного состояния в другое, если эти состояния различны. Один из вариантов математической записи этого предложения для непрерывных «сигналов» может выглядеть как ограничение существования ненулевых производных функции ***s(t),*** начиная с некоторого (возможно, значительного) порядка ***N***. То есть, по крайней мере, на носителе $[t_{min}, t_{max}]$ выполнено условие: $d^n s(t)/dt^n = 0,\ n > N,\ N < \infty$. Также, из физических соображений полагаем ограниченность производных низших порядков $d^n s(t)/dt^n < \infty,\ n \le N$.

Таким образом, комплекс рассматриваемых в данной работе вопросов сводится к поиску математического аппарата, который удовлетворяет ***Утверждениям 1-5***. Функции, наиболее полно удовлетворяющие данным утверждениям, для подчеркивания их необходимых свойств называются FTF (finite time-frequency) – сигналы. Англоязычный термин вводится здесь лишь для экономии бумаги. Отнюдь не ради засорения терминологического аппарата еще одной единицей.

Зачем вообще надо заниматься решением задачи в такой постановке? Во-первых, имеется потребность отобразить собственные представления о физическом мире в виде убедительных математических форм. Во-вторых, и это, пожалуй, главное: определить множество физически реализуемых «сигналов». В чисто теоретическом анализе можно получить блестящие результаты оптимизации сигналов, которые, однако, будут практически неприменимы вообще или применимы лишь с определенными оговорками.

Приведем элементарный, но наглядный пример. Пусть сигналы детектируются простейшим пороговым детектором, который а) интегрирует квадрат или модуль сигнала («энергию») за время $[t, t+\Delta t]$ и б) принимает решение о наличии значения 1, если интеграл превышает некоторый заданный порог. В противном случае принимается решение о значении 0. Для предельного упрощения будем даже полагать, что сигнал однополярный, т.е. $s(t)\ge 0$.

Исходя из *Утверждения 2* и определения интеграла Римана, элементарно следует, что при заданной максимальной амплитуде сигнала ***A*** его оптимальный идеальный образ – это просто прямоугольный импульс длительностью Δt и амплитудой ***A***. Все прочие сигналы будут иметь меньшую энергию, соответственно, детектироваться с меньшей вероятностью.

Проблема заключается, однако в том, что такой идеальный сигнал физически реализовать не получается: об этом может сказать любой радиолюбитель, хоть однажды спаявший элементарный мультивибратор. Фронты импульсов при рассмотрении осциллограммы выглядят отнюдь не мгновенными скачками.

Современное состояние вопроса

Состояние вопроса трудно назвать современным. Со времени создания теории рядов Фурье и преобразований Фурье и Гильберта наиболее значительным результатом в области приложений можно считать теорему Котельникова [5], которая дает мощный инструмент анализа сигналов с ограниченным частотным носителем. Исследования в части расширения применимости данного результата проводились и в ближайшей ретроспективе. Так, имеются результаты обобщения этой теоремы на задачу совместной дискретизации в частотной и во временной области [6]. В других обобщениях в качестве атомарных функций отсчетов применяются δ-функции, сглаженные различными «фильтрами» [7].

Наиболее эффективным современным подходом к решению задач представления «сигналов» в виде разложений по системе ортогональных функций представляется секвентный анализ [8]. Используемые в его тезаурусе целочисленные функции Радемахера и Уолша и ступенчатые функции Хаара можно рассматривать как наиболее удачные модели сигналов, которые генерируются и обрабатываются цифровыми устройствами. Наиболее современным результатом в этом направлении, известном автору, является теоретическое обоснование и применение функций трансверсии [4].

Еще одно направление – использование финитных образов в приложениях вейвлет-преобразований [9]. Последние особенно эффективны для исследования кратковременных процессов типа «всплесков». При этом могут решаться задачи, как обнаружения сигналов, так и распознавания их тонкой структуры.

Проблема в классической постановке

Прежде, чем приступить к изложению конструктивных предложений, попытаемся сформулировать исследуемый вопрос в виде математического предложения (теоремы), доказательство которого автору ***неизвестно***.

Рассмотрим функцию, ограниченную во времени и имеющую «длительность» T: $s(t)=0,\ t \notin [-T/2, T/2]$. За очевидностью, положим без доказательства, что любую такую функцию можно представить в виде произведения $s(t)=r(t)q(t)$, где $q(t)$ – некоторая функция, имеющая *любую* область определения,

а *r(t)* – прямоугольный импульс, имеющий значения *1/T* внутри интервала [*-T/2,T/2*] и нулевые значения вне этого интервала. В известных обозначениях: *r(t)=rect*[*-T/2,T/2*]. Спектральные функции (образы Фурье) прообразов *s(t)* и *q(t)*, будут, соответственно:

$$R(\omega)=\int_{-\infty}^{\infty} r(t)e^{-j\omega t}dt=\sin(\frac{\omega T}{2})/(\frac{\omega T}{2}); \qquad Q(\omega)=\int_{-\infty}^{\infty} q(t)e^{-j\omega t}dt. \tag{1}$$

Тогда, по теореме о свертке, из (1) следует, что спектральная функция *S(ω)* произведения *s(t)*:

$$S(\omega)=\int_{-\infty}^{\omega} Q(\omega-\omega')\sin(\frac{\omega' T}{2})/(\frac{\omega' T}{2})d\omega'. \tag{2}$$

Теорема несуществования. Не существует такой *нетривиальной* функции ***q(t)***, которая имеет спектральный образ Фурье ***Q(ω)*** такой, что из выражения для свертки (2) следует: $S(\omega)=0, \omega\notin[-\Omega,\Omega]$. Тривиальный контр-пример: функция *q(t)*, всюду равная нулю. Не интересно. По физической сути – нет сигнала, нет и спектра.

Повторим, автор ***не знает*** доказательства этой или подобной теоремы, которая математически обосновала бы *ПРЕДЛОЖЕНИЕ 1*. Буду благодарен, если Читатель даст ссылку на подобный результат. Еще лучше, если *Теорема несуществования* в общем случае неверна. Тогда, в рамках классического аппарата преобразования Фурье можно было бы выделить класс функций, которые могут быть моделями физически реализуемых процессов.

Вместе с тем, и в классическом варианте давно найден прием, приближающий теорию к практике. Это – так называемый «эффективный базис сигнала» - некоторое множество значений «сигналов» в частотно-временной области, где сосредоточена значительная часть «энергии». Нас же интересуют «сигналы», 100% энергии которых сосредоточены в ограниченной частотно-временной области: FTF-сигналы.

Термины. Определения. Договоренности

Предполагается, что Читатель знаком с основами функционального анализа. Поэтому данные ниже дефиниции – это только выбор варианта определений нормы, скалярного произведения, метрики и др.

Ниже *скалярное произведение* функций $q_1(x)$ и $q_2(x)$ понимается в единственном варианте:

$$\langle q_1, q_2, X\rangle=\int_X q_1, q_2 dx, \tag{3}$$

где X – область определения функций $q_1(x)$ и $q_2(x)$.

Функции $q_1(x)$ и $q_2(x)$ *ортогональны* на интервале $[x_1,x_2]$, если $\langle q_1, q_2, [x_1, x_2]\rangle=0$.

Под *нормой* функции *q(x)*, определенной на интервале $[x_1,x_2]$, будем понимать число $\|q\|=\langle q, q, [x_1, x_2]\rangle$.

Функции $q_1(x)$, $q_2(x),\ldots,q_N(x)$ образуют на интервале *ортогональный* базис, если все их взаимные скалярные произведения равны нулю. Базис является *ортонормальным*, а сама система функций *ортонормированной*, если нормы всех функций одинаковы. Далее принимается, что базисные функции ортонормированных систем имеют единичную норму:

$$\langle q_n, q_n, [x_1, x_2]\rangle=1, \; n=1,2,\ldots,N.$$

Функции $q_1(x)$, $q_2(x),\ldots,q_N(x)$ образуют ***почти ортогональную*** систему, если в условиях решаемой задачи найдется такое пренебрежимо малое число $\varepsilon>0$, что

$$\langle q_n, q_m, [x_1, x_2]\rangle<\varepsilon, \quad n,m=1,2,\ldots,N, \quad n\neq m. \tag{4}$$

Обратим внимание, что в очень большом множестве приложений используются, на самом деле, не строго ортогональные, а *почти* ортогональные функции. Достаточно сказать, что значения функций в задачах, решаемых численными методами, вычисляются как частичные суммы соответствующих рядов. Точность представления не абсолютна и определяется методом интерполяции и разрядной сеткой ЭВМ.

Метрика (расстояние между функциями) определяется ниже по тексту. Один из вариантов метрики дается формулой (4).

