

ISSN 2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

3.2017

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки
Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2017, Issue 3, Volume 249

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, № 3 (249)

**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

Голова редакційної колегії серії "Технічні науки" **Бойко Ю.М.**, д. т. н., професор кафедри телекомунікацій та радіотехніки, начальник науково-дослідної частини 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., Бойко Ю.М., 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., 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., Лунтовський А.О., д.т.н. (Німеччина), Мазур М.П., д.т.н., Мандзюк І.А., д.т.н., Мартинюк В.В., 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., Поморова О.В., д.т.н., 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., Семенко А.І., д.т.н., Сілін Р.І., д.т.н., Славінська А.Л., д.т.н., Сорокатиї Р.В., д.т.н., Сурженко Є.Я., д.т.н. (Росія), Шинкарук О.М., д.т.н., Шклярський В.І., д.т.н., Щербань Ю.Ю., д.т.н., 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 № 13 від 25.05.2017 р.**

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

т	(038-22) 2-51-08	web:	http://journals.khnu.km.ua/vestnik
e-mail:	visnyk.khnu@gmail.com		http://vestnik.ho.com.ua
			http://lib.khnu.km.ua/visnyk_tup.htm

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.
Свідectво 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**А.О. СЯСЬКИЙ, Н.В. ШЕВЦОВА**

ПЕРЕДАЧА ПАРИ СИЛ ДО КОНТУРУ КРИВОЛІНІЙНОГО ОТВОРУ ПЛАСТИНКИ ЧЕРЕЗ СИСТЕМУ ОДНАКОВИХ ПРУЖНИХ РЕБЕР 7

Я.Т. КІНИЦЬКИЙ, П.В. МІНЯЙЛО

КІНЕМАТИКА ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ ІЗ ЗУПИНКОЮ ВИХІДНОЇ ЛАНКИ, ОДЕРЖАНИХ НА БАЗІ ПРЯМОЛІНІЙНО-НАПРЯМНОГО КРИВОШИПНО-ПОВЗУННОГО МЕХАНІЗМУ 14

І.О. ПОХИЛЬЧУК, Т.О. ГАЛИЦЬКИЙ, О.Р. СТРИЛЕЦЬ, З.К. САСЮК

МЕТОДИКА ПІДБОРУ МАТЕРІАЛІВ ПАР ТЕРТЯ НОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ТОРЦЕВИХ УЦІЛЕНЬ ПІДВИЩЕНОЇ ГЕРМЕТИЧНОСТІ 17

О.Р. СТРИЛЕЦЬ

ОБґРУНТУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ ЗУБЧАСТОЇ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧІ З ВЕДУЧИМ ВОДИЛОМ І ВЕДЕНИМ ЕПІЦИКЛОМ АБО НАВПАКИ У ПРИСТРОЇ ЗМІНИ ШВИДКОСТІ 21

В.С. КУРСКОЙ, В.В. ЛЮХОВЕЦЬ, О.С. ЗДИБЕЛЬ

АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЖИВЛЕННЯ ЦИКЛІЧНО-КОМУТОВАНОГО РОЗРЯДУ В УСТАНОВКАХ АЗОТУВАННЯ 27

А.О. РАМСЬКИЙ

ЗМЕНШЕННЯ НАПРУЖЕНЬ ПЛИТИ ПІД ДІЄЮ ЗОВНІШНЬОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОКРИТТЯ ЇЇ ШАРОМ ІЗ ПОЧАТКОВИМИ НАПРУЖЕННЯМИ 32

О.І. ПЕРЕДРІЙ, І.В. ЄМЧЕНКО

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ НАПОВНЕНОГО ПОЛІАЛЮМОСИЛОКСАНУ ПІД ЧАС НАГРІВАННЯ 37

В.В. ЧАБАН, Є.О. КОРОБЧЕНКО

ЗНИЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТОВАРОПРИЙОМНОГО МЕХАНІЗМУ ПРИ ПУСКУ КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ 42

М.М. КОСПЮК, С.А. КОСТЮК

ФОРМОУТВОРЕННЯ НЕПОВНИХ СФЕРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ НА УНІВЕРСАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ ТОКАРНОЇ ГРУПИ 47

Н.М. ЗАЩЕПКИНА, Ю.С. ГРЕЧУХА, Т.І. КУЛІК, Б.М. ЗЛОТЕНКО

ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ ТА КОНФІГУРАЦІЇ ЧАСТИН ЛИТИХ КОМБІНОВАНИХ ВИРОБІВ З ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ 52

О.М. ПИЛИПЕНКО, О.В. БАТРАЧЕНКО, І.М. ЛИТОВЧЕНКО

ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗАДНІХ СПОЙЛЕРІВ СІДЕЛЬНИХ АВТОПОТЯГІВ 60

В.А. НАСТАСЕНКО

КАК РАСШИРИТЬ ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН COROCUT-3, MULTICUT 4 И RENTACUT В ОТРЕЗНЫХ РЕЗЦАХ 66

И.В. БЛАХ

НОВАЯ РАЗНОВИДНОСТЬ ТРЕХСТОРОННИХ ДИСКОВЫХ СБОРНЫХ ФРЕЗ И ИХ ЭКСПЛУАТАЦИЯ 70

В.І. ОСИПЕНКО, Н.В. ФІЛІМОНОВА, О.В. БАТРАЧЕНКО

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОДАЧІ М'ЯСНОЇ СИРОВИНИ ШНЕКОМ ВОВЧКА 73

С.Л. ГОРЯЩЕНКО, С.В. УСПАЛЕНКО МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТЕПЛО-ХОЛОДОАКУМУЛЮЮЧОЇ СИСТЕМИ	77
---	----

ТЕХНОЛОГІЇ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Л.П. ЧЕРТЕНКО, А.В. ГОПЕНКО ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ 3D САПР ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ПОВЕРХНІ ВЗУТТЄВОЇ КОЛОДКИ	80
Л.В. КРАСНЮК, Л.О. ДЯК ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ ЧОЛОВІЧОЇ КУРТКИ З РОЗШИРЕНИМИ ФУНКЦІОНАЛЬНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ	86
О.В. НАХАЙЧУК, О.С. ЗАХАРОВ, А.А. МІЗРАХ ЗАСТОСУВАННЯ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ ДЕТАЛЕЙ ОДЯГУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЙОГО КОМФОРТНОСТІ	93
Г.С. ОЛІЙНИК, І.О. КОЛОС, Н.В. НАШИЛОВА ГЕОТЕКСТИЛЬ: ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ У ЛАНДШАФТНОМУ ДИЗАЙНІ	96
НЕВЗАТ А. ГЮНДЖЕГОРЮ НЕВЗАТ ПРИНЦИПЫ ОБЩЕГО РЕШЕНИЯ СТАНДАРТНЫХ ЗАДАЧ ПО ХИМИИ	100
Є.М. ЗАВЕРАЧ, А.Я. ГАНЗЮК, З.М. ПОБУТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУЧАСНИХ АНТИСТАТИЧНИХ ПРЕПАРАТІВ ПРИ ОБРОБЦІ БЕЗВОРСОВИХ КИЛИМОВИХ ПОКРИТТІВ	103

РАДІОТЕХНІКА, ЕЛЕКТРОНІКА ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ

Н.А. ФИЛИНЮК, Л.Б. ЛИЩИНСКАЯ, С.Е. ФУРСА, В.П. СТАХОВ ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ МОНОИМИТАНСНОГО ЛОГИЧЕСКОГО С-ЭЛЕМЕНТА «И»	109
О.В. БОРОВИК, Р.В. РАЧОК, О.Ю. РУДИК, М.М. ДАРМОРОЗ РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ ВЕЖ СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ НА ОСНОВІ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ	116
О.Є. ЗЕМЛЯНСЬКИЙ, К.Л. ГОРЯЩЕНКО, В.С. КОВАЛЬ, А.В. КЛЕПЬКОВСЬКИЙ КОНТРОЛЬ СТАНУ ОПТИЧНОЇ ЛІНІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ FDR	121
Й.Й. БІЛИНСЬКИЙ, Б.П. КНИШ, Я.А. КУЛИК МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ РОБОТИ ФІЛЬТРІВ ПРИГЛУШЕННЯ ШУМІВ В ПАКЕТІ МАТНСAD	125
Н.В. ТІТОВА, С.В. ПАВЛОВ, С.М. ЗЛЕПКО НИЗЬКОЕНЕРГЕТИЧНА ФОТОННА ТЕХНОЛОГІЯ КЕРУВАННЯ ІНКУБАЦІЙНИМ ПРОЦЕСОМ	130
А.О. ПУЗАНОВ, Е.С. ГЕРАСИМЕНКО, Л.В. КАРПОВА ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРАТКОВРЕМЕННОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ СВЧ ГЕНЕРАТОРОВ. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ	136
І.С. ПЯТІН, Д.А. МАКАРИШКІН ДОСЛІДЖЕННЯ ПОСЛІДОВНОГО КАСКАДНОГО ТУРБОКОДУВАННЯ	142
Д.А. МАКАРИШКІН, Н.М. САМАРУК, І.С. ПЯТІН МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СУПЕРКОНДЕНСАТОРА ДЛЯ ОПТИМІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ЗОНДУЮЧИХ ІМПУЛЬСІВ НАДШИРОКОСМУГОВИХ МОБІЛЬНИХ РАДІОЛОКАТОРІВ	145

О.В. ШЕФЕР СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЛАЗМИ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ СУПУТНИКОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ	155
К.А. МАМОНОВ, К.О. МЕТЕШКІН, М.О. ГРЕК РОЗРОБКА СТЕЙКХОЛДЕРНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ ДО ОЦІНКИ ВПЛИВУ МІСТОБУДІВНИХ ФАКТОРІВ НА ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ МІСТ	160
І.Г. ЧИЖ, Я.В. КОПИЛОВ, В.Є. МИРОНОВИЧ АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БІОМЕТРІЇ ОКА ПРИ ХІРУРГІЇ КАТАРАКТИ	165
О.Н. РОМАНЮК, О.В. МЕЛЬНИК, І.В. АБРАМЧУК ВИЗНАЧЕННЯ ТИПІВ КРОКОВИХ ПРИРОСТІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ КОЛА НА ГЕКСАГОНАЛЬНОМУ РАСТРІ	172
Н.С. СВИРНЕВСКИЙ РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ПРОГРАММЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ, СВЯЗАННЫХ С АФФИННЫМИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯМИ ПРОСТРАНСТВА	176
Т.О. ГОВОРУЩЕНКО ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ДОСТАТНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	186
С.М. ЛИСЕНКО, К.Ю. БОБРОВНИКОВА, В.І. ДМИТРУК, А.С. АДАМЕНКО МЕТОД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВУЧОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ В КОРПОРАТИВНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ САМОАДАПТИВНОСТІ	196
К.М. ЯЛОВА, К.В. ЯШИНА УНІВЕРСАЛЬНА ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ АКАДЕМІЧНОЇ MASSIVE OPEN ON-LINE COURSE ПЛАТФОРМИ	201
Т.К. СКРИПНИК, Е.А. МАНЗЮК, С.О. СВИСТУН АРХІТЕКТУРА КАРКАСУ MODEL-VIEW-CONTROLLER ПРИ РОЗРОБЦІ ВЕБ-ДОДАТКІВ	208
Ю.П. ЗАСПА КОНТАКТНЕ ДИНАМО ЯК ГЕНЕРАТОР КОГЕРЕНТНИХ КОСМІЧНИХ ФОРМ РУХУ ТА ДЖЕРЕЛО ПЛАНЕТАРНОЇ, СОЛЯЧНОЇ, ГАЛАКТИЧНОЇ І МЕТАГАЛАКТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМУ. ЧАСТИНА VII	212
А.О. БЕРЕЗА, М.М. БИКОВ, В.В. КОВТУН ОПТИМІЗАЦІЯ АЛФАВІТУ ІНФОРМАТИВНИХ ОЗНАК ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ МОВЦІВ КРИТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ	222
О.В. ІВАНОВ, А.О. НІЧЕПОРУК, Р.Є. БЕЛЬФЕР, Б.О. САВЕНКО ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ КОРПОРАТИВНОГО ДОДАТКУ НА ПРИКЛАДІ СИСТЕМИ ОБЛІКУ РОБІТ ПІДПРИЄМСТВА	228
О.А. КРАВЧУК ПРАКТИЧНИЙ ОГЛЯД PHP 7	231
О.П. ВОЙТОВИЧ, М.В. ГУРСЬКИЙ, Л.М. КУПЕРШТЕЙН, Д.С. СНИГОВИЙ ЗАСІБ МОНІТОРИНГУ ДЛЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ANDROID	236
К.Л. ГОРЯЩЕНКО, В.П. НЕЗДОРОВІН, В.С. КОВАЛЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СТАНДАРТУ IEEE 1901 ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ПО ПРОВОДОВИХ ЛІНІЯХ	242
Є.Г. ГНАТЧУК, С.А. ДИКУН МОДЕЛЬ ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МОНІТОРИНГУ ДАНИХ КОРИСТУВАЧА В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ	245

УДК 539.3

А.О. СЯСЬКИЙ, Н.В. ШЕВЦОВА
Рівненський державний гуманітарний університет**ПЕРЕДАЧА ПАРИ СИЛ ДО КОНТУРУ КРИВОЛІНІЙНОГО ОТВОРУ
ПЛАСТИНКИ ЧЕРЕЗ СИСТЕМУ ОДНАКОВИХ ПРУЖНИХ РЕБЕР**

Запропоновано розв'язок мішаної контактної задачі про передачу пари сил до контуру криволінійного отвору в нескінченній ізотропній пластинці через систему однакових пружних ребер, які моделюються розімкненими криволінійними стрижнями (брусами) сталого прямокутного поперечного перерізу. Математичну модель задачі побудовано у вигляді системи інтегральних і диференціальних рівнянь для визначення компонент напруженого стану в пластинці та підсиленнях. Наближений розв'язок задачі реалізовано методом механічних квадратур і колокації. Досліджується вплив на напружений стан пластинки та підсилень форми отвору та відносної ширини ребра.

Ключові слова: підсилювальне ребро, контактні зусилля, нескінченна пластинка, структура розв'язку задачі, напружено-деформований стан.

A.O. SYASKII, N.V. SHEVTSOVA
Rivne State University of Humanities**THE FLOW OF COUPLE OF FORCES TO THE CONTOUR OF THE CURVILINEAR
HOLE IN AN PLATE THROUGH THE SYSTEM OF THE IDENTICAL ELASTIC RIB**

The solution to the mixed contact problem of the flow of couple of forces to the contour of the curvilinear hole in an infinite isotropic plate through the system of the identical elastic ribs, which are modelling as open curvilinear bar of constant rectangle cross section, has been proposed. The mathematical model of the problem has been constructed as the system of singular integral and differential equations to determine the components of the stress state in the plate and the reinforcements. The approximate solution of the problem has been realized by the method of mechanical quadrature and collocation. The influence of the shape of hole and the relative width of the ribs on the stress state of the plate and reinforcements has been explored.

Keywords: reinforcing rib, contact force, infinite plate, structure of the solution of the problem, mode of deformation.

Вступ

Тонкостінні пластинки з технологічними чи конструктивними отворами широко використовуються в різних галузях сучасного машинобудування та будівництва. Для зменшення високої концентрації напружень біля отворів їх контури підсилюють розімкненими ребрами сталої чи змінної жорсткості. Будучи розсіювачами концентрації напружень на контурі отвору, ці ребра дозволяють передавати через них до пластинки зосереджене силове або моментне навантаження. При цьому в околі торців підсилень виникають локальні зони підвищеної концентрації напружень, які можуть призвести до появи тріщин або зон пластичного руйнування. З огляду на це дослідження напруженого стану пластинки в околі торців підсилення є актуальною задачею механіки контактної взаємодії масивних і тонкостінних пружних тіл. Такі задачі складають теоретичну основу розрахунку шліцьових з'єднань в передачах обертового руху.

Аналіз досліджень і публікацій. Першими в цьому напрямку можна вважати роботи [1-3], де розглядаються плоскі мішані задачі для пружних тіл (пластинок з коловими контурами), підсилення кільцеподібними накладками. Тут наведено розв'язки задач про передачу осьових сил від накладки, яка моделюється частиною безмоментної циліндричної оболонки, до пружної пластинки. Методом ортогональних многочленів досліджується напружений стан пластинки з круговим отвором, підсиленням по контуру однією або двома кільцеподібними накладками. Вивчено напружений стан круглого диска, підсиленого двома кільцеподібними накладками і підвішеного нерозтяжними стрічками до нерухомої точки.

Моделюючи підсилювальне ребро пружною лінією змінної жорсткості на розтяг (стиск) в роботах [4, 5] побудовано системи сингулярних інтегрально-диференціальних рівнянь з ядрами Гільберта для визначення контактних зусиль в задачах про передачу сил і пар сил до контуру криволінійного отвору в пластинці через пружне ребро (систему ребер). Методом колокації досліджується вплив на напружений стан пластинки, яка перебуває в умовах узагальненого плоского напруженого стану, форми отвору, фізико-геометричних параметрів підсилення, виду навантаження.

У багатьох випадках практики через технологічні чи конструктивні причини підсилювальні ребра розміщені несиметрично відносно серединної площини пластинки, яка незалежно від зовнішнього навантаження буде перебувати в умовах узагальненого плоского напруженого стану і циліндричного згину. Низку задач про передачу зосереджених сил і пар сил до контуру криволінійного отвору в нескінченній ізотропній (ортотропній) пластинці через несиметричне пружне ребро (систему ребер) змінної жорсткості на розтяг (стиск) і згин розглянуто в [6, 7]. Методом механічних квадратур і колокації досліджується вплив на напружений стан пластинки несиметричності ребер та їх фізико-геометричних характеристик.