Если некоторая функция *g(x)* может быть представлена в виде взвешенной суммы ортонормальных функций $\langle q_n, q_m, X\rangle$:

$$g(x)=G_1 q_1(x)+G_2 g_2(x)+\ldots+G_N q_N(x), \tag{5}$$

то набор коэффициентов $G_1,G_2,\ldots,G_N$ является ***спектром*** функции *g(x)* в смысле системы $\langle q_n, q_m, X\rangle$. Важно, что не обязательно $\langle q_n, q_m, X\rangle$ является системой гармонических функций. Можно говорить о

спектрах в смысле функций Уолша, ортогональных полиномов Чебышева и др. Известным фактом является *единственность* разложения (5), если такое разложение существует, и знак равенства понимается в строгом смысле.

В случае, если в данном представлении $N \to \infty$, то само разложение будем называть рядом Фурье, а коэффициенты $G_1, G_2, \ldots, G_N$ – бесконечным дискретным спектром. Соответственно, при конечном *N* будем говорить о сумме Фурье и *конечном* дискретном спектре.

Если представление (5) допускает предельный переход от счетного множества базисных функций к непрерывному (континуальному) множеству, будем говорить, соответственно, об интегральном преобразовании и непрерывном спектре.

Заметим, что исторически именно представление (5) для любой ортогональной системы получило название ряда (суммы) Фурье. Однако, понятие спектра в плане приложений, настолько прочно закрепилось за спектром в смысле гармонических функций, что в настоящее время авторам зачастую приходится вводить отдельный термин «обобщенный ряд Фурье» для общих представлений вида (5).

Элементарная модель FTF-сигналов

Рассмотрим классический вариант спектрального анализа, основанный на разложениях «сигналов» по системе гармонических функций $\{1, \sin(n\omega t), \cos(n\omega t)\}$, $n=1,2\ldots$ Данные функции ортогональны на любом интервале $[t_0, t_0+kT]$, $k=1,2,\ldots$, если параметр $\omega = 2\pi / T$. Соответственно, функции

$$\frac{1}{\sqrt{kT}}, \sqrt{\frac{2}{kT}}\sin(n\omega t), \sqrt{\frac{2}{kT}}\cos(n\omega t), n = 1,2,... \tag{6}$$

образуют ортонормированную систему.

В приложениях как-то особенно не акцентируется, что на самом деле речь идет об ***абстрактном*** интервале определения гармонических функций: $t \in [-\infty, \infty]$. Это видно хотя бы из формальной записи пары преобразований Фурье, где интегрирование выполняется по бесконечным пределам:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} s(t)e^{-j\omega t}dt, \qquad s(t) = \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega)e^{j\omega t}d\omega. \tag{7}$$

Представляется, что уже в определении бесконечного носителя кроются некоторые методологические трудности.

Первая из них – *бесконечная норма* гармоник, имеющих бесконечную продолжительность. С физической точки зрения это означает, что сигнал с конечной энергией представляется взвешенной суммой составляющих, каждая из которых имеет бесконечную энергию. Нормировка (6) лишь на первый взгляд устраняет эту трудность: в пределе мы все равно получаем неопределенность типа ∞ / ∞. Аналитически эта неопределенность устранима, а с физической точки зрения оказывается, что каждая такая гармоника - ненаблюдаемый процесс.

Вторая – *начальная* фаза бесконечной гармоники *не определена*. Поэтому данная модель позволяет говорить лишь о некоторой *мгновенной* фазе. При этом мгновенная фаза составляющих реального сигнала не может быть определена иначе, как сравнением с некоторым периодическим или квазипериодическим процессом с известными фазовыми характеристиками. А такой процесс, очевидно, финитен во времени. Налицо парадокс: нечто бесконечное поверяется чем-то конечным. Что-то вроде того, как с помощью метровой линейки измерять размер бесконечно расширяющейся Вселенной.

Наличие таких и аналогичных методологических трудностей приводит к необходимости переосмысления самого базового понятия *частоты*. Один из возможных подходов в этой части изложен в теории «Фазочастотних вимірювань і перетворень радіосигналів» [4].

В данной работе в качестве базовий рассматривается модель, основанная на использовании гармонических функций с *ограниченным* носителем (финитных гармоник). Применительно к системе (6) это означает конечность *k* количества *T*-периодов.

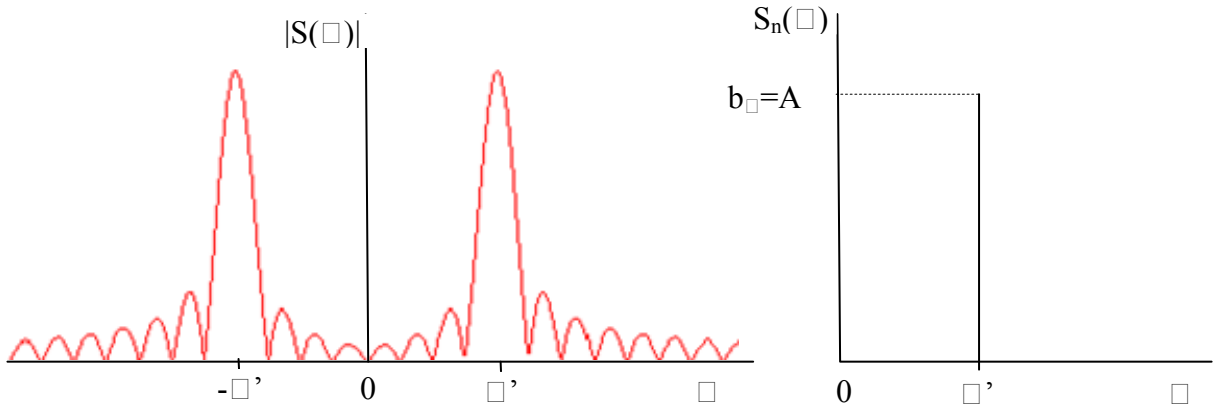
Несмотря на кажущуюся простоту такого представления, покажем, что пространство неограниченных во времени гармоник и пространство финитных гармоник – это *принципиально разные* системы функций. Для этого рассмотрим «сигнал» вида $s(t) = A\cos\omega' t$, $\omega' = 2\pi / T$ на интервале *[-T/2,T/2]*. Для финитной модели (5) полагаем, что все множество моментов времени ограничено данным интервалом, а для модели «неограниченного времени» (6) доопределим функцию s(t) = 0 вне интервала [-*T/2,T/2*]. На первый взгляд, никакой разницы между моделями нет. Рассмотрим, однако, спектральные представления для двух этих моделей.

Спектр финитной модели – это просто единственное число: $b_\omega = \frac{2}{T}\int_{-T/2}^{T/2} A\cos^2\omega t dt = A$. Во втором случае получаем Фурье-образ прямоугольного *радиоимпульса* с П-образной огибающей и несущей частотой ω'. Иначе говоря, «сигнал» в данном случае представляется произведением функций со спектром (2), где $Q(\omega - \omega') = \delta(\omega - \omega')$. Пользуясь фильтрующим свойством δ-функции Дирака, получаем:

$$S(\omega) = 0{,}5\sin c((\omega - \omega')T/2) + 0{,}5\sin c((\omega + \omega')T/2).$$

то есть, непрерывный спектр в виде суммы двух функций типа *sin(x)/x* , смещенных относительно начала координат на частоту несущей ω'.

Спектры для случаев неограниченных и финитных гармонических моделей показаны на hис.1 а и б. Как говорится, почувствуйте разницу. Финитная спектральная модель выглядит намного более лаконичной. Часть полученного эффекта объясняется той хитростью, что период гармоники финитной модели совпал с длиной носителя. Эффект, однако, очевидный: моночастотный «сигнал» в данном случае – пример FTF-сигнала, одновременно имеющий конечную длительность и ограниченный в частотной области спектр. Ниже показывается, что и в более общих случаях существуют модели в виде FTF-сигналов.



а) модуль спектра прямоугольного радиоимпульса б) дискретный спектр финитной гармоники

Рис. 1. Альтернативные спектральные представления неограниченных и финитных моделей

Более общая модель FTF-сигналов – линейные многообразия, натянутые на ортонормированный базис (5), при ограниченном носителе [*0,T*]

$$s(t) = a_0 + \sum_{n=1}^{N} a_n \cos n\omega t + \sum_{n=1}^{N} b_n \sin n\omega t, \omega = 2\pi / T. \quad (8)$$

Заметим, что поскольку гармонические функции могут быть разложены в сходящийся степенной ряд, то такие удобные формулы, как, например, формула Эйлера остаются справедливыми и для финитных гармоник.

Как видно, «полоса» частот функций (8) определяется нижней частотой ω и верхней частотой $N\omega$. Является ли такая модель излишне простой и не имеющей никакого отношения к практическим задачам? Простой – да, заведомо не соответствующей никаким реальным процессам – нет. Например, электромагнитное поле, создаваемое когерентным источником излучения (лазером) в некоторой точке пространства исключительно точно описывается зависимостью [10, с.41]:

$$E(t) = \sum_{m=-N}^{N} E_m e^{-j[(\omega_0 + m\Delta\omega)t + \phi_m]}. \quad (9)$$

В случае модели (9) носитель дискретного спектра ограничен полосой частот $[\omega_0 - N\Delta\omega, \omega_0 - N\Delta\omega]$, носитель сигнала во временной области должен быть кратен минимальному периоду $T = 2\pi / \Delta\omega$.