У розглянутих вище дослідженнях осі підсилювальних ребер ототожнювалися з лініями їх сполучення з пластинкою, що призводить до значних похибок при визначенні напружень у зоні торців

підсилювальних ребер.

Моделюючи підсилювальні ребра розімкненими пружними стрижнями (брусами) сталої жорсткості на розтяг (стиск) і згин у [8, 9] побудовано системи сингулярних рівнянь з ядрами Гільберта, які визначають розв'язки задач про передачу до колового контуру нескінченної ізотропної пластинки чи пружного круглого диска системи зосереджених сил (пари сил). При цьому вважається, що лінії сполучення пластинки (диска) з ребрами не співпадають з їх геометричними осями, а поперечні сили в підсиленнях відсутні. Наближені розв'язки задач визначаються методом колокації. Досліджується вплив ширини ребер і їх жорсткості на напружений стан пластинки (диска) та підсилень.

Для пластинок з криволінійними отворами, відмінними від кругових, такі задачі не розглядалися.

Мета роботи: побудова математичної моделі задачі про передачу пари сил до контуру криволінійного отвору нескінченної ізотропної пластинки через систему однакових пружних стрижнів; визначення компонент напруженого стану в пластинці та підсилювальних ребрах і дослідження впливу на ці величини форми отвору та фізико-геометричних параметрів ребер.

Виклад основного матеріалу дослідження

Нехай нескінченна ізотропна пластинка товщиною $2h$ послаблена криволінійним отвором, обмеженим гладкою циліндричною поверхнею. Середина площини пластинки віднесена до декартової (x_1, x_2) та полярної $(\tilde{r}, \delta)$ систем координат з початком у центрі отвору і перетинає цю поверхню по кривій Γ , яка має форму правильного m -кутника із закругленими кутами.

Припустимо, що на ділянках $[\alpha_0^* + 2\pi/m, \beta_0^* + 2\pi/m] \cup [\alpha_0^* + 4\pi/m, \beta_0^* + 4\pi/m] \cup \dots \cup [\alpha_0^* + 2(m-1)\pi/m, \beta_0^* + 2(m-1)\pi/m]$ поверхня отвору підсилена системою однакових симетричних відносно серединної площини пластинки пружних ребер сталого поперечного перерізу $2h_0 \times 2\eta$ (рис. 1), де α_0^*, β_0^* – полярні кути кінців першого підсилювального ребра; $2h_0, 2\eta$ – висота та ширина ребер; θ_0 – кут між нормаллю до осі ребра при $\delta = \alpha_0^*$ і віссю Ox_1 ;

$$-\pi/m < \alpha_0^* < \beta_0^* < \pi/m.$$

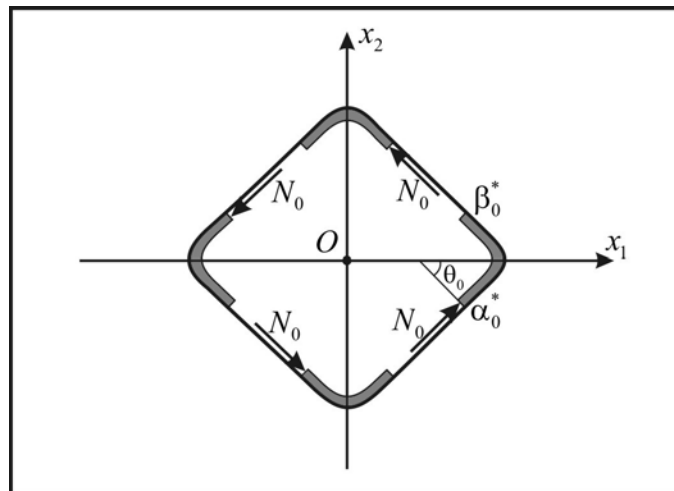


Рис. 1. Розрахункова схема задачі

До торців підсилень, що визначаються полярними кутами $\delta = \alpha_0^* + 2(k-1)\pi/m$ ($k = 1, 2, \dots, m$), прикладене рівномірно розподілене нормальне навантаження з головним вектором N_0 , який діє в серединній площині пластинки. Інше навантаження на пластинку та підсилювальні ребра відсутнє.

Математична модель задачі. Оскільки пластинка і підсилювальні ребра перебувають в умовах узагальненого плоского напруженого стану, тому обмежимося розглядом точок, розміщених в їх спільній серединній площині.

Умовно відділяючи пластинку від підсилень і замінюючи дію одного тіла на інше невідомими нормальними T_p і дотичними $S_{p\lambda}$ контактними зусиллями, приходимо до першої основної для нескінченної пластинки з криволінійним отвором і пружного розімкненого ребра.

Пластинка перебуває у рівновазі під дією контактних зусиль на ділянках підсилення контуру Γ , а кожне пружне ребро – під дією контактних зусиль і зосередженої сил N_0 , прикладеної до відповідного торця.

Нехай форма отвору в пластинці визначається функцією [10]

$$z = x_1 + ix_2 = \omega(\xi) = R_0 \left(\xi + \frac{\varepsilon}{\xi^{m-1}} \right), \quad (1)$$

яка реалізує конформне відображення зовнішності S^- одиничного кола γ в площині $\xi = \tilde{\rho} e^{i\tilde{\lambda}}$ на область, яку займає серединна площа пластинки. Тут R_0 – характерний розмір отвору (не порушуючи загальності вважаємо, що $R_0 = 1$); ε ($|\varepsilon| < 1/(m-1)$) – параметр, що характеризує відхилення контуру Γ від кола; $i = \sqrt{-1}$; $(\tilde{\rho}, \tilde{\lambda})$ – полярні координати в площині ξ .

Зовнішнє навантаження, що передається від ребер до контуру пластинки, зводиться до пари сил з моментом

$$M_0 = -mN_0 \left(x_1^0 \sin \theta_0 + x_2^0 \cos \theta_0 + \eta \right), \quad (2)$$

де x_1^0, x_2^0 – координати точки перетину контуру Γ з прямою $\theta = \theta_0$.

При такому навантаженні компоненти тензора деформації в точках контуру Γ визначаються за формулами [4]

$$\begin{aligned} \varepsilon_\lambda = \frac{1}{2Eh(\alpha^2 + \beta^2)} & \left\{ (1-\nu)(\alpha^2 + \beta^2) T_\rho(\lambda) + \frac{m}{\pi} \int_{\alpha_0}^{\beta_0} \left[K_2(\lambda, t) \operatorname{ctg} \frac{m(\lambda-t)}{2} - K_1(\lambda, t) \right] T_\rho(t) dt + \right. \\ & \left. + \frac{m}{\pi} \int_{\alpha_0}^{\beta_0} \left[K_2(\lambda, t) + K_1(\lambda, t) \operatorname{ctg} \frac{m(\lambda-t)}{2} \right] S_{\rho\lambda}(t) dt \right\}; \\ V = \frac{1}{2Eh(\alpha^2 + \beta^2)} & \left\{ (1-\nu)(\alpha^2 + \beta^2) S_{\rho\lambda}(\lambda) + \frac{m}{\pi} \int_{\alpha_0}^{\beta_0} \left[K_2(\lambda, t) \operatorname{ctg} \frac{m(\lambda-t)}{2} - K_1(\lambda, t) \right] S_{\rho\lambda}(t) dt - \right. \\ & \left. - \frac{m}{\pi} \int_{\alpha_0}^{\beta_0} \left[K_2(\lambda, t) + K_1(\lambda, t) \operatorname{ctg} \frac{m(\lambda-t)}{2} \right] T_\rho(t) dt + (\alpha^2 + \beta^2) C_0 \right\}; \quad \lambda \in [\alpha_0; \beta_0]. \end{aligned} \quad (3)$$

Тут введено позначення: $[\alpha_0; \beta_0]$ – образ ділянки $[\alpha_0^*, \beta_0^*]$ при відображенні (1); E, ν – модуль Юнга та коефіцієнт Пуассона матеріалу пластинки; $C_0/2Eh$ – стала, що визначає обертання пластинки на нескінченності;

$$K_1(\lambda, t) = \alpha(\lambda)\alpha(t) + \beta(\lambda)\beta(t); \quad K_2(\lambda, t) = \alpha(\lambda)\beta(t) - \beta(\lambda)\alpha(t);$$

$$\alpha(\lambda) + i\beta(\lambda) = \omega'(\sigma); \quad \sigma = e^{i\tilde{\lambda}}; \quad \alpha(\lambda) = 1 - \varepsilon(m-1) \cos m\lambda; \quad \beta(\lambda) = \varepsilon(m-1) \sin m\lambda.$$

Співвідношення (3) записані для випадку $m = 2, 3, 4$ і враховують періодичність напружено-деформованого стану пластинки з періодом $2\pi/m$.

Кільцеві зусилля T_λ на контурі отвору визначаються за формулою [4]

$$T_\lambda = \nu T_\rho + 2Eh\varepsilon_\lambda. \quad (4)$$

Підсилювальні ребра моделюємо криволінійними стрижнями (брусами), поверхні сполучення яких з пластинкою не співпадають з їх серединними поверхнями.

Розрахунок напружено-деформованого стану стрижня будемо проводити на підставі гіпотези плоских поперечних перерізів з приблизним урахуванням деформації поперечного зсуву. У цьому випадку система рівнянь пружної рівноваги тонких стрижнів з криволінійною віссю має вигляд [11, 12].

1. Диференціальні рівняння рівноваги елемента стрижня

$$T_\rho = \frac{N}{\eta} - \frac{dQ}{ds}; \quad S_{\rho\lambda} = -\frac{Q}{\eta} - \frac{dN}{ds}; \quad \eta S_{\rho\lambda} = -\frac{dL_b}{ds} + Q \left(1 - \frac{\eta}{\rho} \right). \quad (5)$$

Тут N, Q, L_b – поздовжня і поперечна сили та згинальний момент, що діють у поперечних перерізах стрижня і віднесені до його осі; η – радіус кривини того волокна стрижня, яке сполучене з пластинкою; s – дуговий параметр контуру Γ ; $ds = |\omega'(\sigma)| d\lambda$.

2. Співвідношення Кірхгофа для довільного поздовжнього волокна стрижня

$$\varepsilon_\lambda^{(c)} = \frac{1}{E_0 F_0} \left[N + \left(1 - \frac{r_0}{\rho} \right) \frac{RL_b}{\omega_0} \right]; \quad \theta_b = \frac{1}{E_0 F_0} \left[\int_{s_0}^s \left(N + \frac{RL_b}{\omega_0} \right) \frac{ds}{\rho} - 2(1+\nu_0)\mu Q \right] + C_2, \quad (6)$$

в яких введено позначення: ρ – кривина розглядуваного волокна; $\varepsilon_{\lambda}^{(c)}$, θ_b – відносне видовження волокна і кут повороту нормалі до нього; R, r_0 – радіуси кривини осевого та нейтрального для чистого згину поздовжніх волокон стрижня; E_0, ν_0 – модуль Юнга та коефіцієнт Пуассона матеріалу стрижня; $F_0 = 2h \cdot 2\eta$ – площа поперечного перерізу; $3\omega_0 = \eta^2$; μ – стала (для прямокутного перерізу $\mu = 1.2$); $C_2 = \theta_b(s_0)$; s_0 – дуговий параметр, що відповідає вільному торцю підсилення.

Нормальні напруження $\sigma^{(c)}$ у крайніх поздовжніх волокнах стрижня визначаються за законом Гука, а максимальні дотичні напруження $\tau^{(c)}$ в осевому волокні – за формулою Журавського [13].

$$\sigma_1^{(c)} = \frac{1}{F_0} \left[N + \left(1 - \frac{r_0}{\eta} \right) \frac{RL_b}{\omega_0} \right]; \quad \sigma_2^{(c)} = \frac{1}{F_0} \left[N + \left(1 - \frac{r_0}{\eta - 2\eta} \right) \frac{RL_b}{\omega_0} \right]; \quad \tau_{\max}^{(c)} = \frac{3}{2} \frac{Q}{F_0}. \quad (7)$$

Крайові умови задачі на кожній з ділянок підсилення обираємо у вигляді рівності деформацій спільних волокон пластинки і ребер

$$\varepsilon_{\lambda} = \varepsilon_{\lambda}^{(c)}; \quad V = \theta_b; \quad \lambda \in [\alpha_0; \beta_0]; \quad \rho = \eta. \quad (8)$$

Підставляючи співвідношення (3), (6) в крайові умови (8) з урахуванням (5), одержимо систему двох інтегральних і трьох диференціальних рівнянь для визначення контактних зусиль між пластинкою і підсилювальним ребром, а також величин N , Q , L_b в ребрі

$$\begin{aligned} & (1-\nu)(\alpha^2 + \beta^2)T_{\rho}(\lambda) + \frac{m}{\pi} \int_{\alpha_0}^{\beta_0} \left[K_2(\lambda, t) \operatorname{ctg} \frac{m(\lambda-t)}{2} - K_1(\lambda, t) \right] T_{\rho}(t) dt + \\ & + \frac{m}{\pi} \int_{\alpha_0}^{\beta_0} \left[K_2(\lambda, t) + K_1(\lambda, t) \operatorname{ctg} \frac{m(\lambda-t)}{2} \right] S_{\rho\lambda}(t) dt - \frac{2Eh(\alpha^2 + \beta^2)}{E_0 F_0} \left[N + \left(1 - \frac{r_0}{\eta} \right) \frac{RL_b(\lambda)}{\omega_0} \right] = 0; \\ & (1-\nu)(\alpha^2 + \beta^2)S_{\rho\lambda}(\lambda) - \frac{m}{\pi} \int_{\alpha_0}^{\beta_0} \left[K_2(\lambda, t) + K_1(\lambda, t) \operatorname{ctg} \frac{m(\lambda-t)}{2} \right] T_{\rho}(t) dt + \\ & + \frac{m}{\pi} \int_{\alpha_0}^{\beta_0} \left[K_2(\lambda, t) \operatorname{ctg} \frac{m(\lambda-t)}{2} - K_1(\lambda, t) \right] S_{\rho\lambda}(t) dt + (\alpha^2 + \beta^2)(2EhC_2 - C_0) - \\ & - \frac{2Eh(\alpha^2 + \beta^2)}{E_0 F_0} \left[\int_{\beta_0}^{\lambda} \left(N(t) + \frac{RL_b(t)}{\omega_0} \right) \frac{|\omega'(\sigma)|}{\eta} dt - 2(1+\nu_0)\mu Q(\lambda) \right] = 0; \\ & T_{\rho}(\lambda) = \frac{N(\lambda)}{\eta} - \frac{dQ(\lambda)}{|\omega'(\sigma)| d\lambda}; \quad S_{\rho\lambda}(\lambda) = -\frac{Q(\lambda)}{\eta} - \frac{dN(\lambda)}{|\omega'(\sigma)| d\lambda}; \\ & \eta S_{\rho\lambda}(\lambda) = -\frac{dL_b(\lambda)}{|\omega'(\sigma)| d\lambda} + Q(\lambda) \left(1 - \frac{\eta}{\eta} \right); \quad \lambda \in [\alpha_0; \beta_0]. \end{aligned} \quad (9)$$

Систему рівнянь (9) доповнюємо умовою

$$N(\alpha_0) = -N_0, \quad (10)$$

яка слугує для визначення сталої $2EhC_2 - C_0$.

Співвідношення (9), (10) визначають математичну модель сформульованої задачі.

Наближений розв'язок задачі. Точний розв'язок системи (9), (10) знайти не вдається. Для її наближеного розв'язання перейдемо до проміжку інтегрування $[-1; 1]$. Це можна зробити заміною змінних [4]

$$m\lambda = 2 \arctg(a_0 x + b_0); \quad mt = 2 \arctg(a_0 y + b_0); \quad (11)$$

де

$$a_0 = \frac{1}{2} \left(\operatorname{tg} \frac{m\beta_0}{2} - \operatorname{tg} \frac{m\alpha_0}{2} \right); \quad b_0 = \frac{1}{2} \left(\operatorname{tg} \frac{m\beta_0}{2} + \operatorname{tg} \frac{m\alpha_0}{2} \right).$$

Тоді

$$md\lambda = \frac{2a_0 dx}{1 + (a_0 x + b_0)^2}; \quad mdt = \frac{2a_0 dy}{1 + (a_0 y + b_0)^2}; \quad \operatorname{ctg} \frac{m(\lambda-t)}{2} dt = \frac{2dy}{x-y} + \frac{2a_0(a_0 y + b_0) dy}{1 + (a_0 y + b_0)^2}$$

і система (9), (10) після певних перетворень набуває вигляду

$$\begin{aligned}
& (1-\nu)(\alpha^2 + \beta^2) T_p(x) - \frac{2}{\pi} \int_{-1}^1 [K_1(x, y) T_p(y) - K_2(x, y) S_{p\lambda}(y)] \frac{a_0 dy}{1 + (a_0 y + b_0)^2} + \\
& + \frac{2}{\pi} \int_{-1}^1 [K_2(x, y) T_p(y) + K_1(x, y) S_{p\lambda}(y)] \left[\frac{dy}{x-y} + \frac{a_0(a_0 y + b_0) dy}{1 + (a_0 y + b_0)^2} \right] - \\
& - \frac{2Eh(\alpha^2 + \beta^2)}{E_0 F_0} \left[N(x) + \left(1 - \frac{r_0}{\eta}\right) \frac{RL_b(x)}{\omega_0} \right] = 0; \\
& (1-\nu)(\alpha^2 + \beta^2) S_{p\lambda}(x) - \frac{2}{\pi} \int_{-1}^1 [K_2(x, y) T_p(y) + K_1(x, y) S_{p\lambda}(y)] \frac{a_0 dy}{1 + (a_0 y + b_0)^2} - \\
& - \frac{2}{\pi} \int_{-1}^1 [K_1(x, y) T_p(y) - K_2(x, y) S_{p\lambda}(y)] \left[\frac{dy}{x-y} + \frac{a_0(a_0 y + b_0) dy}{1 + (a_0 y + b_0)^2} \right] + (\alpha^2 + \beta^2)(2EhC_2 - C_0) - \\
& - \frac{2Eh(\alpha^2 + \beta^2)}{E_0 F_0} \left[\int_1^x \left(N(y) + \frac{RL_b(y)}{\omega_0} \right) \frac{|\omega'(\tau)|}{\eta} \frac{2a_0 dy}{1 + (a_0 y + b_0)^2} - 2(1 + \nu_0) \mu Q(x) \right] = 0; \\
& T_p(x) = \frac{N(x)}{\eta} - \frac{m(1 + (a_0 x + b_0)^2)}{2a_0 |\omega'(\sigma)|} \frac{dQ(x)}{dx}; \quad S_{p\lambda}(x) = -\frac{Q(x)}{\eta} - \frac{m(1 + (a_0 x + b_0)^2)}{2a_0 |\omega'(\sigma)|} \frac{dN(x)}{dx}; \\
& \eta S_{p\lambda}(x) = Q(x) \left(1 - \frac{\eta}{\eta} \right) - \frac{m(1 + (a_0 x + b_0)^2)}{2a_0 |\omega'(\sigma)|} \frac{dL_b(x)}{dx}; \quad N(-1) = -N_0, \quad x \in [-1; 1], \\
& \lambda \in [\alpha_0; \beta_0].
\end{aligned} \tag{12}$$

Структуру контактних зусиль на кінцях ділянки підсилення визначає характеристична частина двох сингулярних інтегральних рівнянь з ядрами Коші системи (12). З умови її несуперечності при $x \rightarrow \pm 1$ встановлюємо [14]

$$T_p(x) + iS_{p\lambda}(x) = \frac{\Phi_1(x) + i\Phi_2(x)}{\sqrt{1-x^2}}, \quad x \in [-1; 1], \tag{13}$$

де $\Phi_1(x)$, $\Phi_2(x)$ – обмежені та неперервні на $[-1; 1]$ функції.

У співвідношенні (13) не враховано локальну осциляцію, яка виникає на кінцях ділянки підсилення і накладається на кореневу особливість. У роботах [9, 10] показано, що в задачах часткового підсилення контурів криволінійних отворів у нескінченних пластинках осциляція несуттєво впливає на розподіл контактних зусиль в околі торців підсилень. При $x = \pm 1$ розв'язок задачі втрачає зміст через порушення лінійності та сумісності деформацій.

Структуру внутрішніх сил N і Q та згинального моменту L_b визначають крайові умови на кінцях (торцях) підсилювальних ребер

$$N(-1) = -N_0; \quad Q(-1) = L_b(-1) = N(1) = Q(1) = L_b(1) = 0. \tag{14}$$

З урахуванням (14) функції $N(x)$, $Q(x)$, $L_b(x)$ на проміжку $[-1; 1]$ можна подати у вигляді

$$N(x) = \sqrt{\frac{1-x}{2}} \Phi_3(x); \quad Q(x) = \sqrt{1-x^2} \Phi_4(x); \quad L_b(x) = \sqrt{1-x^2} \Phi_5(x). \tag{15}$$

Тут $\Phi_3(x)$, $\Phi_4(x)$, $\Phi_5(x)$ – обмежені та неперервні на $[-1; 1]$ функції.

Знаючи структуру шуканих функцій (13), (15), наближений розв'язок задачі можна побудувати методом механічних квадратур і колокації. Квадратурні формули цього методу для сингулярних і регулярних інтегралів наведені в [8, 10]. Інтеграли зі змінною верхньою межею обчислюються за формулою трапецій.

Числова реалізація задачі проведена для пластинки з квадратним ($m = 4$, $\varepsilon = \pm 0.15$) отвором і підсилювальних ребер з такими фізико-геометричними характеристиками

$$\alpha_0 = -\frac{\pi}{6}; \quad \beta_0 = \frac{\pi}{6}; \quad h_0 = h; \quad E_0 = E.$$

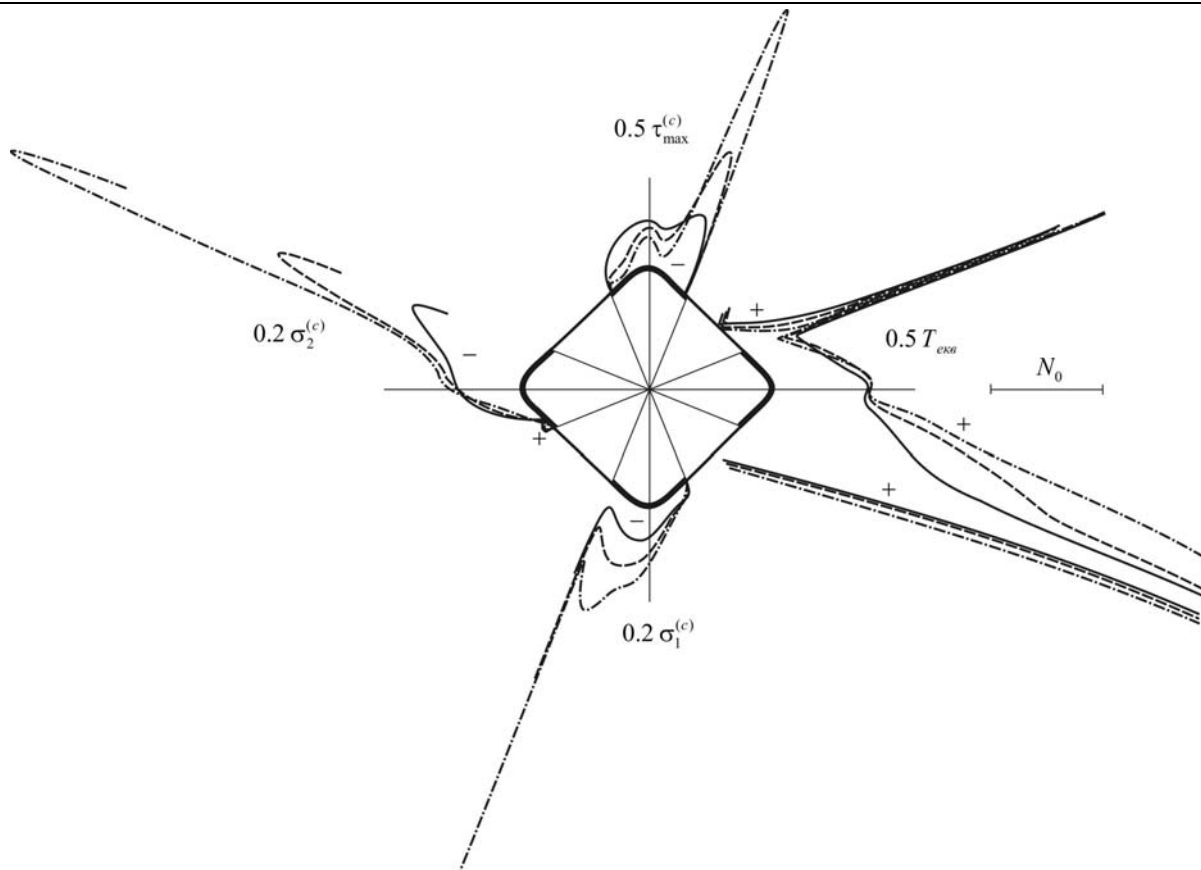


Рис. 2. Розподіл компонент напруженого стану при $\varepsilon = 0.15$

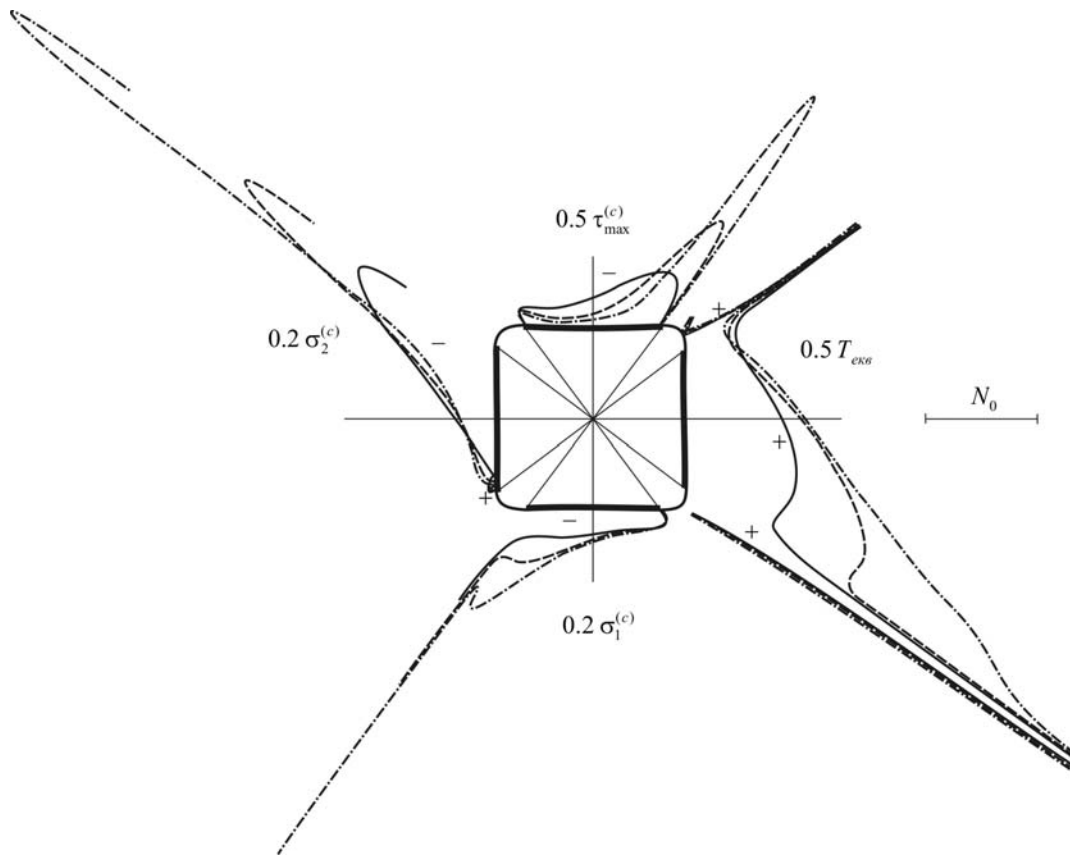


Рис. 3. Розподіл компонент напруженого стану при $\varepsilon = -0.15$

Досліджено вплив на напружений стан пластинки та підсилень форми отвору і відносної ширини $2\eta/R_0$ ребра. Результати числового розрахунку еквівалентних напружень $T_{екв} = \sqrt{T_p^2 + T_\lambda^2 - T_p T_\lambda + 3S_{p\lambda}^2}$

[13] на контурі Γ в пластинці та величин $\sigma_1^{(c)}$, $\sigma_2^{(c)}$, $\tau_{\max}^{(c)}$ у підсиленні наведені на рис. 2, 3. Суцільні лінії побудовані для випадку $2\eta/R_0 = 0.2$, штрихові – $2\eta/R_0 = 0.1$, штрих-пунктирні – $2\eta/R_0 = 0.05$.

Висновки

Аналіз одержаних результатів свідчить про те, що кривина ділянки підсилення отвору суттєво впливає на розподіл напружень як на контурі отвору в пластинці, так і в підсилювальному ребрі. Торець ребра, до якого прикладається зовнішня сила доцільно розміщувати на ділянці з більшою кривиною. Хоча напруження в пластинці на кінцях ділянки підсилення необмежені, що пояснюється появою в цих зонах пластичних деформацій, напруження в підсилювальних ребрах залишаються обмеженими навіть на торцях.

Запропонований метод розв'язання задачі може бути перенесений на ортотропні пластинки з еліптичним отвором, контур якого підсилений системою двох розімкнених пружних ребер.

Література

1. Александров В.М. Контактные задачи для тел с тонкими покрытиями и прослойками / В.М. Александров, С.М. Мхитарян. – М. : Наука, 1983. – 488 с.
2. Мхитарян С.М. О передаче нагрузки от произвольного числа равноотстоящих друг от друга кольцеобразных накладок к упругой плоскости / С.М. Мхитарян, Р.С. Туманян // Доклады АН Арм. ССР. – 1984. – Т. 78, № 3. – С. 122–126.
3. Мхитарян С.М. Передача нагрузки от кольцеобразного стрингера к упругой бесконечной пластинке / С.М. Мхитарян, Р.С. Туманян // Изв. АН Арм. ССР. Механика. – 1984. – Т. 37, № 1. – С. 3–15.
4. Сяський А.О. Передача обертового моменту до криволінійного отвору нескінченної пластинки через систему стрижнів змінної жорсткості / А.О. Сяський, Ю.В. Батишкіна // Наукові нотатки. – Луцьк : ЛДТУ, 2004. – Вип. 12. – С. 331–339.
5. Сяський А. Передача сил до криволінійного отвору нескінченної пластинки стрижнями змінної жорсткості / А. Сяський, Ю. Батишкіна // машинознавство. – 2004. – № 6 (84). – С. 21–26.
6. Сяський А.О. Передача сил до масивних циліндричних тіл через несиметричні розімкнені ребра змінної жорсткості / А.О. Сяський, Н.В. Шевцова // Наукові нотатки : міжвузівський збірник за напрямом «Інженерна механіка». – Луцьк, 2008. – Вип. 23. – С. 345–351.
7. Шевцова Н. Передача сил і пар сил до циліндричних тіл через систему несиметричних тонкостінних елементів змінної жорсткості / Н. Шевцова, А. Сяський // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – 2008. – Т. 13, № 3. – С. 15–20.
8. Сяський А. Теоретичні основи уточненого розрахунку шліцевих з'єднань / А. Сяський, С. Комбель // машинознавство. – 2003. – № 4 (70). – С. 27–33.
9. Сяський А.О. Математична модель однієї задачі трибомеханіки для шліцевого з'єднання / А.О. Сяський, С.М. Комбель // Проблеми трибології. – 2004. – № 2. – С. 53–58.
10. Сяський А.А. Упругое равновесие пластинки с частично подкрепленным криволинейным отверстием / А.А. Сяський // Прикл. математика и механика. – 1986. – Т. 50, № 2. – С. 247–254.
11. Мартынович Т.Л. Контактные взаимодействия пластин с упругими элементами / Т.Л. Мартынович, В.Е. Юринец. – Львов : Вища школа. Изд-во при Львов. ун-те, 1984. – 160 с.
12. Филин, А.П. Алгоритмы построения разрешающих уравнений механики стержневых систем / А.П. Филин, О.Д. Тананайко, И.М. Чернева, М.А. Шварц. – Л. : Стройиздат, 1983. – 232 с.
13. Писаренко Г.С. Опір матеріалів / Г.С. Писаренко, О.Л. Квітка, Е.С. Уманський. – К. : Вища школа, 2004. – 655 с.
14. Мусхелишвили Н.И. Сингулярные интегральные уравнения / Н.И. Мусхелишвили. – М. : Наука, 1968. – 511 с.

Отримана/Received : 16.4.2017 р. Надрукована/Printed : 11.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Бомба А.Я.

КІНЕМАТИКА ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ ІЗ ЗУПИНКОЮ ВИХІДНОЇ ЛАНКИ, ОДЕРЖАНИХ НА БАЗІ ПРЯМОЛІНІЙНО-НАПРЯМНОГО КРИВОШИПНО-ПОВЗУННОГО МЕХАНІЗМУ

В статті розглянуто питання кінематичного аналізу важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки, одержаних на базі прямолінійно-напрямного кривошипно-повзунного механізму. В ході цих досліджень застосовувався метод замкнених векторних контурів, на основі якого було одержано алгоритм розрахунку основних кінематичних параметрів механізмів і складено відповідну комп'ютерну програму в системі Mathcad. Для порівняння законів руху вихідної ланки були обчислені інваріанти переміщень, швидкостей, прискорень та кінетичної потужності. Ці дані дозволяють більш оптимально вибирати кінематичну схему механізму.

Ключові слова: прямолінійно-напрямні механізми, кривошипно-повзунний механізм, шатунні криві, метод замкнених векторних контурів, інваріанти переміщень, швидкостей, прискорень та кінетичної потужності.

Y.A.T. KINYCKYI, P.V. MINAILO

Khmelnytskyi National University

THE KINEMATICS OF DWELL LINKAGE MECHANISMS WHICH ARE BASED ON THE STRAIGHT-LINE PATH GENERATING SLIDER-CRANK MECHANISM

The article is dedicated to the kinematic analysis of dwell linkages that are based on the straight-line path generating slider-crank mechanism. For that purpose, the method of the closed vector contours was used. Based on that method the calculation algorithm of basic kinematic parameters of mechanisms and the corresponding computer program on Mathcad were developed. The invariants of displacement, velocities, accelerations and kinetic power were calculated for the comparison of the output link's motion laws. Calculated parameters allow optimal selection of the kinematic scheme of the mechanism.