Наличие в зависимости (9) начальных фаз ϕ_m не влияет на свойство ортогональности базисных функций, что утверждает

Теорема 1. (Об инвариантности свойства ортогональности к начальной фазе)

Система тригонометрических функций $\{\sin(n\omega t + \phi_n^{\sin}), \cos(n\omega t + \phi_n^{\cos})\}$, где фазы ограничены $0 \le \phi_n^{\sin}, \phi_n^{\cos} < \pi/2)$ ортогональна на любом носителе, длина которого кратна $T = 2\pi / \omega$.

Для доказательства воспользуемся формулами Эйлера

$$e^{jx} = \cos(x) + j\sin(x), \qquad e^{-jx} = \cos(x) - j\sin(x) \quad (10)$$

и выражениями для гармонических функций, следующими из них:

$$\cos(x) = \tfrac{1}{2}(e^{jx} + e^{-jx}), \qquad \sin(x) = \tfrac{1}{2}(e^{jx} - e^{-jx}). \quad (11)$$

Рассмотрим скалярное произведение $Q = \langle \cos(n\omega t + \phi_n), \cos(k\omega t + \phi_k) \rangle, n \neq k.$ По определению скалярного произведения (3) и с учетом формул (11)

$$Q = 1/4 \int_0^T \left[e^{j(n\omega t + \phi_n)} + e^{-j(n\omega t + \phi_n)} \right] \left[e^{j(k\omega t + \phi_k)} + e^{-j(k\omega t + \phi_k)} \right] dt . \quad (12)$$

Выполняя умножение под знаком интеграла, видим, что скалярное произведение (12) можно представить суммой четырех интегралов общего вида

$$Q_{sign} = 1/4 \int_0^T e^{\pm j[(k\omega t + \phi_k) \pm (n\omega t + \phi_n)]} dt . \quad (13)$$

Пренебрегая множителем, который не влияет на равенство нулю скалярного произведения, рассмотрим только один из этих интегралов:

$$Q_{++} = \int_0^T e^{j[(k\omega t + \phi_k) + (n\omega t + \phi_n)]} dt = e^{j(\phi_k + \phi_n)} \int_0^T e^{j(k+n)\omega t} dt = e^{j(\phi_k + \phi_n)} I(T) . \quad (14)$$

Интеграл *I(T)* в последнем выражении представим в виде суммы двух интегралов, применяя к подынтегральному выражению формулу Эйлера:

$$I(T) = \int_0^T \cos(k+n)\omega t dt + j \int_0^T \sin(k+n)\omega t dt , \quad (15)$$

откуда следует, что и *Q++=0*. Аналогичным образом доказывается, что все интегралы общего вида (13) равны 0.

Используя тот же прием, что и при выводе формулы (15), убеждаемся, что скалярные произведения

$$\langle \sin(n\omega t + \phi_n), \cos(k\omega t + \phi_k) \rangle = 0, n \neq k \text{ и } \langle \sin(n\omega t + \phi_n), \sin(k\omega t + \phi_k) \rangle = 0, n \neq k .$$

Теорема доказана.

Результат, конечно, простой. Спрашивается, зачем старались? Оказывается, на базе финитных гармоник можно построить неограниченное количество ортонормированных систем с различными начальными фазами для разных составляющих. При этом само понятие начальной фазы оказывается вполне определенным и конструктивным.

Рассмотрим множество «сигналов», которое может быть представлено линейным многообразием:

$$s(t) = \sum_{k=1}^{K} [a_k \sin(p_k / q_k \gamma t) + b_k \cos(p_k / q_k \gamma t)], \quad (16)$$

где γ - некоторый скалярный параметр, p_k / q_k - несократимые рациональные дроби (т.е. p_k и q_k - целые числа), причем $p_k < q_k$, если $k > 1$. Допускается, что $p_k = q_k$ если $k = 1$. Условие неравенства аргументов гармоник гарантирует линейную независимость соответствующих функций.

Покажем, что при соответствующем выборе параметра γ и носителя $[0,T]$ система опорных функций в разложении (16) является также и *ортогональной*.

Теорема 2. (О существовании носителя).

Найдутся два таких *целых* числа *P* и *Q*, что при выборе параметра γ в зависимости (16) в виде $\gamma = \omega Q / P$, что опорные функции в (16) будут ортогональны на носителе $[0,T]$, где $T=2\pi/\omega$.

Доказательство *Теоремы 2* элементарно. Положим $P = 1$, а в качестве Q возьмем произведение знаменателей: $Q=q_1 q_2 ... q_K$. Очевидно, что $Q_k = Q/q_k$ - целые числа. Произведения целых чисел $p_k Q_k = n_k$ - также целые числа, что и доказывает Теорему 2.

Фактически, выбор значения $\gamma = \omega Q / P$ означает масштабирование. При этом система функций опорных функций оказывается частным случаем «обычной» ортогональной системы тригонометрических функций, если выполнено условие $n_k=k$. С другой стороны, данная Теорема не противоречит тому, что функции (16) будут периодически повторяться на носителе $[0,T]$. Справедливо следующее предложение.

Теорема 3. В условиях Теоремы 2 наименьший период ортогональности определяется такими числами *Q* и *P* для ряда коэффициентов при аргументах $p_k Q/(q_k P)=n_k$, что наибольший общий делитель чисел $n_1, n_2, ..., n_K$ равен 1.

Доказательство Теоремы 3 опустим за очевидностью. Отметим лишь, что необходимым условием ее выполнения является определение числа *Q* как *наименьшего* общего кратного знаменателей q_k и определение числа *P* как *наибольшего* общего делителя числителей p_k.

При всей простоте и очевидности, Теоремы 1 - 3 дают конструктивный алгоритм построения системы ортогональных финитных функций для «сигналов» состоящих из гармоник, частоты которых находятся в рациональных отношениях, а начальные фазы произвольны.

Итак, получено несколько представлений моделей FTF-сигналов, отвечающих сформулированным *Утверждениям 2-4*. Исчерпывается ли этим множество физически реализуемых «сигналов»? Конечно, нет. Модель – она и есть модель. А с другой стороны, почему бы и нет? Ведь реальные осцилляторы имеют

выраженные частоты колебаний. Это относится к спектрам излучения и поглощения атомов, а также к динамическим системам, описываемым линейными дифференциальными уравнениями. Решение уравнения второго порядка в условиях «малых колебаний», как известно, сводится к волновому уравнению, то есть, к гармонической функции. Еще один пример – почти периодическое изменение наблюдаемой мощности излучения пульсаров.

С абсолютной точностью модель в виде суммы финитных гармоник (16), конечно, не соответствует реальным процессам. Поэтому важно составить представление о потенциальных ошибках моделирования. Рассмотрим вариант несоответствия, когда в сумме (16) имеются гармоники с коэффициентом при аргументе, который не равен ни одной из рациональных дробей, например выражающийся иррациональным числом $\mu<1$. Положим, что дробные коэффициенты в аргументах упорядочены так, что $p_k/q_k<p_{k+1}/q_{k+1}$, $k=1...K-1$.

В соответствии с одним из фундаментальных предложений теории чисел [11, с. 112]: *«Между двумя раціональными числами, разность которыхъ можетъ быть сдѣлана сколь угодно малою (по абсолютной величинѣ) можетъ заключаться только одно число»*. Это означает, что существуют такие рациональные дроби, что $p_k/q_k < \mu < p_{k+1}/q_{k+1}$ и $|\, p_k/q_k - p_{k+1}/q_{k+1}\,| < \varepsilon$, где ε – любое малое число.

С учетом непрерывности гармонических функций, это означает, что при достаточно большом периоде $[0,T]$ можно найти достаточно точное приближение внеспектральной гармоники одной из базисных функций. Важно получить оценку порядка получающейся при этом ошибки. Приведем пример такой оценки для косинусоидальных составляющих (для синусоидальных составляющих получается аналогичный результат).

Пусть даны две функции, отличающиеся только некоторой k-й гармоникой:

$$\begin{aligned} s_1(t) &= b_1\cos\omega t + b_2\cos 2\omega t + ... + b_k\cos k\omega t + ... + b_K\cos K\omega t\,, \\ s_2(t) &= b_1\cos\omega t + b_2\cos 2\omega t + ... + b_k\cos(k+\mu)\omega t + ... + b_K\cos K\omega t\,, \end{aligned} \tag{17}$$

причем параметр девиации μ будем считать малой *положительной* величиной.