Keywords: straight-line mechanisms, slider-crank mechanism, coupler curves, the method of closed vector contours, invariants of displacement, velocity, acceleration and kinetic power.

Як відомо [1, 2], при кінематичному дослідженні механізму розглядається рух його ланок без урахування сил, що діють на них, тобто розглядається рух ланок з геометричної точки зору, з урахуванням лише фактора часу. В результаті такого дослідження встановлюють відповідність кінематичних параметрів руху ланок (переміщень, швидкостей і прискорень) заданим умовам роботи механізму, а також одержують вихідні дані для подальших розрахунків. Знання кінематичних параметрів потрібні для визначення динамічних сил (сил інерції, моментів сил інерції), кінетичної енергії та потужності механізму. Траєкторії окремих точок допомагають встановити картину взаємного положення ланок під час руху машини та усунути можливість їх співударів. Дані кінематичного дослідження дуже часто використовуються для розв'язання оберненої задачі – синтезу механізмів. В даній роботі розглядається методика кінематичного дослідження важільного механізму із зупинкою вихідної ланки, що одержаний на базі прямолінійно-напрямного кривошипно-повзунного механізму (рис. 1).

У сучасних машинах набули широкого застосування механізми, які забезпечують при безперервному обертотворному русі вхідної ланки обертальний або поступальний рух з зупинкою вихідної ланки [3]. Для цієї мети застосовують в основному механізми з вищими кінематичними парами (кулачкові, рідше механізми неповнозубих коліс), які поряд з відомими перевагами мають ряд істотних недоліків. При певних розмірах ланок вистій вихідної ланки можуть забезпечити важільні механізми, до складу яких входять тільки нижчі кінематичні пари. Заміна кулачкових механізмів важільними дозволяє підвищити надійність і довговічність машин, зменшити зношування деталей, усунути розробку спеціальних конструкцій для замикавання ланок, спростити технологію виготовлення і ремонту, а в деяких випадках здійснити регулювання закону руху вихідної ланки навіть під час роботи машини.

Проте, важільні механізми з зупинкою вихідної ланки ще не одержали широкого застосування. «Питання про те, – відзначає відомий німецький учений В. Ліхтенхельдт [3], – які механізми – кулачкові або важільні – доцільніше застосовувати для здійснення робочого процесу, найчастіше вирішується на користь кулачкових механізмів, хоча в багатьох випадках важільні механізми набагато зручніші й мають більш досконалу конструкцію... Причиною цього є та обставина, що методи розрахунку ланок важільних механізмів ще мало доступні багатьом конструкторам. Їм здається, що в кожному окремому випадку простіше й зручніше для заданого закону руху ланки механізму розрахувати кулачковий механізм, чим важільний».

Таке відношення до важільних механізмів пояснюється багатьма об'єктивними факторами: по-перше, синтез таких механізмів досить складний і без сучасних ЕОМ утруднений; по-друге, розроблені методи синтезу за окремими критеріями наведені в джерелах, не завжди доступних конструкторам (журнальні статті, матеріали наукових конференцій, дисертації, наукові звіти тощо), причому відкриті публікації, як правило, мають оглядовий, інформаційний характер; по-третє, питання синтезу важільних механізмів з зупинкою вихідної ланки практично не розглядаються ні в загальному курсі теорії механізмів і машин, ні в спеціальних курсах, а окремі посібники або довідники з їхнього проектування майже відсутні.

Тому не дивно, що кулачкові механізми, теорії синтезу яких приділяється достатня увага, набули широкого застосування.

Одним із прикладів важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки може бути такий, що одержаний на базі прямолінійно-напрямого кривошипно-повзунного механізму, кінематична схема якого наведена на рис. 1. Синтез таких механізмів висвітлений в попередніх наших роботах [4, 5]. Точка C , яка належить шатуну AB , на ділянці $K_L K_R$ описує шатунну криву наближену до прямої лінії. Приєднавши в цій точці структурну групу II класу V виду (ланки 4 і 5), одержимо механізм із зупинкою вихідної ланки (ланки 5).

Для визначення основних кінематичних параметрів механізму використаємо метод замкнених векторних контурів [1, 2]. Для векторного контуру OAB (рис. 1) можна записати таке векторне рівняння:

$$\vec{r} + \vec{l} = \vec{x}_B + \vec{y}_B, \quad (1)$$

де $r = l_{OA}$, $l = l_{AB}$.

Спроекуємо цей векторний контур на координатні осі x і y та запишемо рівняння проекцій на них:

$$r \cos \varphi_1 + l \cos \varphi_2 = x_B, \quad r \sin \varphi_1 + l \sin \varphi_2 = y_B; \quad (2)$$

де φ_1 — узагальнена координата (кут повороту кривошипа). В центральному кривошипно-повзунному механізмі $y_B = 0$.

Положення повзуна 3 знаходимо з першого рівняння (2), попередньо знайшовши із другого рівняння значення кута φ_2 :

$$\varphi_2 = \arcsin \frac{y_B - r \sin \varphi_1}{l}. \quad (3)$$

Диференціюючи рівняння (2) за узагальненою координатою механізму φ_1 , одержимо залежності для визначення аналогів кутових швидкостей шатуну 2 та ланки 3:

$$\varphi_2' = \frac{d\varphi_2}{d\varphi_1} = \frac{-r \cos \varphi_1}{l \cos \varphi_2}; \quad x_B' = \frac{dx_B}{d\varphi_1} = -r \sin \varphi_1 - l \varphi_2' \sin \varphi_2. \quad (4)$$

Повторно диференціюючи рівняння (2) за узагальненою координатою механізму φ_1 , одержимо залежності для визначення аналогів прискорень відповідних ланок:

$$\varphi_2'' = \frac{d\varphi_2'}{d\varphi_1} = \frac{d\varphi_2'^2}{d\varphi_1^2} = \frac{l(\varphi_2')^2 \sin \varphi_2 + r \sin \varphi_1}{l \cos \varphi_2}; \quad x_B'' = \frac{dx_B'}{d\varphi_1} = \frac{d^2 x_B}{d\varphi_1^2} = -r \cos \varphi_1 - l \varphi_2'' \sin \varphi_2 - l(\varphi_2')^2 \cos \varphi_2. \quad (5)$$

Аналогічно знаходимо параметри руху точки C , використавши векторний контур OAC :

$$x_C = x_A + l \cos(\varphi_2 + \gamma), \quad y_C = y_A + l \sin(\varphi_2 + \gamma); \quad (6)$$

$$x_C' = x_A' - l \varphi_2' \sin(\varphi_2 + \gamma), \quad y_C' = y_A' - l \varphi_2' \cos(\varphi_2 + \gamma); \quad (7)$$

$$x_C'' = x_A'' - l \varphi_2'' \sin(\varphi_2 + \gamma) - l(\varphi_2')^2 \cos(\varphi_2 + \gamma), \quad y_C'' = y_A'' + l \varphi_2'' \cos(\varphi_2 + \gamma) - l(\varphi_2')^2 \sin(\varphi_2 + \gamma), \quad (8)$$

Для визначення переміщень повзуна 5 (точки F , яка збігається з точкою C ланки 3) та їх аналогів швидкостей та прискорень використаємо рівняння проекцій точки C в системі координат $x_2 O y_2$, де вісь x_2 паралельна прямолінійній ділянці шатунної кривої точки C і повернута відносно основної системи на кут ξ (рис. 1). Використавши рівняння перетворення координат для плоскої системи [2], одержимо:

$$x_{C2} = x_C \cos \xi + y_C \sin \xi, \quad y_{C2} = y_C \cos \xi - x_C \sin \xi. \quad (9)$$

Тоді, диференціюючи рівняння (9), знайдемо аналогії швидкостей та прискорень повзуна 5 (точки C_2):

$$x_{C2}' = x_C' \cos \xi + y_C' \sin \xi, \quad y_{C2}' = y_C' \cos \xi - x_C' \sin \xi; \quad (10)$$

$$x_{C2}'' = x_C'' \cos \xi + y_C'' \sin \xi, \quad y_{C2}'' = y_C'' \cos \xi - x_C'' \sin \xi. \quad (11)$$

Переміщення повзуна 5 знаходимо за такою формулою:

$$s_{C2} = |y_{C2}(\varphi)| - |y_{C2}(\varphi_{\min})|; \quad S_C = |y_{C2}(\varphi_{\max})| - |y_{C2}(\varphi_{\min})|. \quad (12)$$

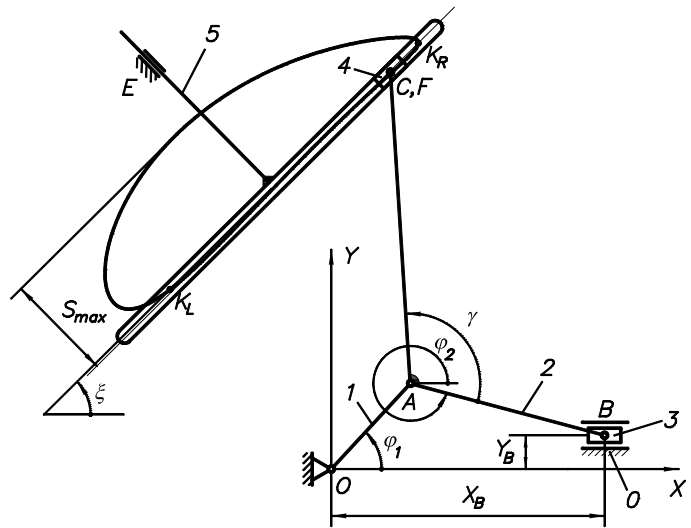


Рис. 1. Шестиланковий важільний прямолінійно-напряний механізм, який забезпечує зупинку вихідної ланки

де s_{C2} – переміщення повзуна 5 (точки C_2); S_C – максимальний хід повзуна 5.

Знаючи аналоги швидкостей і прискорень, знаходимо дійсні фізичні величини за формулами [4] ($\omega_1 = \text{const}$):

$$\omega_2 = \varphi'_2 \omega_1, \quad v_B = y'_B \omega_1, \quad a_B = y''_B \omega_1^2, \quad \varepsilon_2 = \varphi''_2 \omega_1^2, \quad v_{C2} = y'_{C2} \omega_1, \quad a_{C2} = y''_{C2} \omega_1^2. \quad (13)$$

де ω_2 – кутова швидкість ланки 2; v_B, a_B – відповідно швидкість і прискорення повзуна 3;

ε_2 – кутове прискорення ланки 2, v_F, a_F – відповідно швидкість і прискорення повзуна 5.

При $\omega_1 = 1$ швидкості та прискорення чисельно дорівнюють відповідним аналогам.

Для порівняння закону руху вихідної ланки 5 різних кінематичних схем визначаємо інваріанти переміщень a_k , швидкості b_k , прискорення c_k та кінетичної (динамічної) потужності d_k та їх максимальні значення B, C, D за такими формулами [2, 3]:

для періоду віддалення –

$$a_{kv} = \frac{s_{C2}}{S_C}, \quad b_{kv} = \frac{\varphi_v}{S_C} y'_{C2}, \quad c_{kv} = \frac{\varphi_v^2}{S_C^2} y''_{C2}, \quad d_{kv} = b_{kv} c_{kv}, \quad B_v = |b_{kv}|_{\max}, \quad C_v = |c_{kv}|_{\max}, \quad D_v = |d_{kv}|_{\max};$$

для періоду наближення –

$$a_{kn} = \frac{s_{C2}}{S_C}, \quad b_{kn} = \frac{\varphi_n}{S_C} y'_{C2}, \quad c_{kn} = \frac{\varphi_n^2}{S_C^2} y''_{C2}, \quad d_{kn} = b_{kn} c_{kn}, \quad B_n = |b_{kn}|_{\max}, \quad C_n = |c_{kn}|_{\max}, \quad D_n = |d_{kn}|_{\max},$$

де $\varphi_v = 2\pi - \varphi_0 - \alpha$ – кут віддалення (кут повороту кривошипа 1 за час віддалення повзуна 5, рис. 1);

Значення максимального переміщення S ланки 5 та кутів φ_0 і α визначаються на стадії синтезу механізму.

На основі вказаного алгоритму було складено комп'ютерну програму в системі Mathcad [6], яка дозволила виконати аналітичне дослідження кінематики цих механізмів.

Для прикладу на рис. 2 – 5 наведені основні кінематичні характеристики руху ланки 5 залежно від положення кривошипа 1 при таких параметрах механізму: $\alpha = 60^\circ$, $r = 0,5$, $k = 1,62$, $\gamma = 19,991$, $k = 1,62$, $\gamma = 19,991$, $\varphi_0 = 150^\circ$, $\xi = 136,6736$ [4, 5]. В цьому механізмі фазові кут $\varphi_v = \varphi_n$, а тому $B_v = B_n = 1,795$, $C_v = C_n = 5,958$, $D_v = D_n = 10,666$, $S_C = 0,687$.

Отже, в цій роботі розглянуто питання кінематичного аналізу важільних механізмів із зупинкою вихідної ланки, одержаних на базі прямолінійно-напрямого кривошипно-повзунного механізму, на основі якого було одержано алгоритм розрахунку основних кінематичних параметрів механізмів і складено відповідну комп'ютерну програму в системі Mathcad. Для порівняння законів руху вихідної ланки були обчислені інваріанти переміщень, швидкостей, прискорень та кінетичної потужності. Подальші дослідження будуть направлені на встановлення впливу геометричних параметрів усіх синтезованих механізмів на кінематичні та силові параметри руху вихідної ланки. Ці дані дозволяють більш оптимально вибирати кінематичну схему механізму.

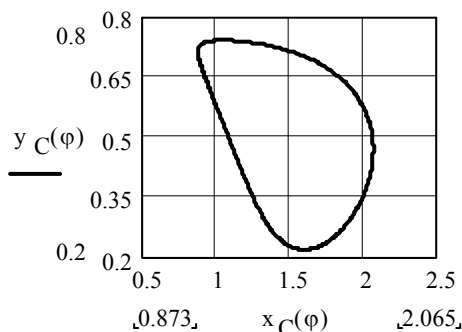


Рис. 2. Траскторія точки C

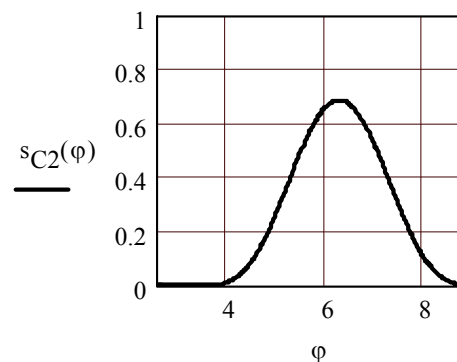


Рис. 3. Діаграма переміщень повзуна 5

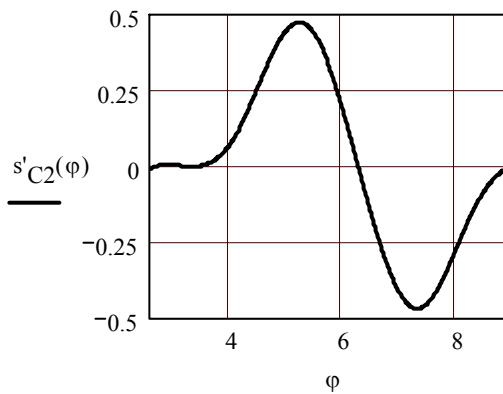


Рис. 4. Діаграма швидкостей повзуна 5

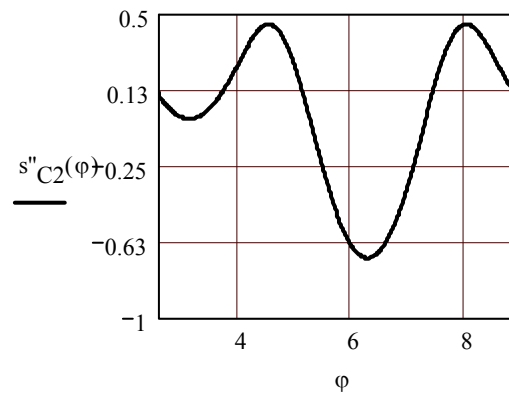


Рис. 5. Діаграма прискорень повзуна 5

Література

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов и машин / Артоболевский И.И. – М. : Наука, 1988. – 640 с.
2. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин / Кіницький Я.Т. – К. : Наукова думка, 2002. – 660 с.
3. Кіницький Я.Т. Шарнирные механизмы Чебышева с выстоем выходного звена / Кіницький Я.Т. – К. : Вища шк., 1990. – 229 с.
4. Кіницький Я.Т. Визначення параметрів зупинки вихідної ланки механізмів, побудованих на базі центрального прямолінійного кривошипно-повзунного механізму / Я.Т. Кіницький, П.В. Міняйло, М.В. Марченко // Вісник Хмельницького національного університету. – Хмельницький, 2009. – № 5. – С. 34–39.
5. Кіницький Я.Т. Знаходження точок перегину шатунної кривої кривошипно-повзунного механізму / Я.Т. Кіницький, П.В. Міняйло, М.В. Марченко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2013. – № 6. – С. 70–74.
6. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин в системі Mathcad / Я.Т. Кіницький, В.О. Харжевський, М.В. Марченко. – Хмельницький : ХНУ, 2014. – 295 с.

Отримана/Received : 10.4.2017 р. Надрукована/Printed : 8.6.2017 р.

Статтю представляє д.т.н., проф. Кіницький Я.Т.

УДК 621. 643. 053

І.О. ПОХИЛЬЧУК, Т.О. ГАЛИЦЬКИЙ, О.Р. СТРИЛЕЦЬ, З.К. САСЮК

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

МЕТОДИКА ПІДБОРУ МАТЕРІАЛІВ ПАР ТЕРТЯ НОВИХ КОНСТРУКЦІЙ ТОРЦЕВИХ УЩІЛЬНЕНЬ ПІДВИЩЕНОЇ ГЕРМЕТИЧНОСТІ

У статті описана принципова схема нових торцевих ущільнень підвищеної герметичності, конструкція та принцип дії нових конструкцій, розроблених на її основі, які мають покращені характеристики герметичності. Наведена методика підбору матеріалів пар тертя нових конструкцій торцевих ущільнень підвищеної герметичності та матеріали які рекомендується використовувати під час їх виготовлення. Зроблено висновок про доцільність використання певних матеріалів.

Ключові слова: торцеве ущільнення, пара тертя, кільця тертя, матеріали пар тертя.

I.O. POKHILCHUK, T.O. HALYTSKIY, O.R. STRILETS, Z.K. SASIUK

National University of Water And Environmental Engineering, Rivne, Ukraine

METHOD OF SELECTION OF MATERIALS FOR FRICTION PAIRS OF NEW DESIGNS OF MECHANICAL END FACE SEALS WITH INCREASED TIGHTNESS

The aim of the article is to describe the methods of materials selection for friction rings of new designs of mechanical end face seals with increased tightness which would provide them the necessary tightness, durability and wear resistance for different operating modes. The end face seals are responsible assembly units of hydraulic pipelines, which often define qualitative performance indicators of such machinery for failures in the sealing mechanism leads to major malfunctioning or even failure of whole machine in general. The new designs of mechanical end face seals improve the stability and reliability of such units by increasing their tightness. This effect among others depends on the materials used. That's why the picking of materials is an actual problem to solve. Based on the overview of possible materials that can be used in mechanical end face seals the conclusion about most suitable ones for certain operational modes have been made.

Key words: mechanical end face seal, friction pair, friction rings, material.

Постановка проблеми

В сучасному машинобудуванні для ущільнення валів насосів машин і механізмів хімічної,

нафтопереробної та інших галузях народного господарства, за допомогою яких через гідравлічні трубопроводи транспортуються різноманітні рідини та рідинні суміші, наприклад, розчин, нафта, нафтопродукти та ін., використовуються торцеві ущільнення. Досить часто, саме ущільнення визначають якісно експлуатаційні показники машин, бо відмова у роботі ущільнення приводить до відмови механізму або машини в цілому.

Актуальним є процес розроблення та обґрунтування параметрів нових конструкцій торцевих ущільнень, які забезпечують підвищення герметичності рухомих з'єднань не тільки на початку роботи, а й під час спрацювання пари тертя, протягом більшого терміну у порівнянні з існуючими конструкціями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Різнноманітні експлуатаційні функції сприяли розробці великої кількості конструкцій торцевих ущільнень, описаних у роботах [1–8] та інших. Найбільш широко конструкції відомих торцевих ущільнень, принципи їх роботи та приклади розрахунків описані в [6]. У роботі [5] описана принципова схема торцевого ущільнення, причини які впливають на роботу як самих ущільнень, так і всього вузла, в який вони входять описані [3, 4]. В [3] описано характер розподілу тиску в зазорі пари тертя торцевих ущільнень, внаслідок чого відбувається утворення характерного профілю зносу кілець тертя. Розглянуті в [1–8] існуючі конструкції торцевих ущільнень мають суттєвий недолік – зменшення надійності роботи при збільшенні об'єму ущільненого середовища, яке потрапляє в стик пари тертя. Для запобігання цього явища пропонуються нові конструкції торцевих ущільнень з активним відводом ущільненого середовища із стику пари тертя [9–12]. Ці конструкції суттєво відрізняються від існуючих і оптимізація матеріалів їх деталей не проводилась.

Мета роботи

Метою роботи є опис методики підбору матеріалів кілець тертя нових конструкцій торцевих ущільнень підвищеної герметичності, які б забезпечували їх необхідну герметичність, довговічність та зносостійкість для різних режимів роботи, мають задовольняти комплексу вимог: повинні бути сумісними з ущільненим середовищем, мати високу корозійну стійкість, достатню міцність, володіти антифрикційними властивостями (низький коефіцієнт тертя, відсутність заїдання та залипання), високу термостійкість.

Реалізація роботи

Незважаючи на переваги існуючих конструкцій торцевих ущільнень всі вони мають суттєвий недолік: зменшення надійності роботи при збільшенні об'єму ущільненого середовища, яке потрапляє в стик пари тертя. Для запобігання цього явища пропонуються нові конструкції торцевих ущільнень з активним відводом ущільненого середовища із стику пари тертя. В яких, при розкритті стику пари тертя, рідина вловлюється кільцевою канавкою, яка виконана на торці обертового кільця, і через осьові канали рухається до радіально розміщених порожнин звідки, під дією відцентрової сили повертається назад в ущільнену порожнину. Принципова схема такого ущільнення показана на рис. 1. Ущільнення складається з необертового кільця тертя 1, обертового кільця тертя 2 на торці якого виконана кільцева канавка 3, яка через осьові канали 4 з'єднана з радіальними порожнинами 5.

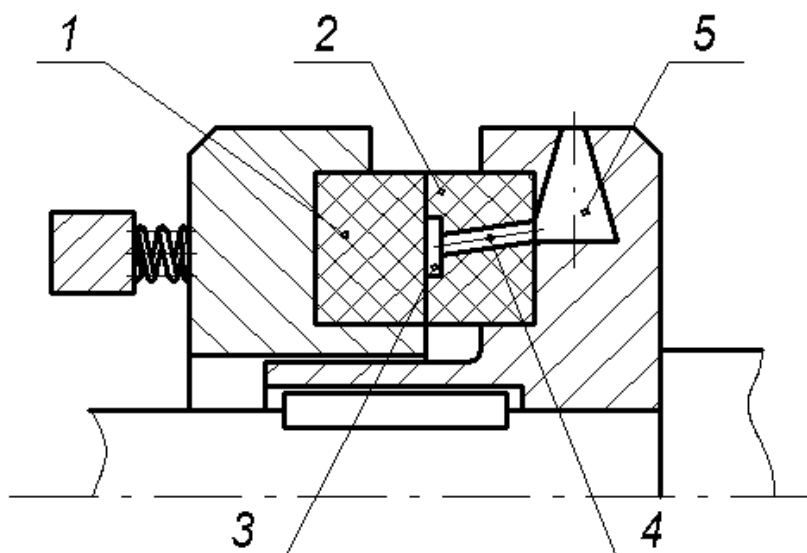


Рис. 1. Принципова схема торцевого ущільнення з активним відводом ущільненого середовища із стику пари тертя

На основі принципової схеми розроблено ряд нових конструкцій торцевих ущільнень з підвищеною герметичністю, будова та робота яких описані в [5–8].

Для забезпечення довговічності та зменшення зносу кілець ущільнення при заданих режимах роботи та ущільненому середовищі, матеріали пари тертя торцевих ущільнень повинні задовольняти комплекс вимог. Ці матеріали повинні бути сумісними з ущільненим середовищем, мати високу корозійну стійкість, достатню міцність, володіти антифрикційними властивостями (низький коефіцієнт тертя,

відсутність заїдання та злипання), високу термостійкість.

Для роботи в середовищі мінеральних та синтетичних масел добре використовувати пару бронза – гартована сталь. Це хороша антифрикційна пара, перевагою якої є висока міцність та технологічність деталей, а також термостійкість. Не слід застосовувати пару бронза – сталь при роботі без змащування поверхонь тертя (при сухому терті), так як при цьому на сталі утворюється плівка міді, що призводить до втрати герметичності ущільнення.

Високолеговані сплави – сталі та чавуни слід застосовувати для роботи в парі з вуглеграфітами та пористими кераміками. Сталі застосовують при роботі у воді, соляних розчинах, кислотах, бензині та маслі. Чавуни – у воді, бензині та маслі.

Вуглеграфітові матеріали завдяки високим антифрикційним властивостям (самозмащуванню, припрацюванню, здатності певний час працювати „на сухо”), термо- та хімістійкості можуть застосовуватись майже у всіх середовищах. Вуглеграфіти виготовляють на основі сажі, коксу та графіту. Після підготовки порошкової суміші заготовки пресуються у формах і проходять термообробку. Вуглеграфіти володіють значною пористістю, тому проходять обробку смолами. Після чого збільшується їхня щільність, міцність та антифрикційна здатність.

Важливою властивістю вуглеграфітів є здатність працювати в парі з багатьма матеріалами. Це полегшує вибір другого матеріалу пари тертя.

Матеріали на основі карбідів ділять на наплавочні та металокерамічні тверді сплави. Властивості цих матеріалів обумовлені високою твердістю та хорошою корозійною стійкістю карбідів. Завдяки цьому матеріали на основі карбідів мають високу зносостійкість та здатні працювати в різних середовищах. Металокерамічні тверді матеріали отримують методами порошкової металургії, тобто пресуванням порошкової суміші з подальшим її запіканням. Отримані деталі шліфують та притирають.

Перспективними для торцевих ущільнень є матеріали на основі карбиду кремнію, які містять вільний графіт.

Пористі металокераміки, які оброблені фторопластом-4, використовують для роботи в агресивних середовищах. Їх отримують із порошків нержавіючої сталі або бронзи шляхом пресування та наступного запікання у відновлювальній атмосфері водню. Важливою перевагою пористих металокерамік є здатність спікання з металом крупно габаритних деталей у вигляді кільця на поверхні тертя.

Бронзографіт – пористий металокерамічний матеріал, який складається з бронзи та частинок графіту, має велику пористість, яка заповнюється смолами або фторопластом-4.

Мінералокерамічні матеріали застосовують при роботі в агресивних середовищах. Вони виготовляються на основі мінералів Al_2O_3 , SiO_2 , окислів металів MgO , ThO , ZrO_2 із тальку, глини та відповідних добавок. Перевагою металокерамік є висока хімічна стійкість, висока твердість та зносостійкість. Недоліки – низька термостійкість, крихкість, недостатня міцність.

Матеріали, що застосовують для кілець торцевих ущільнень наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Матеріали торцевих ущільнень та орієнтовні значення їх механічних властивостей

Середовище		Прісна вода	Морська вода		Кислоти та інші агресивні середовища			Нафта та нафто-продукти	Мінеральні масла
Матеріал I пари тертя		Вуглеграфіт 2П-1000-Ф або УГ-20	те саме	те саме	те саме	Пластмаса і композиційні матеріали	Пориста металокераміка з фторопластом	Вуглеграфіт 2П-1000 або АГ-1500	Бронзи: Бр.ОСН 10-2-3 Бр.ОЦС 6-6-3 Бр.ОФ 7-0-2 Бр.СУН 7-2
Матеріал II пари тертя		Нержавіюча сталь 9Х18 або 4Х13	Мінералокераміка ЦМ-223	Стеліт ВК2	Мінералокераміка ЦМ-223	Матеріал на основі карбиду кремнія і графіту	Нержавіюча сталь 1Х18Н9Т	Нержавіюча сталь 9Х18	Сталь Х12Ф1 вуглецеві та хромисті сталі
Модуль Е, МПа	I	(1,3-1,4) $\times 10^4$	(1,3-1,4) $\times 10^4$	(1,3-1,4) $\times 10^4$	(1,3-1,4) $\times 10^4$	50-100	-	(1,3-1,4) $\times 10^4$	(9,0-10,0) $\times 10^4$
	II	2,1 $\times 10^5$	1 $\times 10^5$	-	1 $\times 10^5$	-	2,03 $\times 10^5$	2,1 $\times 10^5$	2,1 $\times 10^5$
Міцність на розтяг σ_B , МПа	I	15-20	15-20	15-20	14-20	-	23	15-20	(2,0-4,5) $\times 10^2$
	II	1700	(1,0-2,5) $\times 10^2$	600-700	-	-	620	1700	1000-2000
Міцність при згині σ_z , МПа	I	60-80	60-80	60-80	60-80	30	-	60-80	180-220
	II	1000	-	-	1000	80	330	1000	800-1200
Твердість	I	по Шору 70-75	по Шору 70-75	по Шору 70-75	по Шору 70-75	по Шору 70-75	HB 28-40	по Шору 70-75	HB 70-150
	II	HRC 50-58	-	HRC 45-48	-	HRC > 64	HB 135-185	HRC 50-58	HRC 52-64
Коефіцієнт лінійного розширення $\alpha \cdot 10^{-6}$, 1/°C	I	2,5	2,5	2,5	2,5	-	-	2,5	17
	II	11	3,5-4,5	14	3,5-4,5	2,8	15	11	13

Висновки

Відповідно до поставленої мети та завдань в статті розв'язано актуальну та важливу науково-технічну задачу підвищення герметичності торцевих ущільнень розробкою нових конструкцій з відведенням робочого середовища від пари тертя і отримано такі основні результати:

1. На основі аналізу сучасного стану конструкцій відомих торцевих ущільнень узагальнено їх недоліки і розроблені нові конструкції торцевих ущільнень з активним відводом ущільненого середовища від стику пари тертя [9–12] для покращення герметичності вузлів магістральних насосів.
2. Запропонована принципова схема покращення герметичності торцевих ущільнень шляхом відведення робочого середовища від пари тертя (рис. 1), яка є новою та не має аналогів.
3. Проведено огляд матеріалів, що можуть бути використані в парі тертя запропонованих торцевих ущільнень, та проаналізовано їх механічні властивості та можливості функціонування залежно від середовища та інтенсивності режиму роботи.
4. Запропонована методика підбору та матеріали для нових конструкцій торцевих ущільнень з активним відводом ущільненого середовища від пари тертя.

Література

1. Patrick M., Flatch, Dry-running seal technology for emission containment // A Sealing Technology Newsletter No. 10, October, 1994, pp. 8–11.
2. William V. Adams. Innovative technology uses gas in place of liquid to lubricate double mechanical seals. // Sealing Technology Newsletter No. 11, November, 1994, pp. 9–12.
3. Martsinkovsky V. A., Chernov A. E., Martsinkovsky V. S., Kovalenko S. A., Gromyko B. M., Matveev E. M. New Sealing Systems for Pumps in Chemical Industry // A Seals and Sealing Technology in Machines and Devices, VIII International Conference, Wroclaw 1998, pp. 123–131.
4. Gafleta Y. Development and application of double pulse gas-liquid seals // Proceedings of XVI International Conference Of Fluid Sealing – Brugge, Belgium, 2000. pp. 255–269.
5. Голубев А.И. Торцевые уплотнения вращающихся валов / А. И. Голубев. – М. : Машиностроение, 1974. – 212 с.
6. Голубев Г.А. Контактные уплотнения вращающихся валов / Г. А. Голубев, Г. М. Кукин, Г. Е. Лазарев, А. В. Чичинадзе. – М. : Машиностроение, 1976. – 264 с.
7. Кондратков А.А. Уплотнения и уплотнительная техника: Справочник / А. А. Кондратков, А. М. Голубев, В. Б. Овандер и др. – М. : Машиностроение, 1986. – 464 с.
8. Марцинковский В.А. Гидродинамика и прочность центробежных насосов / В. А. Марцинковский. – М. : Машиностроение, 1970. – 272 с.
9. Стрілець В.М. Нові конструкції торцевих ущільнень / В. М. Стрілець, І. О. Похильчук // Вісник РДТУ. Збірник наукових праць. – Рівне, 2001. – Випуск 4 (11). – С. 134–140.
10. Стрілець В.М. Нові конструкції торцевих ущільнень з активним відводом ущільненого середовища / В. М. Стрілець, І. О. Похильчук // Вісник УДУВГП. – Рівне : УДУВГП, 2002. – Вип. 5 (18), ч. 6. – С. 62–70.
11. Похильчук І.О. Нові конструкції торцевих ущільнень з активним відводом ущільненого середовища із стику пари тертя / І. О. Похильчук, В. М. Стрілець // Матеріали VII міжнародної наук.-практ. конференції „Наука і освіта 2004” т. 71. Будівн. та архітектура, Дніпропетровськ, 10–25 лютого 2004 р. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2004. – С. 64–65.
12. Стрілець В.М. Теоретичне дослідження багатоступінчастих торцевих ущільнень з активним відводом ущільненого середовища / В. М. Стрілець, І. О. Похильчук // Вісник УДУВГП : збірник наукових праць. – Рівне : УДУВГП, 2002. – Вип. 4 (17). – С. 339–348.

Отримана/Received : 22.2.2017 р. Надрукована/Printed : 8.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Малащенко В. О.

ОБҐРУНТУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ ЗУБЧАСТОЇ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНОЇ ПЕРЕДАЧІ З ВЕДУЧИМ ВОДИЛОМ І ВЕДЕНИМ ЕПІЦИКЛОМ АБО НАВПАКИ У ПРИСТРОЇ ЗМІНИ ШВИДКОСТІ

Проаналізована робота дворядної зубчастої диференціальної передачі з внутрішнім і зовнішнім зачепленням зубчастих коліс, коли ведучою ланкою є водило, а веденою – епіцикл або навпаки з точки зору ККД для випадку, коли керуючою ланкою є сонячне зубчасте колесо, кутова швидкість якого може змінюватися за допомогою замкнутої гідросистеми від нуля до максимуму. Виконані теоретичні дослідження ККД для такої передачі і за допомогою комп'ютерного моделювання отримані графічні залежності його від передаточного відношення та швидкостей ведучої ланки і ланки керування. Отримані аналітичні та графічні залежності ККД між ведучою і веденою ланками (водилом та епіциклом, або навпаки) у односходинкових дворядних зубчастих диференціальних передачах з замкнутими гідросистемами наочно дозволяють перекоонатися про зміну значення ККД і оцінити його з точки зору самогальмування.