В качестве параметра, характеризующего ошибку модели $s_1(t)$ по отношению к модели $s_2(t)$, выбираем энергетический параметр. С учетом того, что суммы (17) отличаются только одним слагаемым, получим вариант метрики:

$$\left\|s_2(t)-s_1(t)\right\| = \int_0^T (s_2(t)-s_1(t))^2 dt = b_k^2\int_0^T (\cos(k+\mu)\omega t - \cos k\omega t)^2 dt\,. \tag{18}$$

В подынтегральном выражении разложим первое слагаемое в ряд Тейлора в окрестности точки $k\omega t$:

$$\cos(k+\mu)\omega t = \cos k\omega t + \sum_{n=1}^{\infty}\frac{[(k+\mu)\omega t - k\omega t]^n}{n!}\cos^n(x)\,/_{x=k\omega t}\,,$$

где $\cos^{(n)}$ – производная функции порядка n. Заметим, что все производные функции $\cos(x)$ суть синусы или косинусы со знаком «±», максимальное значение которых по модулю равно 1. Тогда из формулы для метрики (18) с учетом того, что $\omega T = 2\pi$, после элементарных преобразований следует:

$$\left\|s_2(t)-s_1(t)\right\| < b_k^2\int_0^T\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(\mu\omega t)^n}{n!}\,dt < b_k^2\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(\mu\omega T)^n}{n!}\int_0^T dt = Tb^2\sum_{n=1}^{\infty}\frac{(2\pi\mu)^n}{n!}\,. \tag{19}$$

В цепочке неравенств (19) использован знак строго неравенства, поскольку ряд производных $\cos^{(n)}$ знакопеременный, и слагаемые под знаком суммы в формуле (18) частично компенсируются.

При малых значениях параметра девиации μ значение $2\pi\mu<<1$. Тогда сумма в выражении (19) оказывается суммой табличного ряда [12, с. 705, сумма 21.5]: $\sum_{n=0}^{\infty}\frac{(x)^{n+1}}{n!(n+1)} = e^x - 1$.

С учетом последнего соотношения, получаем энергетическую интерпретацию для абсолютной погрешности модели по отношению к «сигналу», определенных парой зависимостей (17):

$$\Delta E_{абс} = \left\|s_2(t)-s_1(t)\right\| < Tb_k^2(e^{2\pi\mu}-1)\,, \tag{20}$$

откуда с учетом того, что $\left\|s_2(t)-s_1(t)\right\| = \sum_{k=1}^{K} b_k^2$, следует оценка относительной ошибки:

$$\Delta E_{отн} = \left\|s_2(t)-s_1(t)\right\| / \left\|s_1(t)\right\| < Tb_k^2(e^{2\pi\mu}-1) / \sum_{k=1}^{K} b_k^2\,. \tag{21}$$

С учетом малости μ и разложения экспоненциальной функции $e^x = 1 + x/1! + ... + x^n/n! + ...$, на основании оценок (20) и (21) можно получить более «элегантные» неравенства:

$$\Delta E_{абс} < 2\pi\mu Tb_k^2 + O(\mu^2)\,; \qquad \Delta E_{отн} < 2\pi\mu Tb_k^2 / \sum_{k=1}^{K} b_k^2 + O(\mu^2)\,. \tag{22}$$

Замечательно в полученных оценках (19-20) то, что ошибка в определении энергетических параметров сигнала зависит от девиации μ, периода системы опорных функций T, значения коэффициента b_k при неточно моделируемой гармонике, но ***никак не зависит собственно от частоты*** этой гармоники. То есть, ошибка в 1 Гц будет *равным образом* сказываться на адекватности модели (в смысле учета энергетических, а отсюда – и информационных) параметров сигнала, как если ее допустить по отношению к

частотной составляющей 100 МГц, так и по отношению к частотной составляющей 100 ТГц. Этот результат, если честно, для автора несколько обескураживающий.

Другой, следующий из этих оценок вывод – ошибаться лучше в области тех гармоник, амплитуды которых незначительны. Что же касается огромного множества сигналов, то мода их спектра находится вблизи несущей частоты. Таким образом, особую важность приобретают методы подстройки к несущей частоте сигнала на приемной стороне.

Рассмотрим более общую модель ошибки, чем данную формулами (17). Положим, что все частоты модели имеют некоторую паразитную девиацию по отношению к частотам «сигнала», приняв все-таки модель s1(t) за нечто условное, а «сигнал» s2(t) за нечто, похожее на реальность:

$$s_2(t) = b_1 \cos(1+\mu_1)\omega t + b_2 \cos(2+\mu_2)\omega t + ... + b_k \cos(k+\mu_k)\omega t + ... + b_K \cos(K+\mu_K)\omega t \,. \quad (23)$$

Среди коэффициентов разложения b_k и параметров девиации μ всегда найдется такая пара, что произведение: $B_{max} = \mu_k b_k^2 \geq \mu_n b_n^2$, $k,n = 1,2,...,K$. Тогда, пренебрегая малыми порядка $O(\mu^2)$, получим ошибку моделирования для зависимостей общего вида (23):

$$\Delta E_{абс} < 2\pi T B_{\max} K \,; \quad \Delta E_{отн} < 2\pi T B_{\max} K / \sum_{k=1}^{K} b_k^2 \,. \quad (24)$$

Полученные оценки непосредственно распространяются на представление моделей (23) в комплексной форме:

$$s_1(t) = \sum_k C_k e^{jk\omega t} \,; \quad s_2(t) = \sum_k C_k e^{jk(\omega+\mu_k)t} \,. \quad (25)$$

При наличии предварительной информации о возможной тенденции значений параметра девиации μ_k можно решать задачу оптимизации модели $s_1(t)$ в смысле оценок (24). В ряде случаев такая информация имеется. Приведем два примера.

Пример 1. Полагаем, что все параметры девиации одинаковы: $\mu_k = const(k)$. Такая ситуация может иметь место в случае допплеровского смещения частот в радиолокации. Также, такой эффект может быть вызван нестабильностью частоты генератора, задающего несущую частоту сигнала.

При данном предположении, очевидно, что из всех возможных сигналов с одинаковой энергией наилучшей устойчивостью будет обладать сигнал, для которого $\mu_k C_k^2 = const(k)$. В данном случае спектр оптимального сигнала должен быть равномерным: $\mu_k C_k^2 = const(k) = C$. Тогда модель сигнала (25) приобретает очень простой вид: $s_1(t) C \sum_{k=-N}^{N} e^{jk\omega t}$. Поскольку здесь суммируются члены геометрической прогрессии, после несложных преобразований получим окончательный вид модели:

$$s_1(t) = C \frac{\sin[(2N+1)\omega t/2]}{\sin(\omega t/2)} \,. \quad (26)$$

Пример 2. Параметр девиации линейно зависит от частоты. Такое предположение в хорошем приближении моделирует явление хроматической дисперсии сигнала в волоконно-оптической среде. В этом случае условие $\mu_k C_k^2 = const(k)$ с учетом того, что $\mu_k = k\mu$ выполняется, если все $C_k = C/k^{1/2}$. Модель сигнала будет в этом случае иметь вид:

$$s_1(t) = C \sum_{k=1}^{N} \frac{e^{jk\omega t}}{\sqrt{k}} \,. \quad (27)$$

Заключение. Выводы

В статье рассмотрен один из возможных подходов к построению моделей FTF-сигналов, одновременно ограниченных как во временной, так и в частотной области.

Ограничение времени с практической точки зрения можно представлять как некоторый период существования сигнала. Например, при распространении сигнала по магистральным каналам волоконно-оптических систем передачи данных типичное расстояние между регенераторами может составлять 200 км. С учетом коэффициента преломления, скорость распространения светового импульса составляет приблизительно 200000 км/с. То есть, импульс пройдет это расстояние примерно за 10^{-3} с. Длительность самого импульса при этом составляет единицы пикосекунд. Таким образом, принимая интервал $[0,T]$ равным 10-2 с, получаем вполне достаточную для моделирования сигнала временную область.

Наряду с этим, сформулированы основные требования к разработке теорий FTF-сигналов.

Рассмотрена конкретная группа элементарных моделей в виде тригонометрических рядов. Получены некоторые оценки влияния девиации частоты на точность моделирования и получены выражения (26) и (27) для моделей сигналов, минимизирующих такие влияния для определенных условий.

В развитии темы представляет интерес получения соответствующих результатов для разложений по системам почти ортогональных функций. Кроме того, в рамках рассмотренной группы моделей интересно получить аналоги выражений для критериев Найквиста и замкнутые формулы для сигналов с известными дискретными спектрами.

Литература

1. Форсайт Дж. Численное решение систем линейных алгебраических уравнений / Форсайт Дж., Молер К. ; пер. с англ. – М. : Мир, 1969. – 168 с.

2. Решетняк Г.Ю. Теоремы устойчивости в геометрии и анализе / Решетняк Г.Ю. – М. : Наука, 1982. – 228 с.

3. Филиппов Б.И. Теория электрической связи : учебное пособие / Филиппов Б.И. – Сибирский ГУ телекоммуникаций и информатики, 2011. – 283 с.

4. Троцишин І.В. Вимірювання та перетворення фазочастотних параметрів радіосигналів / Троцишин І.В. – Хмельницький : ПП Ковальський В.В., 2002. – 382 с.