Ключові слова: коефіцієнт корисної дії (ККД), зубчаста диференціальна передача, сонячне зубчасте колесо, епіцикл, водило, замкнута гідросистема.

O.R. STRILETS

National University of Water Management and Nature Resources Use, Rivne

EFFICIENCY JUSTIFICATION OF EPICYCLIC GEAR TRAIN WITH DRIVING CARRIER AND DRIVEN RING GEAR, OR VICE VERSA, IN SPEED CHANGE DEVICE

The article considers the functioning of a two-row epicyclic gear train when the driving element is a carrier and the driven - is ring gear, or vice versa, from the point of view of its efficiency. The cogwheels couples can have either internal or external gearing. The control element here is a sun gear that can be rotated or stopped by closed circuit hydrosystem. We have conducted a theoretical computer research of efficiency in such epicyclic gear train and using the means of computer modelling we have obtained graphical dependences of the transmission efficiency from its parameters. Thus, analytical and graphical dependences obtained for efficiency coefficient between driving and driven in a two-row epicyclic gear trains with closed circuit hydrosystems allow to verify visually the change of efficiency value and evaluating it in terms of self-braking.

Key words: efficiency coefficient, epicyclic gear train, sun gear, carrier, ring gear, satellite, hydrosystem.

Постановка проблеми

Під час виконання робіт підйомно-транспортними, будівельними, дорожніми, меліоративними машинами, автомобілями і тракторами, металообробними верстатами та іншою технікою виникає необхідність керування змінами швидкості за величиною та напрямком. У вітчизняній і зарубіжній техніці відомі способи сходинкового і безсходинкового керування швидкістю їх виконавчих механізмів, які мають багато недоліків. Із-за цього зменшується довговічність і надійність деталей приводів і машин в цілому. Тому запропонований новий спосіб і пристрої для керування змінами швидкості, які усувають згадані недоліки, за допомогою односходинкових і багатосходинкових зубчастих диференціальних передач з замкнутими гідросистемами. Запропоновані пристрої керування змінами швидкості за допомогою односходинкових і багатосходинкових зубчастих диференціальних передач з замкнутими гідросистемами, потребують подальших досліджень їх кінематичних, силових і геометричних параметрів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

У вітчизняній [1–12] і зарубіжній [13–16] періодичній технічній літературі запропонований новий спосіб керування змінами швидкості за допомогою односходинкових і багатосходинкових зубчастих диференціальних передач з замкнутою гідросистемою. У доповідях на наукових конференціях та інших наукових дискусіях, наприклад [17–21], часто звертається увага на ККД таких пристроїв, які дозволяють керувати змінами швидкості за допомогою односходинкових і багатосходинкових зубчастих диференціальних передач з замкнутою гідросистемою таких, що розроблені на рівні патентів України [22–25] і потребують подальших теоретичних досліджень їх кінематичних, силових і геометричних параметрів.

Загальні поняття ККД широко описані у відомій класичній технічній літературі з теорії механізмів і машин, наприклад, [26], але це мало стосується конкретних випадків роботи специфічних механізмів.

Мета роботи

Метою роботи є теоретично-комп'ютерне дослідження залежності зміни ККД зубчастої диференціальної передачі з замкнутою гідросистемою між ведучою ланкою (водило) і веденою (епіцикл), або навпаки, коли керування виконується через сонячне зубчасте колесо; отримати аналітичні та графічні залежності ККД між ведучою і веденою ланками (водилом та епіциклом, або навпаки) у односходинкових двохрядних зубчастих диференціальних передачах з внутрішніми і зовнішніми зачепленнями зубчастих коліс і з замкнутими гідросистемами від передаточного відношення, кутових швидкостей ведучої ланки і ланки керування та оцінити його з точки зору самогальмування.

Реалізація роботи

Загальновідомо, що за коефіцієнтом корисної дії оцінюють досконалість машин і механізмів та

намагаються його постійно підвищувати. Коефіцієнт корисної дії лежить у межах $0 \leq \eta < 1$ і є величиною, яка визначається відношенням корисної до витраченої потужності за достатньо відомими формулами. Його можна записати так

$$\eta = P_{\text{к}} / P_{\text{н}}, \quad (1)$$

де $P_{\text{к}}$ – потужність корисних сил; $P_{\text{н}} = P_{\text{к}} + P_{\text{ш}}$ – повна потужність, яка подається на механізм, де $P_{\text{ш}}$ – потужність шкідливих сил.

Вказане вище загальне визначення коефіцієнта корисної дії може бути конкретизовано для окремих випадків і, що важливо, можна отримати формули для визначення його через інші параметри механізмів.

Визначення ККД зубчастих диференціальних передач не завжди необхідне. Якщо така передача застосовується в якості редуктора, який передає потужність виконавчому механізму машини на протязі тривалого часу, тоді для виявлення її придатності необхідно визначати ККД. У разі, коли такі передачі використовують у якості пристроїв регулювання руху деяких ланок ККД можна не визначати, якщо є впевненість, що передача не самогальмівна.

На практиці в основному застосовують три відомі методи визначення ККД [26], які можна прийняти за базові для розв'язування поставленої конкретної задачі.

ККД запропонованого пристрою для керування змінами швидкості за допомогою диференціальної передачі з замкнутою гідросистемою через епіцикл, де ведучою ланкою є сонячне зубчасте колесо, а веденою – водило, початково має загальний вигляд

$$\eta = \eta_{43}\eta_6\eta_7, \quad (2)$$

де η_{43} – ККД зубчастої диференціальної передачі; η_6 – ККД привода замкнутої гідросистеми (зубчастої передачі); η_7 – ККД замкнутої гідросистеми (втрати потужності на роботу насоса при перекачуванні рідини у замкнутій гідросистемі).

Блок-схема можливих втрат потужності в пристрої для керування змінами швидкості за допомогою диференціальної передачі з замкнутою гідросистемою через епіцикл, де ведучою ланкою є сонячне зубчасте колесо, а веденою – водило, наведено на рис. 1.

На основі аналізу втрат потужності у пристрої (рис.1, блок-схеми) зроблений висновок, що частина потужності, поданої на сонячне зубчасте колесо через сателіт, передається на водило, а її частина через сателіт передається на епіцикл і замкнуту гідросистему.

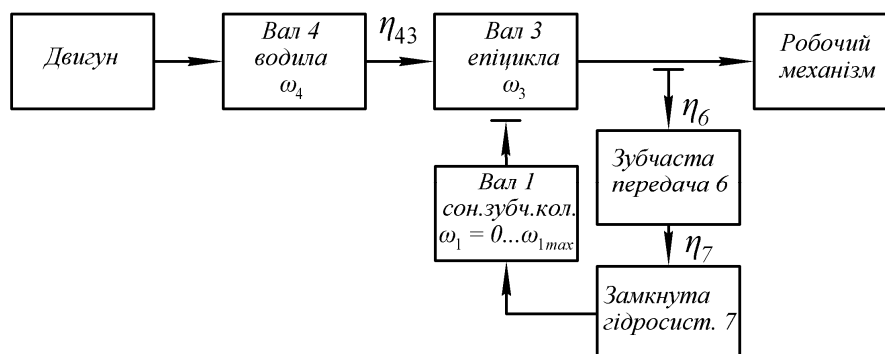


Рис. 1. Блок-схема втрат потужності у пристрої для керування змінами швидкості, коли ведучою ланкою є водило, а веденою – епіцикл, керування виконується через сонячне зубчасте колесо

Для визначення ККД розглянемо схему сил, які діють у зачепленнях сонячного зубчастого колеса і сателіта $\bar{F}_{12}$, сателіта та епіциклу $\bar{F}_{23}$ і сателіта та водила $\bar{F}_{24}$ і запишемо умову рівноваги сателіта (рис. 2) у вигляді

$$\bar{F}_{12} + \bar{F}_{23} + \bar{F}_{24} = 0. \quad (3)$$

Крім того, сума моментів сил, які діють на сателіт, відносно осі його обертання, рівна нулю:

$$\bar{F}_{12}r_2 + \bar{F}_{23}r'_2 = 0, \quad (4)$$

де r_2 і r'_2 – радіус початкового кола сателіта, відповідно, з числом зубців z_2 і z'_2

З виразів (3) і (4) сили, діючі на ланки диференціальної передачі будуть:

$$\bar{F}_{12} = -\bar{F}_{23}; \quad (5)$$

$$\bar{F}_{24} = -(\bar{F}_{12} + \bar{F}_{23}). \quad (6)$$

Отримані формули показують, що одна з заданих сил дає можливість визначити дві інші.

Якщо маємо заданий обертальний момент T_1 , то

$$F_{12} = T_1 / r_1, \quad (7)$$

де r_1 – радіус початкового кола сонячного зубчастого колеса z_1 .

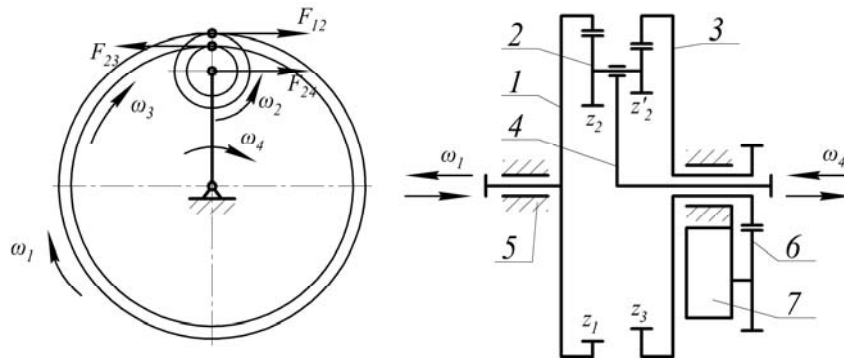


Рис. 2. Схема диференціальної двоохрядної передачі з внутрішнім зачепленням коліс: 1 – сонячне зубчасте колесо; 2 – сателіт; 3 – епіцикл; 4 – водило; 5 – корпус; 6 – зубчаста передача; 7 – замкнута гідросистема

Відповідно до виразу (7) для обертового моменту, який прикладається до колеса z_3 у передачі з зупиненим водилом, маємо

$$T_3 = F_{23}r_3 = -\frac{r_3}{r_1} T_1 = -u_{13}^{(4)} T_1, \quad (8)$$

тобто обертові моменти T_1 і T_3 без врахування тертя, відносяться, як у зубчастій передачі з нерухомими осями. Враховуючи тертя на зубцях, зв'язок між обертовими моментами можна подати так

$$T_3 = -T_1 u_{13}^{(4)} \eta_{13}^k, \quad (9)$$

де η_{13} – ККД передачі з нерухомими осями, визначається як для послідовного зачеплення; $k = +1$ – коли передача потужності здійснюється від зубчастого колеса z_1 до зубчастого колеса z_3 і $k = -1$ – коли передача потужності здійснюється від зубчастого колеса z_3 до зубчастого колеса z_1 ; $u_{13}^{(4)} = +\frac{z_2 z_3}{z_1 z_2'} -$ передаточне число зубчастої диференціальної передачі при зупиненому водилі.

У даному випадку ККД зубчастої диференціальної передачі необхідно визначати тому, що передається значна потужність від водила до епіциклу або навпаки, тобто вона застосовується, як силова передача, а сонячне зубчасте колесо служить ланкою для зміни величини швидкості.

Зв'язок між обертовими моментами, які діють на ланки зубчастої диференціальної передачі, може бути встановлений із розгляду умови рівноваги передачі в цілому, а саме:

$$T_1 + T_3 + T_4 = 0, \quad (10)$$

де T_4 – обертовий момент, який діє на водило. Згідно [26]

$$T_4 = -T_1 (1 - u_{13}^{(4)} \eta_{13}). \quad (11)$$

Коли ведучою ланкою є водило, а веденою – епіцикл, момент сил опору прикладений до епіциклу, тоді вираз для ККД буде мати такий вигляд

$$\eta_{43} = -\frac{T_3 \omega_3}{T_4 \omega_4 + T_1 \omega_1}. \quad (12)$$

Підставимо значення T_1 , T_3 і T_4 у (12) і виразимо ω_3 через ω_4 використавши формулу (1), [7], після нескладних перетворень, отримаємо:

$$\eta_{43} = \frac{[\omega_1 - \omega_4 (1 - u_{13}^{(4)})] \eta_{13}}{\omega_1 - \omega_4 (1 - u_{13}^{(4)} \eta_{13})}. \quad (13)$$

Для того, щоб більш наочно показати характер зміни ККД диференціальної передачі з пристроєм у вигляді замкнутої гідросистеми коли ведучою ланкою є сонячне зубчасте колесо, а веденою – водило, від параметрів передачі, виконано наступне. Формула (13) запрограмована та отримані на комп'ютері графічні залежності $\eta_{43} = f(\omega_1, \omega_4, u_{13}^{(4)})$ для передаточних відношень, що змінювались у межах $u_{13}^{(4)} = 0,1 \dots 1$, та кутовій швидкості ведучої ланки $\omega_4 = 100 \text{ рад/с}$. Отримані графічні залежності для: $\eta_{13}^{(4)} = 0,97$ і $\omega_1 = 0 \dots 25 \text{ рад/с}$ показані наведені на рис.3.

ККД пристрою для керування змінами швидкості за допомогою диференціальної передачі з замкнутою гідросистемою через епіцикл, де ведучою ланкою є водило, а веденою сонячне зубчасте колесо, записується у вигляді

$$\eta = \eta_{34} \eta_6 \eta_7, \quad (14)$$

де η_{34} – ККД диференціальної передачі; η_6 – ККД привода замкнутої гідросистеми; η_7 – ККД замкнутої гідросистеми (втрати потужності на роботу насоса при перекачуванні рідини у замкнутій гідросистемі).

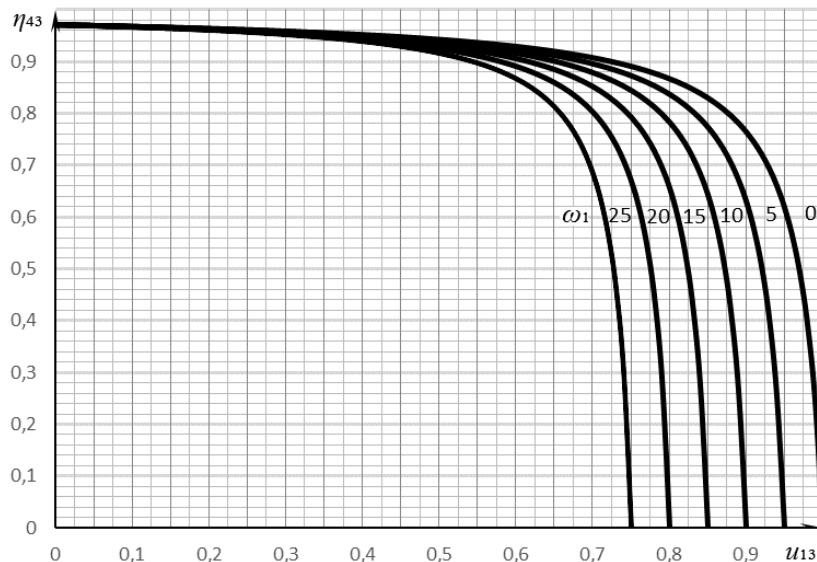


Рис. 3. Графіки зміни ККД у диференціальній одиорядній передачі коли ведучою ланкою є сонячне зубчасте колесо, а веденою – водило залежно від передаточного числа і швидкості керування

Блок-схема можливих втрат потужності в пристрої для керування змінами швидкості за допомогою диференціальної передачі з замкнутою гідросистемою через епіцикл, де ведучою ланкою є водило 4, а веденою сонячне зубчасте колесо 1, наведена на рис. 4.

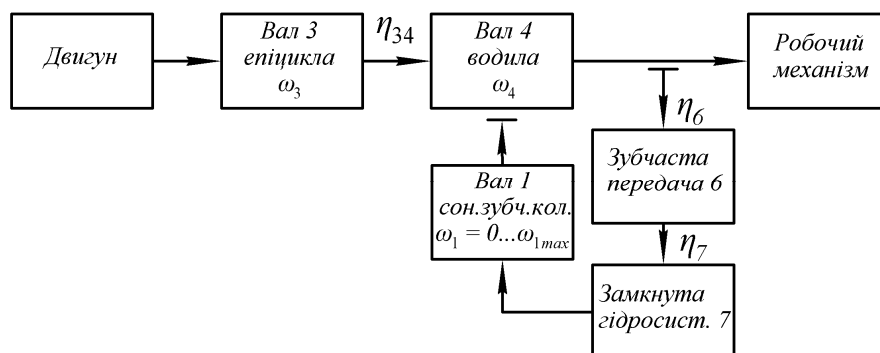


Рис. 4. Блок-схема втрат потужності у пристрої для керування змінами швидкості, коли ведучою ланкою є епіцикл, а веденою – водило, керування виконується через сонячне зубчасте колесо

Якщо обертальний момент T_4 є моментом опору робочої машини – водило є веденим, а T_3 – обертальний момент ведучого епіциклу і T_1 обертальний момент ланки керування – сонячного, тоді коефіцієнт корисної дії при веденому сонячному зубчастому колесі z_1 можна виразити відношенням корисно використаної потужності до повної потужності

$$\eta_{34} = -\frac{T_4 \omega_4}{T_3 \omega_3 + T_1 \omega_1}. \quad (15)$$

Якщо у формулу (15) підставити значення T_1 , $T_3 = -T_1 u_{13}^{(4)} \eta_{13}^{-1}$ і $T_4 = -T_1 (1 - u_{13}^{(4)} \eta_{13}^{-1})$ з формул (9) і (11) та замінимо ω_1 через ω_4 використавши формулу (3) з [8], після нескладних перетворень, отримаємо вираз для ККД при веденому зубчастому колесі z_1 у вигляді.

$$\eta_{34} = \frac{(1 - u_{13}^{(4)} \eta_{13})(\omega_1 - \omega_3 u_{13}^{(4)})}{(1 - u_{13}^{(4)})(\omega_1 - \omega_3 u_{13}^{(4)} \eta_{13})}. \quad (17)$$

Подібно до попереднього отримано графічні зображення виразу (17) для: $\eta_{13}^{(4)} = 0,97$; $\omega_4 = 100 \text{ рад/с}$; $u_{13}^{(4)} = 0,1 \dots 1$ і $\omega_3 = 0 \dots 25 \text{ рад/с}$, що наведені на рис. 5.

Для двохрядної зубчастої диференціальної передачі з зовнішнім зачепленням коліс, показаної на рис. 6, висновки будуть подібними.

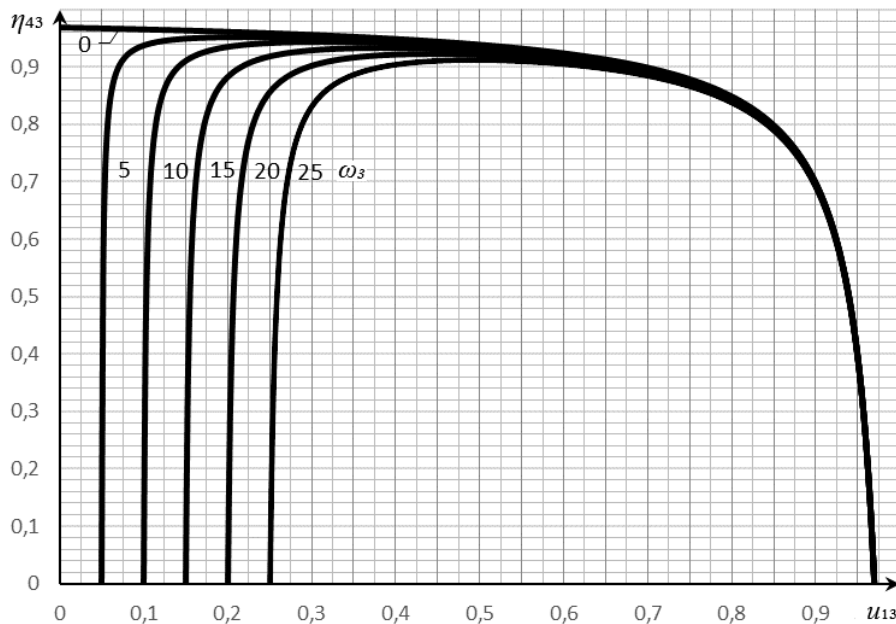


Рис. 5. Графіки зміни ККД у диференціальній двоохрядній передачі коли ведучою ланкою є епіцикл, а веденою – водило

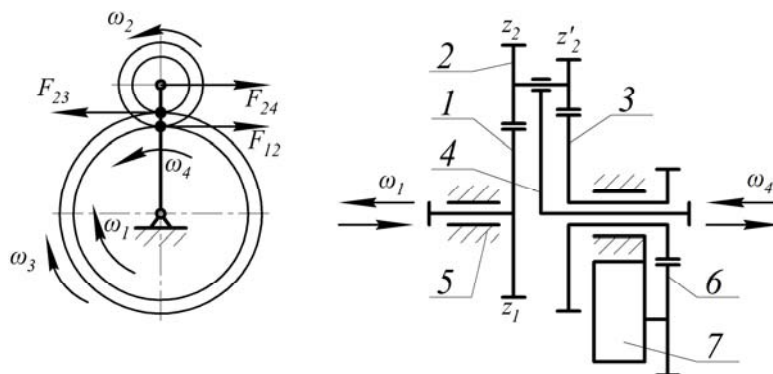


Рис. 6. Схеми сил у зубчастій диференціальній двоохрядній передачі з зовнішнім зачепленням коліс

Висновки

1. Отримані аналітичні та графічні залежності ККД між ведучою і веденою ланками (сонячним зубчастим колесом і водилом, або навпаки) у односхідчастих одnorядних і двоохрядних зубчастих диференціальних передачах з замкнутими гідросистемами за допомогою засобів комп'ютерного моделювання, надані на рис. 3 і 5, наочно дозволяють переконатися про зміну значення ККД і оцінити його з точки зору самогальмування.

2. Із графіків (рис. 3) видно, що у зубчастій диференціальній передачі, де ведучою ланкою є сонячне зубчасте колесо, а веденою – водило, ККД вищий ніж у простій передачі та істотно збільшується зі збільшенням кутової швидкості ланки керування та дещо зменшується зі збільшенням передаточного відношення.

3. Із графіків (рис. 5) видно, що у зубчастій диференціальній передачі, де ведучою ланкою є водило, а веденою – сонячне зубчасте колесо, ККД вищий ніж у простій передачі, дещо зменшується зі збільшенням передаточного відношення і збільшується зі збільшенням кутової швидкості ланки керування, а аналіз виразу 17 показує, що ККД не зменшується для даного квадранта до нуля і неможливе самогальмування.

Література

1. Стрілець О. Керування змінами швидкості за допомогою зубчастої диференціальної передачі / О. Стрілець, В. Стрілець, І. Шинкаренко // *Машинознавство : всеукраїнський наук.-техн. і виробн. журнал.* – 2007. – № 6 (120). – С. 38–41.
2. Стрілець О. Комп'ютерне моделювання диференціальних передач з пристроєм для керування швидкістю / О. Стрілець // *Машинознавство : всеукраїнський наук.-техн. і виробн. журнал.* – 2009. – № 12 (150). – С. 39–43.
3. Malashchenko V. Fundamentals of Creation of New Devices for Speed Chang Management / V. Malashchenko, O. Strilets, V. Strilets // *Ukrainian Journal of Mechanical Engineering and Materials Science.* – Lviv : LPNU, 2015. – № 2. – P. 11–20.
4. Малащенко В.О. Класифікація способів і пристроїв керування процесом зміни швидкості у

- техніці / В.О. Малащенко, О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець // Підйомно-транспортна техніка. – Одеса, 2015. – № 1. – С. 70–78.
5. Стрілець О.Р. Обґрунтування можливості керування змінами швидкості за допомогою диференціальних передач / О. Стрілець // Вісник Інженерної академії України. – К. : НАУ, 2015. – № 2. – С. 177–181.
6. Стрілець О.Р. Керування змінами швидкості за допомогою зубчастої диференціальної передачі через епіцикл / О.Р. Стрілець // Науковий журнал «Вісник Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя». – Тернопіль : ТНТУ, 2015. – № 4 (80). – С. 129–135.
7. Стрілець О.Р. Керування процесом зміни швидкості за допомогою диференціальної передачі через сонячне зубчасте колесо / О.Р. Стрілець // Науковий журнал «Вісник Хмельницького національного університету». – 2015. – № 5. – С. 68–72.
8. Стрілець О.Р. Керування змінами швидкості за допомогою неповної диференціальної передачі через сателіт / О.Р. Стрілець // Вісник національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки. – Рівне, 2015. – № 4 (72). – С. 138–148.
9. Стрілець О.Р. Керування змінами швидкості за допомогою зубчастої диференціальної передачі через водило / О.Р. Стрілець // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – 2015. – № 6 (95), ч. 1. – С. 87–92.
10. Малащенко В.О. Керування змінами швидкості за допомогою багатосходинової зубчастої передачі через сонячне зубчасте колесо / В.О. Малащенко, О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець // Вісник Національного технічного університету «ХПІ» : збірник наукових праць. Серія: Проблеми механічного приводу. – Х. : НТУ «ХПІ», 2016. – № 23(1195). – С. 87–92.
11. Малащенко В.О. Керування змінами швидкості за допомогою багатосходинової зубчастої передачі через сонячне зубчасте колесо / В.О. Малащенко, О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». Динаміка, міцність та проектування машин і приладів. – Львів : НУ «ЛПІ», 2016. – № 838. – С. 57–63.
12. Малащенко В.О. Новий привод з диференціалом і замкнутою гідросистемою для керування швидкістю машини / В.О. Малащенко, О.Р. Стрілець, В.М. Стрілець // Вібрації в техніці та технологіях : всеукраїнський науково-технічний журнал – Вінниця, 2016. – № 3(83). – С. 109–116.
13. Malashenko V. Metoda i urzadzenie do zmiany predkosci za pomoca obiegowej przekladni zebatej z zestawem stopniowanych kol planetarnich / V. Malashchenko, O. Strilets, V. Strilets // PRACE NAUKOWE ITVL. – 2016. – Zeszit 38. – S. 5–11.
14. Malashenko V. Method and device for speed change by the epicyclic gear train with stepped-planet gear set / V. Malashchenko, O. Strilets, V. Strilets // RESEARCH WORKS OF AFIT. – 2016. – Issue 38. – P. 13–19.
15. Малащенко В.А. Новый способ бесступенчатого изменения скорости при помощи зубчатых дифференциальных передач с замкнутой гидросистемой / В.А. Малащенко, О.Р. Стрілець, В.Н. Стрілець // Механические передачи. Приводы и компоненты машин : международный инженерный журнал. – М., 2015. – № 4-5. – С. 7–10.
16. Вавилов А.В. Совершенствование трансмиссий дорожных машин для повышения их конкурентоспособности и обеспечения импортозамещения / А.В. Вавилов, В.А. Малащенко, О.Р. Стрілець, В.Н. Стрілець // Автомобильные дороги и мосты. – Минск : БНТУ, 2016. – С. 140–150.
17. Стрілець О.Р. Способи керування змінами швидкості у техніці / О.Р. Стрілець // Збірник тез. VIII-ї Міжнародної наук.-практ. конференції «Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси ІРТК-2015». – К., 18–19 травня, 2015. – С. 220–221.
18. Стрілець О.Р. Огляд і аналіз способів керування змінами швидкості в техніці 12-й Міжнародний симпозіум українських інженерів-механіків у Львові / О.Р. Стрілець // тези, 28-29 травня 2015 року. – Львів : КІНПАТРИ ЛТД, 2015. – С. 196–197.
19. Стрілець О.Р. Кінематичні можливості зубчастих диференціальних передач з замкнутою гідросистемою / О.Р. Стрілець // Матеріали Міжнародної науково-технічної конф. молодих учених і студентів „Актуальні задачі сучасних технологій”. – Тернопіль, 25-26 листопада 2015. – Том 1. – С. 234–235.
20. Стрілець О.Р. Можливості багатосходинової зубчастої диференціальних передач з замкнутою гідросистемою керувати швидкістю / О.Р. Стрілець // Збірник тез. IX-ї Міжнародної науково-практ. конф. «Інтегровані інтелектуальні робото-технічні комплекси ІРТК-2016». – К., 17–18 травня 2016. – С. 234–236.
21. Стрілець О.Р. Про визначення коефіцієнта корисної дії зубчастих диференціальних передач з замкнутою гідросистемою для керування змінами швидкості / О.Р. Стрілець // Тези 5 Міжнар. науково-техн. конф. «Теорія та практика раціонального проектування, виготовлення і експлуатації машинобудівних конструкцій», 27-28 жовтня 2016. – Львів : КІНПАТРИ ЛТД, 2016. – С. 142–144.
22. Пат. 18587 Україна, МПК F16H3/00. Зубчастий диференціал з пристроєм для керування змінами швидкості / Стрілець О.Р., Стрілець В.М. ; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u №2006 05205 ; заявл. 12.05.06 ; опубл. 15.11.06, Бюл. № 11, 2006 р.
23. Пат. 25335 Україна, МПК F 16 H 1/28. Зубчастий диференціал з пристроєм для керування змінами швидкості / Стрілець О.Р. ; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u № 2005 04847 ; заявл. 23.01.07 ; опубл. 19.08.07, Бюл. № 12, 2007 р.

24. Пат. 28489 Україна, МПК В60/К17/06. Планетарна коробка передач / Стрілець О.Р. ; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u № 2007 09132 ; заявл. 09.08.07 ; опубл. 10.12.07, Бюл. № 20, 2007 р.

25. Пат. 108239 Україна, МПК F 16 H 1/28. Пристрій для керування змінами швидкості / Стрілець О.Р., Малащенко В.О., Стрілець В.М. ; заявник і власник патенту Національний університет водного господарства та природокористування. – u №2016 00131 ; заявл. 04.01.16 ; опубл. 11.07.16, Бюл. № 13, 2016 р.

26. Кіницький Я.Т. Теорія механізмів і машин : підруч. / Я.Т. Кіницький ; НАН України. – К. : «Наук. Думка», 2002. – 660 с.

Отримана/Received : 22.2.2017 р. Надрукована/Printed : 8.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Малащенко В.О.

УДК 669.1:537.5

В.С. КУРСКОЙ, В.В. ЛЮХОВЕЦЬ, О.С. ЗДИБЕЛЬ

Хмельницький національний університет

АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЖИВЛЕННЯ ЦИКЛІЧНО-КОМУТОВАНОГО РОЗРЯДУ В УСТАНОВКАХ АЗОТУВАННЯ

Розглянуто питання апаратного забезпечення процесу азотування в тліючому розряді з циклічно-комутованим живленням. Проведено аналіз існуючих методів реалізації електронного ключа та режимів їх роботи. В ході аналізу встановлено, що основним недоліком існуючих рішень є те, що при їх практичній реалізації не були враховані значні сплески напруги на комутуючому елементі, які виникають внаслідок замикання або розмикання ланцюга. Для усунення даної проблеми авторами запропоноване нетривіальне рішення, яке полягає у послідовному з'єднанні ключових елементів та організації для них синхронного керування. Також було вирішене питання визначення параметрів керуючого сигналу по відношенню до властивостей робочої камери.

Ключові слова: азотування, тліючий розряд, циклічно-комутоване живлення, електронний ключ.

V.S. KURSKOY, V.V. LIUKHOVETS, O.S. ZDYBEL

Khmelnytskyi National University

HARDWARE REALIZATION OF A POWER SUPPLY OF A CYCLIC SWITCHED DISCHARGE IN NITRIDING INSTALLATIONS

The problems of hardware support of the nitriding process in a glow discharge with cyclic-switched power are considered. The analysis of existing methods of electronic key implementation and their operation modes is carried out. In the course of the analysis it was found that the main drawback of the existing solutions is that, in their practical implementation there are significant spikes in the voltage across the switching elements that resulted from the closure or opening of the circuit were not taken into account. To eliminate this problem, the authors proposed a non-trivial solution, which consists in the consecutive connection of key elements and the organization of synchronous control for them. The question of determining the parameters of the control signal with respect to the properties of the working chamber was also solved.

Keywords: nitriding, glow discharge, cyclic-switched power, electronic key.

Вступ

Серед значної кількості методів модифікації поверхонь тертя чільне місце посідає технологія азотування в тліючому розряді. Однією з основних переваг цієї технології є керованість процесом та його результатами. Серед сукупності методів керованого впливу на процеси при азотуванні в тліючому розряді особливо актуальними є методи пов'язані з живленням камери струмом з нестаціонарними параметрами, зокрема циклічно-комутованим струмом. Впровадження режиму циклічної комутації при азотуванні в тліючому розряді відкриває додаткові у порівнянні з традиційним азотуванням в тліючому розряді можливості підвищення ефективності та якості вказаної технології, насамперед:

- розширюється можливість азотування деталей складної форми (наявність глибоких та вузьких пазів, отворів малого діаметра та значної глибини тощо). Зокрема, для отворів менше 8 мм імпульсне живлення більш ефективне оскільки забезпечує азотування всередині отворів [1];

- значно спрощуються вимоги до формування садки, усувається проблема штучного створення щілин та пазів, що виникає при надмірному зближенні деталей одне до одного [2].

- знижується ризик локальних ушкоджень модифікованих поверхонь за рахунок зменшення ймовірності виникнення дугових розрядів;

- розширюється допустимий діапазон регулювання таких важливих з точки зору оптимізації технологічного процесу параметрів як тиск в розрядній камері та температура поверхні деталей;

- для варіанту автономної системи нагрівання деталей значно спрощується контроль недопущення перегрівання поверхні, спричиненої виділенням додаткової енергії розряду [3–5].

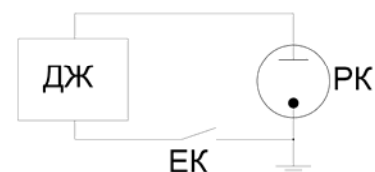


Рис. 1. Ідеалізована схема реалізації циклічно-комутованого живлення тліючого розряду

Виклад основного матеріалу

Основні положення розробки апаратури для циклічної комутації розряду викладені в роботі [6]. Схему установки для реалізації циклічно-комутованого живлення тліючого розряду в ідеалізованому вигляді можна представити наступним чином (рис. 1), де РК – розрядна камера, ДЖ – джерело живлення, ЕК – електронний ключ.

Структурна схема апаратної реалізації циклічно-комутованого живлення тліючого розряду наведена на рис. 2.

Використання електронного ключа в ланцюгу живлення камери дозволяє не змінюючи потужності, що виділяється на катоді збільшити напругу катодного падіння, а отже збільшити кінетичну енергію іонів.