5. Котельников В.А. О пропускной способности «эфира» и проволоки в электросвязи : материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности / Котельников В.А. – М., 1933. – 289 с.

6. Калюжный Н.М. Обобщенная теорема отсчетов для реализации эффективной обработки сигналов в условиях априорной неопределенности / Н.М. Калюжный // Прикладная радиоэлектроника. – 2009. – Т. 8. № 4. – С. 542–548.

7. Кравченко В.Ф. Применение теоремы Кравченко-Котельникова к интерполяции случайных процессов / В.Ф. Кравченко, А.Р. Сафин // Тезисы доклада. III Всерос. конф. «Радиолокация и радиосвязь» / ИРЭ РАН, 26–30 октября 2009. – С. 836–841.

8. Хармут Х. Теория секвентного анализа / Хармут Х. – М. : Мир, 1980. – 576 с.

9. Daniel T.L., Lee and Akia Yamamoto. Wavelet analysis: Theory and Applications. Hewlet-Packard Journal. 1994. P. 44–52.

10. Макаров Т.В. Когерентные волоконно-оптические системы передачи / Макаров Т.В. – Одесса : ОНАС им. А.С. Попова, 2009. – 220 с.

11. Чезаре Э. Элементарный учебникъ алгебраическаго анализа и исчисленія безконечно малыхъ / Чезаре Э. – Одесса : Книгоиздательство «Матезисъ», 1913. – 642 с.

12. Прудников А.П. Интегралы и ряды. Элементарные функции / Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.И. – М. : Наука, 1981. – 800 с.

Рецензія/Peer review : 6.1.2017 р. Надрукована/Printed :8.2.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Троцишин І.В.

УДК 678.023.5

О.М. СИНЮК
Хмельницький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗАПОВНЕННЯ РОЗПЛАВОМ ПОЛІМЕРУ ПОРОЖНИНИ ПРЕС-ФОРМИ З АРМУЮЧИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ

Розроблена математична модель процесу заповнення прес-форми розплавом полімеру та виведені на основі даної моделі матричні рівняння для розв'язку їх методом скінчених елементів для плоского та осесиметричного випадків. Дана модель пов'язує геометричні параметри порожнини прес-форми, технологічні параметри процесу лиття під тиском, властивості матеріалу з одного боку та структуру готового полімерного виробу з іншого.

Ключові слова: лиття під тиском, прес-форма, розплав, полімер, армуючі елементи, моделювання, структура, спаї.

O.M. SYNYUK
Khmelnytskyi National University

MODELING OF THE PROCESS OF FILLING WITH POLYMER MELT THE CAVITY OF MOLDS WITH REINFORCING ELEMENTS

We developed the mathematical model of the process of filling the mold with the polymer melt, and on the basis of the model, we deduced matrix equations for solving them by finite element for plane and axisymmetric cases. This model links the geometrical parameters of the mold cavity, technological parameters of injection molding, material properties on the one hand, and the structure of the finished polymer product on the other hand.

Keywords: injection molding, press-form, fusion, polymer, reinforcing elements, modelling, structure, junctions.

Сьогодні широке застосування в легкій промисловості отримали полімерні вироби, що є гетерофазними системами, тобто системами, що складаються з двох і більше компонентів із збереженням індивідуальності кожного з них.

Процес отримання таких виробів полягає в заповненні полімерним матеріалом порожнини прес-форми із заздалегідь розміщеними в ній різними наповнювачами (армуючими елементами). Армуючі матеріали можуть бути у вигляді волокон, джгутів, ниток, стрічок, багатошарових тканин. Вміст армуючого матеріалу в орієнтованих полімерах становить 60–80% від загального обсягу, в неорієнтованих (з дискретними волокнами) – 20–30% від об'єму. Чим вище міцність і модуль пружності волокон, тим вище міцність і жорсткість композиційного матеріалу. Композиційні матеріали відрізняються від звичайних матеріалів більш високими значеннями границі витривалості (на 50–100%), модуля пружності, коефіцієнта жорсткості і зниженою схильністю до тріщин. Застосування композитних матеріалів підвищує жорсткість виробу при одночасному зниженні її матеріалоємності, якщо як наповнювач використовувати волокна перероблених полімерних відходів.

Однак, існує один суттєвий недолік, який полягає в тому, що при заповненні полімерним матеріалом порожнини прес-форми з армуючими елементами останні відіграють роль перешкод, при обтіканні яких утворюються спаї [1], що знижують фізико-механічні характеристики виробів. Для усунення даного недоліку пропонується змоделювати процес обтікання полімерним матеріалом армуючих елементів.

Розроблений раніше кінцево-різницевий метод маркерів і комірок [1, 2] не здатний описувати течії з вільною поверхнею в геометрично складних каналах або при обтіканні декількох перешкод, якими є, наприклад волокна. Цей недолік відсутній в методі кінцевих елементів, який знайшов широке застосування в різних областях науки і техніки. Відзначимо роботи, в яких МСЕ безпосередньо використовувався для вирішення завдань течії рідини з вільною поверхнею.

В статті [3] даний чисельний аналіз руху нев'язкої рідини через водозлив. Варіаційний принцип виводиться для випадку, коли границя вільної поверхні формується силами тяжіння. В якості незалежних варійованих величин обрані функція току і профіль вільної поверхні. Рішення здійснюється за допомогою ітераційної процедури. Течія без деформування вільної поверхні розглянуто в [4].

Велика кількість робіт присвячено вивченню явища розбухання струменя при виході її з сопла литтєвого агрегату (ця задача методом кінцевих різниць вирішена в статті Синюк). У роботах [5] розв'язані задачі формування вільної поверхні рідини, що виходить з капіляра під дією поверхневого натягу, пружності і перерозподілу швидкостей.

В роботі [6] за допомогою різних модифікацій методу скінченних елементів вирішені задачі про водозлив, утворення хвиль на поверхні рідини, що знаходиться в циліндричній посудині. В [7] розглянуто рух бульбашки повітря, що рухається з рідиною по циліндричному каналу. Плоска задача з вільною поверхнею з урахуванням сил поверхневого натягу вирішена в [8].

Для повзучих течій в'язкої рідини в роботі [9] запропонований метод псевдоконцентрацій, близький за своєю суттю до кінцево-різницевого методу МАС. Всім елементам сітки присвоюється псевдоконцентрація, значення якої вказує на наявність або відсутність в'язкої рідини. Даний підхід використовує ейлерову концепцію течії, аналогічну методу МАС.

В [10] запропоновано довільний лагранжево-ейлеровий підхід в кінцево-елементній постановці для вирішення задач течії ньютонівської рідини при великих переміщеннях вільної поверхні.

Робіт, які застосовували МСЕ для розрахунку течій рідини з вільною поверхнею, вкрай мало. Це роботи [11], в яких при чисельній реалізації як варійовані функції використані компоненти тензора напружень і вектора швидкостей. Як приклади в цих роботах представлені процеси витікання рідини з зазору між плитами, витікання неньютонівської рідини з посудини, нахиленої до горизонту і розтікання циліндричного стовпа в'язкої рідини. Стаття [12] присвячена вирішенню осесиметричної задачі про витіканні рідини з круглої труби під дією сили тяжіння.

В даний час мало робіт із застосування методу скінченних елементів для дослідження технологічних процесів лиття полімерів під тиском. Відзначимо тут роботи [13], присвячені розрахунку інжекційного формування, при якому відбувається заповнення плоскої щілини, при цьому вільна поверхня зазнає великі зміни форми. З останніх вітчизняних робіт в цьому плані необхідно відзначити роботи [14], в яких вирішені завдання про повному заповненні прес-форм неньютонівською рідиною, причому з урахуванням кінетики її затвердіння.

В даній роботі наводиться математична формулювання завдання з позицій ейлерової і лагранжевої концепцій течії з тим же припущеннями, що і при використанні методу МАС, що випливають із специфіки розглянутого повільного, ізотермічного плину високов'язкої рідини, яке має місце при литті полімерних виробів легкої промисловості під тиском.

Варіаційний принцип для задачі течії ньютонівській рідини був сформульований в роботі [15]. Функціонал, що відповідає цьому принципу, має вигляд:

$$F(v,p)=\int_V\left(-pd_{ii}+\mu d_{ij}d_{ij}-g_iv_i\right)dV-\int_{S^*}r_iv_i\,dS^*. \tag{1}$$

Тут параметрами, які варіюють, є вектор швидкості v з компонентами v_i і скалярна величина тиску p; d_{ij} – компоненти тензора швидкостей деформації; μ – динамічна в'язкість рідини; g_i – компоненти вектора масових сил; V – об’єм, що займає рідина; S^* – частина поверхні, на якій задані зусилля r_i. Для випадку течії рідини з вільною від навантажень поверхнею інтеграл в рівнянні (1) зникає, тобто :

$$F(v,p)=\int_V\left(-pd_{ii}+\mu d_{ij}d_{ij}-g_iv_i\right)dV. \tag{2}$$

Згідно з варіаційним принципом векторне поле швидкості і скалярне поле тиску задовольняє рівнянням (1), (2) і граничним умовам для швидкостей. Тоді функціонал (2) приймає стаціонарне значення в тому і тільки тому випадку, якщо v і p є рішенням крайової задачі течії нестисливої ньютонівської рідини з вільною поверхнею.

Розглянемо виведення матричних рівнянь МКЕ. Запишемо функціонал для суцільного середовища, розділеного на елементи, що зв'язані у вузлах:

$$F(v_i,p)=\sum_{n=1}^{N}\int_V\left(\left\{p^n\right\}^T\left\{d^n\right\}+\mu_n\left\{d^n\right\}^T\left\{d^n\right\}-\left\{v^n\right\}^T\left\{g^n\right\}\right)dV_n. \tag{3}$$

Тут N – кількість елементів, V_n – об’єм n-го елемента; μ_n – в'язкість рідини в n-му елементі; індекс T означає транспонування.

Усередині кожного елемента скалярне поле тиску і векторне поле швидкості апроксимується алгебраїчними поліномами відносно просторових координат

$$\begin{aligned}\left\{v^n\right\}&=\left[e^n(x)\right]\left\{\alpha_1^n\right\},\\ p^n&=\left[c^n(x)\right]\left\{\alpha_2^n\right\}.\end{aligned} \tag{4}$$

Матриця $\left[e^n\right]$ і $\left[c^n\right]$ рядок містять алгебраїчні поліноми, а стовпці $\left\{\alpha_1^n\right\}$ і $\left\{\alpha_2^n\right\}$ – є узагальненими змінними.

Підставляючи в рівняння (4) значення координат вузлів елемента і вирішуючи отримані системи рівнянь відносно $\left\{\alpha_1^n\right\}$ і $\left\{\alpha_2^n\right\}$ отримаємо зв'язок між узагальненими і фізичними змінними:

$$\begin{aligned}\left\{\alpha_1^n\right\}&=\left[\beta^n\right]\left\{v\right\},\\ \left\{\alpha_2^n\right\}&=\left[\gamma^n\right]\left\{p\right\},\end{aligned} \tag{5}$$

де стовпці $\left\{v\right\}$ і $\left\{p\right\}$ представляють собою значення компонент вектора швидкості v і тиску p у вузлах, а матриці перетворення $\left[\beta^n\right]$, $\left[\gamma^n\right]$ залежать тільки від координат вузлів.

Якщо тиск p постійний в межах кожного елемента, то

$$p_n=\left[0...1...0\right]\left\{p\right\}. \tag{6}$$

Тут рядок містить нулі, крім n-го члена, тоді поле тиску має розриви на межах елементів.

Стовпець тензора швидкостей деформацій визначається співвідношенням:

$$\left\{d^n\right\}=\left[\alpha^n(x)\right]\left[\beta^n\right]\left\{v\right\}. \tag{7}$$

де матриця $\left[\alpha^n(x)\right]$ отримана диференціюванням матриці $\left[d^n\right]$ за координатами відповідно до визначення тензора швидкостей. З фізичних міркувань ясно, що p і $\left\{d^n\right\}$ повинні бути функціями координат однакового ступеня, тому рядок $\left[c^n(x)\right]$ і матриця $\left[\alpha^n(x)\right]$ повинні містити поліноми однакового ступеня, а ступінь поліномів в матриці $\left[d^n(x)\right]$ повинна бути на одиницю вище.

З огляду на (4), (5) і (7) функціонал (3) запишеться в такому вигляді:

$$F(v_i, p) = [p]^T [A_1] [v] + [v]^T [A_2] [v] - [v]^T \{F\} . \tag{8}$$

де

$$[A_1] = -\sum_{n=1}^{N} \left[\gamma^n\right]^T \int_{V_n} \left[c^n\right] \{I\}^T \left[\alpha^n\right] dV_n \left[\beta^n\right], \tag{9}$$

$$[A_2] = \sum_{n=1}^{N} \left[\beta^n\right]^T \int_{V_n} \left[\alpha^n\right]^T \mu_n \left[\alpha^n\right] dV_n \left[\beta^n\right], \tag{10}$$

$$\{F\} = \sum_{n=1}^{N} \left[\beta^n\right]^T \int_{V_n} \left[d^n\right]^T \left\{g^n\right\} dV_n , \tag{11}$$

Тут $\{I\} = [111000]^T$ – матричний аналог символу Кронекера, а вектор $\{F\}$ представляє собою вектор навантаження, що включає масові сили.

Візьмемо першу варіацію функціонала (8) і прирівняємо її до нуля:

$$\delta F(v, p) = \{\delta p\}^T [A_1] \{v\} + \{\delta v\}^T \left([A_1]^T \{p\} + 2[A_2] \{v\} - \{F\} \right) = 0 . \tag{12}$$

Використовуючи незалежність варіацій, з рівняння (12) отримаємо систему матричних рівнянь:

$$\left.\begin{aligned} [A_1]^T \{p\} + 2[A_2] \{v\} &= \{F\}, \\ [A_1] \{v\} &= 0. \end{aligned}\right\} \tag{13}$$

Для більшої наочності можна переписати систему (13) у такому вигляді:

$$\begin{bmatrix} 2[A_2] & [A_1]^T \\ [A_1] & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v \\ p \end{bmatrix} = [A] \begin{bmatrix} v \\ p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F \\ 0 \end{bmatrix} . \tag{14}$$

Виконання граничних умов здійснюється перетворенням відповідних рядків матриці $[A]$ системи (14).

Вирішуючи цю систему рівнянь, можна отримати розподіл швидкості і тиску на даному часовому кроці. Процедура розрахунку течії нелінійно в'язкої рідини абсолютно аналогічна процедурі, описаній в роботі [1, 2] для методу маркерів і комірок. Так само будується ітераційний процес, в якому на кожному етапі проводиться розрахунок поля швидкості рідини з в'язкістю, що визначена за відомим реологічним законом, і значенням швидкостей з попереднього циклу. Ітерації тривають до тих пір, поки в усіх елементах не виконається умова рівності величин інтенсивностей швидкостей зсуву із заданим ступенем точності.

Розглянемо детальніше особливості матричних рівнянь для плоского і осесиметричного випадків.

Нехай течія відбувається в площині декартової системи координат x, y. Вектор швидкості v має відповідні компоненти u і υ. Розіб'ємо область течії на трикутні кінцеві елементи. Розглянемо трикутник з вузлами у вершинах i, j, k, всередині якого швидкості є лінійними функціями координат:

$$\left\{u^n\right\} = \begin{Bmatrix} u \\ \upsilon \end{Bmatrix}^n = \begin{bmatrix} 1 & 0 & x & 0 & y & 0 \\ 0 & 1 & 0 & x & 0 & y \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \alpha_1 \\ \alpha_2 \\ \alpha_3 \\ \alpha_4 \\ \alpha_5 \\ \alpha_6 \end{Bmatrix} = \left[e^n\right] \{\alpha\} . \tag{15}$$

Тут $\{\alpha\}$ виражається через значення вектора швидкості у вузлах:

$$\{\alpha\} = \begin{bmatrix} \beta_{1i} & 0 & \beta_{1j} & 0 & \beta_{1k} & 0 \\ 0 & \beta_{1i} & 0 & \beta_{1j} & 0 & \beta_{1k} \\ \beta_{2i} & 0 & \beta_{2j} & 0 & \beta_{2k} & 0 \\ 0 & \beta_{2i} & 0 & \beta_{2j} & 0 & \beta_{2k} \\ \beta_{3i} & 0 & \beta_{3j} & 0 & \beta_{3k} & 0 \\ 0 & \beta_{3i} & 0 & \beta_{3j} & 0 & \beta_{3k} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} u_i \\ \upsilon_i \\ u_j \\ \upsilon_j \\ u_k \\ \upsilon_k \end{Bmatrix}, \tag{16}$$

де $\beta_{1i}=\frac{1}{2\Delta_n}\left(x_i y_k - x_k y_j\right)$; $\beta_{2i}=\frac{1}{2\Delta_n}\left(y_j - y_k\right)$; $\beta_{3i}=\frac{1}{2\Delta_n}\left(x_k - x_j\right)$. Решту отримують циклічною перестановкою індексів.

Тут

$$\Delta_n=\frac{1}{2}\left[x_i\left(y_j-y_k\right)+x_j\left(y_k-y_i\right)+x_k\left(y_i-y_j\right)\right], \tag{17}$$

Δ_n – площа трикутного елемента, $\Delta_n>0$, якщо вузли i, j, k розташовані проти годинникової стрілки.

Підставляючи (16) в (15), отримаємо:

$$\begin{Bmatrix} u \\ \upsilon \end{Bmatrix}^n = \left[e^n\right]\left[\beta^n\right]\{v\}=\left[\beta^n\right]\{v\}. \tag{18}$$

Вираз для швидкостей деформацій отримаємо диференціюванням матриці за координатами x і y відповідно до визначення тензора швидкостей:

$$\begin{Bmatrix} d_{xx} \\ d_{yy} \\ \sqrt{2}d_{xy} \end{Bmatrix}^n = \left[\alpha^n\right]\left[\beta^n\right]\{v\}=\left[\beta^n\right]\{v\}. \tag{19}$$

де $\left[e^n\right]=\begin{bmatrix} \beta_{2i} & 0 & \beta_{2j} & 0 & \beta_{2k} & 0 \\ 0 & \beta_{3i} & 0 & \beta_{3j} & 0 & \beta_{3k} \\ \frac{\beta_{3i}}{\sqrt{2}} & \frac{\beta_{2i}}{\sqrt{2}} & \frac{\beta_{3j}}{\sqrt{2}} & \frac{\beta_{2j}}{\sqrt{2}} & \frac{\beta_{3k}}{\sqrt{2}} & \frac{\beta_{2k}}{\sqrt{2}} \end{bmatrix}$.

Компоненти матриці $\left[e^n\right]$ не залежать від координат, отже, швидкості деформації є постійними в межах елемента. Тому і тиск також постійний в межах елемента

$$p_n=\left[0...1...0\right]\begin{Bmatrix} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ p_n \\ \cdot \\ \cdot \end{Bmatrix}, \tag{20}$$

де рядок містить усі нулі, крім n-го елемента.

Враховуючи позначення (18)–(20), з (9) випливає:

$$\left[A_1\right]^n=\int_{V_n}\left\{c^n\right\}\{I\}^T\left[e^n\right]dV_n=\left[\left[A_1^i\right]\left[A_1^j\right]\left[A_1^k\right]\right]=\left[\beta_{2i}\quad\beta_{3i}\quad\beta_{2j}\quad\beta_{3j}\quad\beta_{2k}\quad\beta_{3k}\right]\Delta_n. \tag{21}$$

Матриця $\left[A_1\right]$ має розмірність $M\times 2N$, де M – кількість елементів, а N – кількість вузлів сітки.

Матриця $\left[A_2\right]^n$ визначається з рівняння (10):

$$\left[A_2\right]^n=\int_{V_n}\left[e^n\right]^T\mu_n\left[e^n\right]dV_n=\begin{bmatrix} \left[A_2^{ii}\right] & \left[A_2^{ij}\right] & \left[A_2^{ik}\right] \\ \left[A_2^{ji}\right] & \left[A_2^{jj}\right] & \left[A_2^{jk}\right] \\ \left[A_2^{ki}\right] & \left[A_2^{kj}\right] & \left[A_2^{kk}\right] \end{bmatrix}, \tag{22}$$

Матриця $\left[A_2\right]$ – квадратна матриця $2N\times 2N$. Ненульові елементи матриці $\left[A_2\right]$ знаходяться на перетині рядків $2r-1, 2r$ і $2s-1, 2s$ стовпців, де $r,s=i,j,k$. Блоки $\left[A_2^{rs}\right]$ мають вигляд

$$\left[A_2^{rs}\right]=\begin{bmatrix} \beta_{2r}\beta_{2s}+\frac{1}{2}\beta_{3r}\beta_{3s} & \frac{1}{2}\beta_{3r}\beta_{3s} \\ \frac{1}{2}\beta_{2r}\beta_{2s} & \beta_{2r}\beta_{2s}+\beta_{3r}\beta_{3s} \end{bmatrix}\Delta_n\mu_n. \tag{23}$$

Вектор-стовпець навантаження має такий вигляд:

$$\{F\}=\int_{V_n}\left[\beta^n\right]\left\{g^n\right\}dV_n=\frac{\Delta_n}{3}\left[F_x F_y ... F_x\ F_y ... F_x\ F_y\right]^T. \tag{24}$$

Розглянемо осесиметричну течію рідини. Будемо вважати вісь x радіусом. Компоненту швидкості в цьому напрямку позначимо u. Вісь симетрії направимо уздовж осі y, а відповідна компонента швидкості буде υ. В якості кінцевого елемента в цьому випадку розглядається кільце, що утворене обертанням

трикутника навколо осі y. Для компонент швидкості u і υ та компонент матриці $[\beta^m]$ справедливі співвідношення (15), (16) і (17).

Геометричні співвідношення, що зв'язують компоненти тензора швидкостей з компонентами вектора швидкості мають вигляд:

$$d_{xx}=\frac{\partial u}{\partial x};\ d_{yy}=\frac{\partial \upsilon}{\partial y};\ d_{\theta\theta}=\frac{u}{x};\ d_{xy}=\frac{1}{2}\left(\frac{\partial u}{\partial y}+\frac{\partial \upsilon}{\partial x}\right). \tag{25}$$

Тоді стовпець швидкостей деформацій n-го елемента визначиться як

$$\begin{Bmatrix} d_{xx} \\ d_{yy} \\ d_{\theta\theta} \\ \sqrt{2}d_{xy} \end{Bmatrix}=\begin{bmatrix} \partial/\partial x & 0 \\ 0 & \partial/\partial y \\ 1/x & 0 \\ 1/\sqrt{2}\ \partial/\partial y & 1/\sqrt{2}\ \partial/\partial x \end{bmatrix}\left[\beta^n\right]\{v\}=\left[e^n\right]\{v\}, \tag{26}$$

де компоненти матриці $\left[e^n\right]$ виражаються через компоненти матриці $\left[\beta^n\right]$ таким же чином, як і плоскому випадку.

Тиск визначається з рівняння (20), тільки стовпець $\{I\}=\begin{bmatrix}1 & 1 & 1 & 0\end{bmatrix}^T$.

Обчислення матриць аналогічно плоскому випадку. Матриця $\left[A_1\right]^n$ має вигляд (21), а кожна її підматриця $\left[A_1\right]^s$ $(s=i,\ j,\ k)$ визначається таким виразом:

$$\left[A_1\right]^s=\left[\beta_{1s}+2\beta_{2s}x_0+\beta_{3s}y_0+\beta_{3s}x_0\right]\Delta_n, \tag{27}$$

де $x_0=\left(x_i+x_j+x_k\right)/3$; $y_0=\left(y_i+y_j+y_k\right)/3$ – координати центра тяжіння трикутника $i,\ j,\ k$.

Матриця $\left[A_2\right]^n$ має вигляд (22). Якщо ввести позначення:

$$J_1=\int_\Delta\frac{1}{x}dx\,dy;\quad J_2=\int_\Delta\frac{y}{x}dx\,dy;\quad J_3=\int_\Delta\frac{y}{x}dx\,dy, \tag{28}$$

то її підматриці $\left[A_2\right]^{ts}$ $(t,s=i,\ j,\ k)$ будуть визначатися таким виразом:

$$\left[A_2\right]^{ts}=\begin{bmatrix} \left(2\beta_{2t}\beta_{2s}+\frac{1}{2}\beta_{3t}\beta_{3s}\right)x_0\Delta_n+\beta_{1t}\beta_{1s}J_1+\beta_{3t}\beta_{3s}J_3+\left(\beta_{2t}\beta_{1s}+\beta_{1t}\beta_{2s}\right)\Delta_n+ & \frac{1}{2}\beta_{3t}\beta_{2s}x_0\Delta_n \\ +\left(\beta_{3t}\beta_{1s}+\beta_{1t}\beta_{3s}\right)J_2+\left(\beta_{3t}\beta_{2s}+\beta_{2t}\beta_{3s}\right)y_0\Delta_n & \\ \frac{1}{2}\beta_{2t}\beta_{3s}x_0\Delta_n & \left(\beta_{3t}\beta_{3s}+\frac{1}{2}\beta_{2t}\beta_{2s}\right)x_0\Delta_n \end{bmatrix}\mu_n \tag{29}$$

Матриці $\left[A_1\right]$, $\left[A_2\right]$ і вектор навантаження $\{F\}$, що входять в рівняння (14), отримуються підсумовуванням відповідних матриць і векторів навантаження за елементами.

Реалізація методу скінченних елементів в представленому вигляді приводить до симетричної системи лінійних алгебраїчних рівнянь відносно невідомих вузлових значень компонент вектора швидкості і тиску.

Матриця $\left[A\right]$ системи має стрічковий вид, тобто всі її ненульові коефіцієнти за межами стрічки дорівнюють нулю. Таким чином, $\alpha_{ij}=0$, якщо $|i-j|>LSH$ і $\alpha_{k,k-LSH}\neq 0$ та $\alpha_{k,k+LSH}\neq 0$ хоча б для одного значення k. Тут LSH – півширина, а $2LSH+1$ – ширина стрічки. Взагалі кажучи, нульові коефіцієнти можуть зустрічатися і всередині смуги.

Формування симетричної стрічкової матриці $\left[A\right]$ здійснюється таким чином. Область течії, що розглядається, покривається сіткою чотирикутних елементів, в межах кожного з яких тиск приймається постійним. Для отримання трикутної сітки всі чотирикутники діляться діагоналями на два елементи. Всередині утворених трикутників компоненти вектора швидкості є лінійними функціями координат і виражаються через вузлові значення швидкості.

У кожному вузлі нумеруються дві компоненти вектора швидкості і тиск, який відноситься до верхнього лівого кута чотирикутника. Складання матриці ведеться за елементами трикутної сітки.

Рішення результуючої системи лінійних рівнянь здійснюється методом Гаусса, що модифікований для симетричних стрічкових матриць.

На основі описаної методики створено комплекс програм методу скінченних елементів, що дозволяє моделювати плоскі і осесиметричні течії нелінійно в'язких рідин з вільною поверхнею в областях складної форми та обтікання полімерним матеріалом різноманітних перешкод. В комплекс входять програми, що дозволяють автоматично розбивати вихідну область на трикутні елементи, формувати матрицю кінцевих елементів з урахуванням граничних умов, вирішувати систему лінійних рівнянь, яка утворилася, використовуючи її стрічковий характер і симетричність. Результат досліджень представлений на рис. 1.

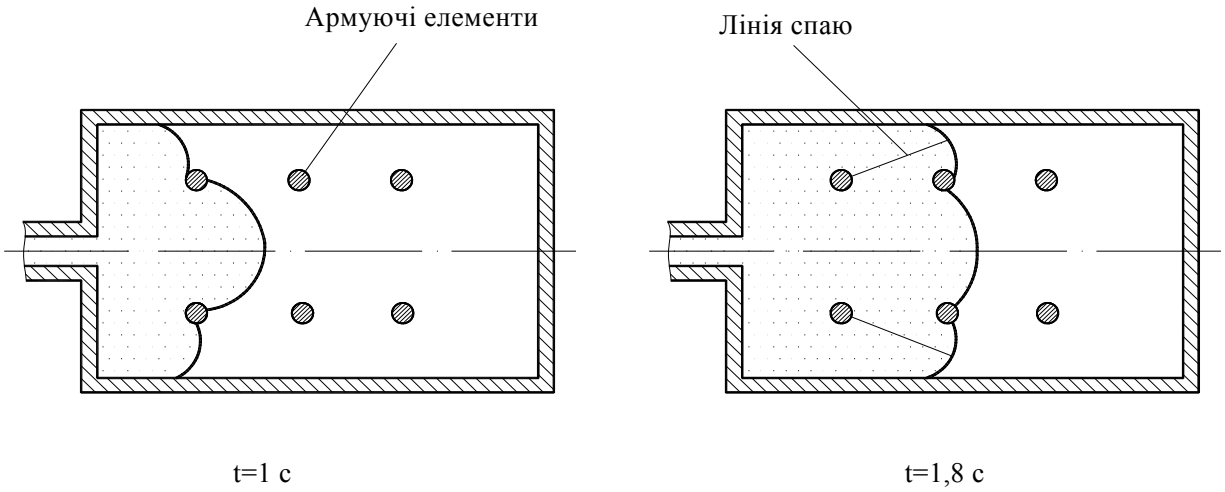


Рис. 1. Моделювання процесу заповнення полімером прес-форми з армуючими елементами

Як видно з рис. 1 в процесі заповнення полімером порожнини з армуючими елементами утворюються лінії спаїв, що знижують експлуатаційні властивості виробів. Якщо в процесі експлуатації на виріб будуть діяти розтягуючи навантаження вздовж осі, то слід визначити такі конструкційні параметри прес-форми і технологічні параметри процесу лиття, які забезпечили б орієнтацію спаїв вздовж дії навантажень розтягу, що можливо, якщо змоделювати процес заповнення порожнини прес-форми.

Висновки. Розроблена математична модель процесу заповнення прес-форми розплавом полімеру та виведені на основі даної моделі матричні рівняння для розв'язку їх методом скінчених елементів для плоского та осесиметричного випадків. Дана модель пов'язує геометричні параметри порожнини прес-форми, технологічні параметри процесу лиття під тиском, властивості матеріалу з одного боку та структуру полімерного виробу з іншого.

Отримані матричні рівняння тестувалися шляхом моделювання процесу заповнення полімером прес-форми з шістьома армуючими елементами. В результаті заповнення прес-форми був отриманий полімерний виріб, який містить лінії спаїв, що утворилися за армуючими елементами. Зазначені лінії спаїв орієнтовані під кутом до осі симетрії, а це означає, що експлуатаційні характеристики вздовж осі симетрії виробу з армуючими елементами будуть нижчими за експлуатаційні характеристики цього ж виробу, але без армуючих елементів. Тобто, покращуючи експлуатаційні показники поперек осі симетрії виробу шляхом додавання армуючих елементів, ми, тим самим, погіршили фізико-механічні показники вздовж осі симетрії виробу.

Підбираючи конструкційні параметри прес-форми та технологічні параметри процесу лиття під тиском можна домогтися орієнтації спаїв вздовж осі симетрії полімерного виробу, що забезпечить незмінність експлуатаційних властивостей вздовж осі симетрії виробу та покращення їх в поперечному до осі напрямку.

Література

1. Синюк О.М. Метод маркерів і комірок у задачах руху рідин з вільною поверхнею / О.М. Синюк, Б.М. Злотенко, М.Є. Скиба // Вісник Технологічного університету Поділля. – 1999. – № 6. – С. 142–144.

2. Сынюк О.Н. Конечно-разностный метод исследования процесса заполнения прямоугольной пресс-формы путем визуализации потока расплава / О.Н. Сынюк, Б.Н. Злотенко, Н.Е. Скиба // Вісник Киевского государственного университета технологий и дизайна. – 2000. – № 2. – С. 48–53.

3. Ikegawa M. Finite element method applied to analysis of flow over a spillway crest / M. Ikegawa, K. Washizu // International Journal for Numerical Methods in Engineering. – 1973. – Vol. 6. – № 2. – P. 179–189.

4. Bathe K. Some experieces using finite element methods for fluid flow problems / K. Bathe, V. Sonnard, P. Domigan // Finite Elements in Water Resources, Proceedings 4 th of International Conferences. – 1982. – P. 3–16.

5. Finlayson B. A. Mathematical modelling of polymer flows / B. A. Finlayson, N. Y. Tuna // Proc. 4th Int. Simposium on Finite Element and Flow Problems. – 1984. – P. 363–370.

6. Washizu K. Some applications of finite elements techniques to nonlinear free surface fluid flow problems / K. Washizu // The American Institute of Aeronautics and Astronautics. – 1985. – Vol. 34. – P. 3–15.

7. Shen E. I. A finite element study of low Reynolds number two-phase flow in-cylindrical tubes / E. I. Shen, K. S. Udell // American Society of Mechanical Engineers. – 1985. – Vol. 52. – № 2. – P. 253–256.

8. Cuvelier C. A time dependent free boundary governed by the Navier-Stokes equations / C. Cuvelier // Lecture Notes in Physics, 9 th International Journal for Numerical Methods in Fluids. – 1985. – Vol. 218. – P. 170–174.

9. Thompson E. Use of pseudo-concentrations to follow creeping viscous flows during transien analysis / E. Thompson // International Journal for Numerical Methods in Fluids. – 1986. – Vol. 6. – № 10. – P. 749–761.

10. Gendre P. Free-surface flow with large displacement by finite elements / P. Gendre, M. Hittinger, P. Ravier // Hydraulic Engineering Software, Proc. 2 th Int. Conf. – 1986. – P. 51–58.

11. Госмен А. Д. Численные методы исследования течений вязкой жидкости / А. Д. Госмен, В. М. Пан, А. К. Ранчел, Д. Б. Сполдинг – М. : Мир, 1972. – 324 с.

12. Березин И. К. Методы расчета течений со свободными границами / И. К. Березин, Г. В. Левина // Реологические свойства полимерных систем. – Свердловск, 1979. – С. 20–28.

13. Chen B. S. Numerical simulation and experimental investigation mold filling with melt solidification / B. S. Chen, W. H. Liu // Polymer engineering and science. – 1989. – Vol. 29. – № 15. – P. 1039–1050.

14. Липанов А. М. Численное моделирование ползущих течений неньютоновских жидкостей со свободной поверхностью / А. М. Липанов, М. Ю. Альес, Ю. Н. Константинов // РАН – Математическое моделирование. – 1993. – Т. 5. – № 7 – С. 3–9.

15. Няшин Ю. И. Вариационная формулировка нестационарной задачи течения линейно-вязкой среды / Ю. И. Няшин, Р. М. Подгаец, Н. М. Дедюкин // Гидродинамические и прочностные характеристики машин и конструкцій : сб. научных трудов ППИ. – Пермь, 1972. – С. 68–72.

Рецензія/Peer review : 28.1.2017 р. Надрукована/Printed :18.2.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Скиба М.Є.

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Повні вимоги до оформлення рукопису
http://vestnik.ho.com.ua/rules/

Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету, протокол протокол № 9 від 31.01.2017 р.

Підп. до друку 31.01.2017 р. Ум.друк.арк. 36,51 Обл.-вид.арк. 34,74
Формат 30х42/4, папір офсетний. Друк різографією.
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