Основною проблемою при організації циклічно-комутованого живлення є вибір елементної бази. До недавнього основним елементом електронного ключа були електронні лампи. Відомі варіанти реалізації такого живлення з використанням водневого тиратрона ТГІ1-500/16 [7]. Експериментальний стенд, описаний в роботі, являє собою дещо удосконалену схему, зазначену на рис. 2.

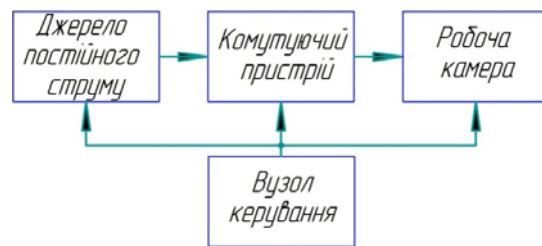


Рис. 2. Структурна схема комплексу для реалізації режимів азотування в тліючому розряді з циклічно-комутованим живленням

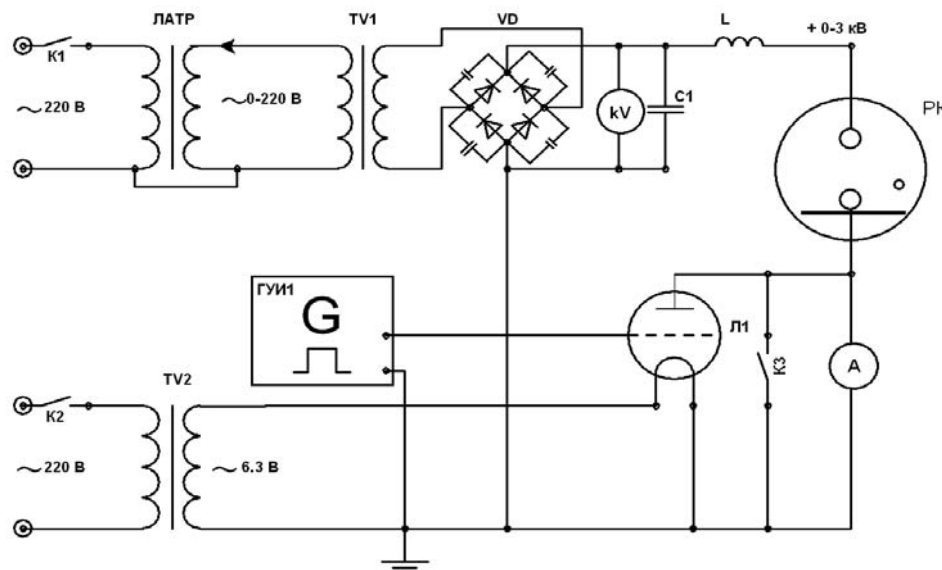


Рис. 3. Реалізація азотування в тліючому розряді з циклічно-комутованим живленням з тиратроном в якості ключового елемента

В даному устаткуванні напруга на катод робочої камери подається з лабораторного автотрансформатора ЛАТР та розв'язуючого трансформатора TV1 через діодний міст VD і може бути змінена в межах від 0 до 3000В. І, оскільки в схемі відсутній активний захист від переходу тліючого розряду в дуговий, його функції частково виконує дросель L. Для періодичного переривання струму в тліючому розряді застосовано водневий тиратрон (ЛІ1) ТГІ1-16/500. Частота переривання струму задається генератором керуючих імпульсів (ГУІІ). анод тиратрона з'єднується з катодом розрядного вузла, а катод заземлюється. При подачі на сітку тиратрона позитивних імпульсів з амплітудою близько 420 В він періодично відкривається і в розрядному вузлі загоряється розряд. До недоліків використання газорозрядних ламп в якості електронного ключа в циклічно-комутованому тліючому розряді слід віднести складність тепловідведення, значні габарити та складність монтажу лампи, наявність накалу, складність організації керування роботою ключа через необхідність забезпечення високої напруги на сітку, низька довговічність [8]. На сьогоднішній день на зміну електронним лампам в якості ключових елементів імпульсних схем прийшли напівпровідникові прилади – транзистори та тиристори. Вдалий приклад реалізації циклічно-комутованого живлення з транзистором в якості ключового елемента наведено в [6]. Функціональну схему контролера переривчастого режиму наведено на рис. 4.

Особливістю даної реалізації є акцент на захисті від переходу тліючого розряду в дуговий та захисті від перевантажень електронного ключа. Практичний досвід використання такої схеми підтвердив її працездатність в широкому діапазоні напруги та струму. Проте виявився недолік, який проявлявся в виході силового ключа через пробій високою напругою при тому, що значення діючої напруги контролювалися та знаходилися в допустимих межах. Така поведінка транзисторів електронного ключа пов'язана з тим, що характерною особливістю, притаманною для циклічно-комутованого живлення, є наявність сплесків напруги на електродах розрядної камери, які можуть стимулювати відповідні субпроцеси, наприклад – розповсюдження поверхні, дифузію в глибину поверхневого шару тощо. І, оскільки, робоча камера, з певними

припущеннями може бути представлена у вигляді індуктивного навантаження [9], характерні сплески напруги виникають як при замиканні ланцюга «джерело живлення – робоча камера» так і при його розмиканні (рис. 5).

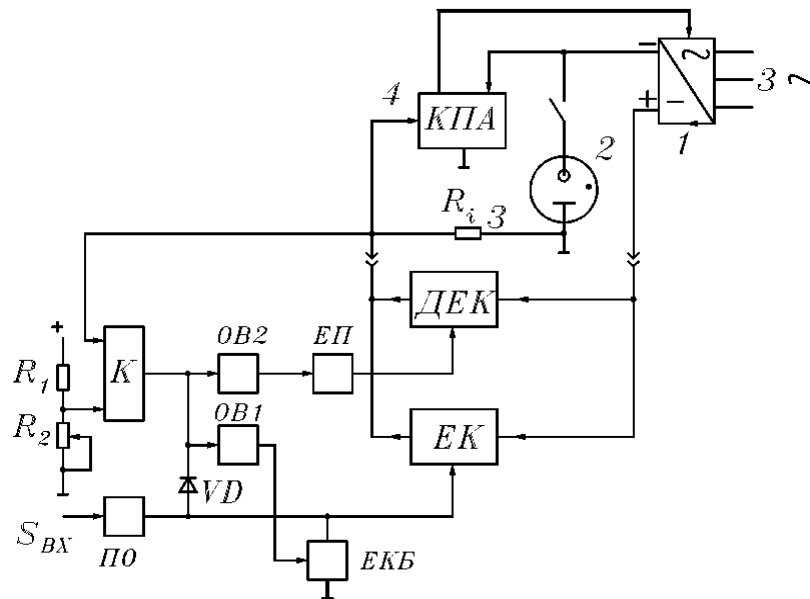


Рис. 4. Функціональна схема контролера переривчастого режиму:

1 – трифазний випрямляч; 2 – розрядна камера; 3 – датчик струму; 4 – контролер процесу азотування;
 R_i – датчик струму; R_1 , R_2 – задатчики порогу; К – компаратор; SBX – вхідний керуючий сигнал;
 ПО – підсилювач-обмежувач; ОБ1, ОБ2 – одновібратори; ЕК – електронний ключ; ДЕК – допоміжний електронний ключ; ЕП – емітерний повторювач; ЕКБ – електронний ключ блокування; VD – діод блокування

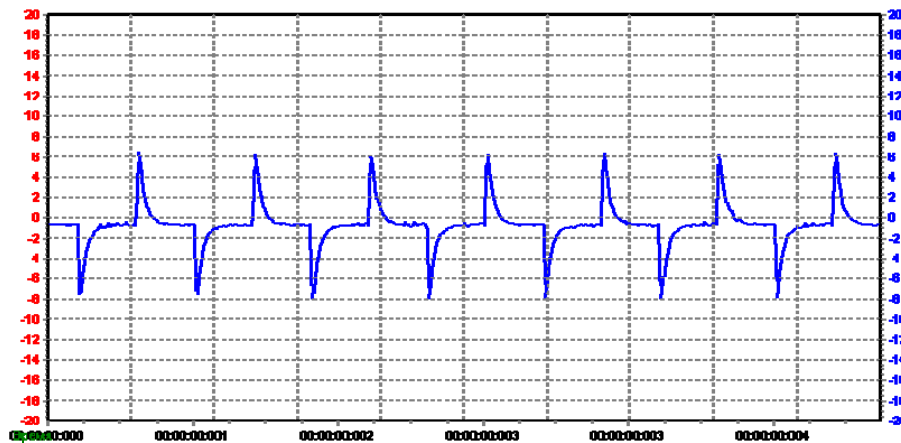


Рис. 5. Характерний вигляд осцилограми падіння напруги на робочій камері при азотуванні в циклічно-комутованому тліючому розряді

Характерний для всіх кривих сплеск струму та напруги може складати понад 80% по відношенню до стаціонарного значення [10]. В ході дослідження режимів роботи електронного ключа було виявлено режими, при яких амплітуда напруги комутованого струму досягає значень понад 3000 В при величині пікового струму понад 20 А. Забезпечення комутації струму в таких умовах, виходячи з існуючої елементної бази є досить складною. Зокрема, переважна більшість напівпровідникових елементів мають пікове значення робочої напруги, яке не перевищує 1200 В. Виходячи з вищесказаного логічно було б реалізувати схему ключа з послідовним включенням транзисторів. Традиційна схема послідовного включення транзисторів наведена на рис. 6 [11].

Проте така схема ефективно працює при відносно невисокій частоті комутації (близько 1 кГц), при цьому зі збільшенням кількості транзисторів частотні характеристики погіршуються, що обмежує робочий діапазон частот комутації. Для побудови електронного ключа, який би працював на більш високих частотах необхідно організувати одночасне керування всіма транзисторами ланцюга (рис. 7). Реалізація такого керування можлива лише при наявності гальванічно ізолюваного драйвера.

Для досягнення цієї мети може бути використаний оптрон або трансформатор. Кожен з варіантів має свої переваги та недоліки. Було обрано керування затворами ключових транзисторів за допомогою інтегрального оптронного драйвера HCNW-3120. Мікросхема забезпечує піковий струм управління затворами транзисторів 2 А (в режимі установки високого і низького рівня сигналів), що дозволяє використовувати її без додаткових каскадів. Напруга живлення драйвера знаходиться в діапазоні від 15 до

30 В. Важливим параметром також є напруга гальванічної розв'язки оптопар. В даному випадку воно становить не менше 5000 В, що дозволяє використовувати мікросхему в усьому діапазоні напруги катодного падіння робочої камери. Схема драйвера одного силового транзистора наведено на рис. 8.

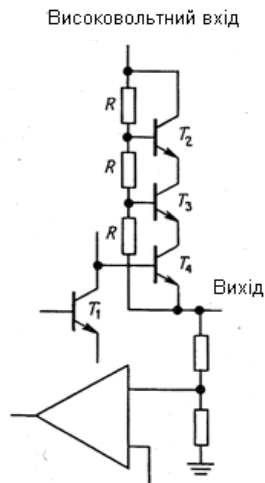


Рис. 6. Послідовне включення транзисторів для підвищення напруги пробую

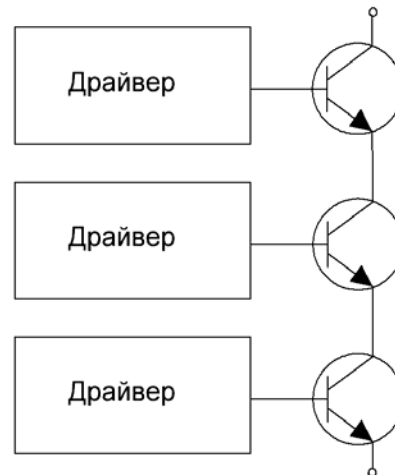


Рис. 7. Структурна схема послідовного з'єднання транзисторів з синхронним керуванням

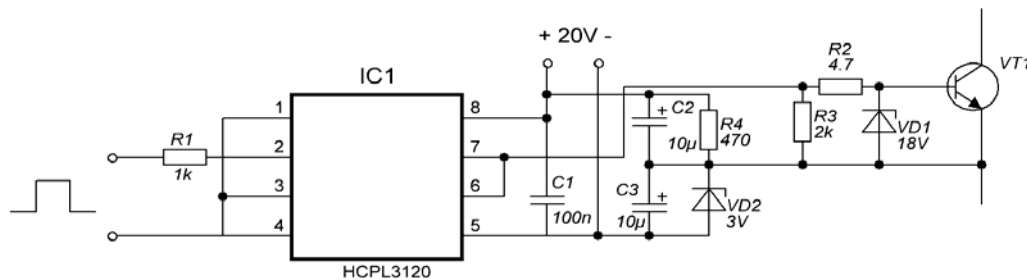


Рис. 8. Схема драйвера силового транзистора

Для забезпечення оптимальної роботи такої схеми було вирішено два ключових питання: коригування напруги на кожному з елементів та розробка схеми керування. Основною проблемою при організації послідовного включення є симетрування роботи кожного з елементів, оскільки при наявності несиметричності в роботі елементів один з них відкривається та закривається раніше за інші, що в свою чергу призводить до підвищених втрат тепла на даному елементі, а отже зниженню надійності системи в цілому. Для статичного симетрування було використано резистори R1-R3, включені паралельно кожному з транзисторів T1-T3. Умовою динамічної симетрії є забезпечення малих відхилень часу проходження сигналу в драйвері. Для цього можуть бути використані RC або RCD ланцюги, які можуть дуже ефективно підтримувати динамічну симетрію. Ці ланцюги зменшують, а потім балансують швидкість dv/dt при комутації. Однак, вимогою для більшості пасивних силових компонентів є висока надійність елементів RC або RCD ланцюгів, які повинні витримувати високі напруги. Перевагою пасивного динамічного симетрування є відсутність додаткової схеми керування транзистором, достатньо використовувати стандартний драйвер [12]. З урахуванням вищезазначеного схема з'єднання силових ключів наведена на рис. 9.

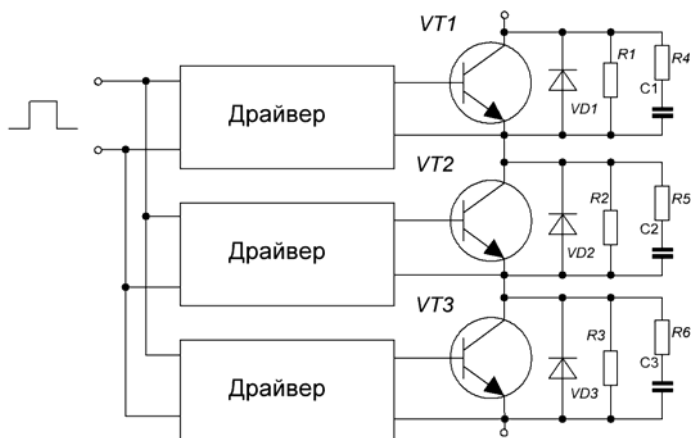


Рис. 9. Схема послідовного з'єднання ключових елементів

Таким чином, проблему перевищення допустимого значення напруги на елементах електронного ключа було вирішено. Проте залишається актуальним питання параметрів керуючого сигналу. Зокрема частоти та коефіцієнта заповнення імпульсу. На рис. 10 наведено осцилограму напруги на електродах робочої камери. Як видно з рисунку мікрофазы наявності живлення на електродах розрядної камери чергуються з мікрофазы його відсутності. Таким чином змінюючи параметри роботи електронного ключа

можна регулювати часові характеристики «народження» та «загибелі» розрядних процесів. Виходячи з того, що форма керуючої напруги є прямокутною, до таких параметрів слід віднести частоту та шпаруватість сигналу. В розрізі того, що при запалюванні та згасанні розряду має місце коливальний процес (робоча камера являє собою LC-контур), а також з огляду на особливості роботи електронного ключа актуальною є питання вибору граничних значень частоти та шпаруватості керуючого сигналу.



Рис. 10. Осцилограми напруги катодного падіння при азотуванні зразків з титану ВТ-3 з циклічно-комутованим живленням частотою 1кГц, 50 В/под

Експериментально було встановлено, що мінімальною актуальною межею частоти керуючих імпульсів є частота порядку 500 Гц, в той час як верхня межа, зважаючи на наявність коливального процесу зі сталими для даних умов роботи камери параметрами була обмежена частотою в 10кГц. Такі параметри керуючого сигналу актуальні для сигналу у формі меандру, тобто коли коефіцієнт заповнення сигналу становить 50%. В якості критерію, обмежуючого частоту і коефіцієнт заповнення сигналу є стала часу перехідних процесів в камері та на електронному ключі. Коефіцієнт заповнення зв'язаний з частотою імпульсів наступною залежністю

$$D = \tau \cdot \nu, \quad (1)$$

де τ – тривалість імпульсу, с; ν – частота імпульсів, Гц.

Тривалість імпульсу не повинна бути меншою за тривалість перехідних процесів, оскільки при цьому електронний ключ працює нестабільно і може бути виведений з ладу високою напругою викиду. Таким чином умова працездатності ключа запишеться наступним чином:

$$\tau \gg \tau_{\min}, \quad (2)$$

де $\tau_{\min}$ – мінімально допустимий час імпульсу, який чисельно дорівнює тривалості перехідних процесів.

Звідки визначаємо граничне значення коефіцієнта заповнення:

$$D = \tau_{\min} \cdot \nu.$$

Зважаючи на те, що визначена в ході досліджень стала часу перехідних процесів камери не перевищувала значення в 30 мкс, то для діапазону частот від 500 Гц до 10 кГц робоча зона може бути представлена наступним чином (рис. 11):

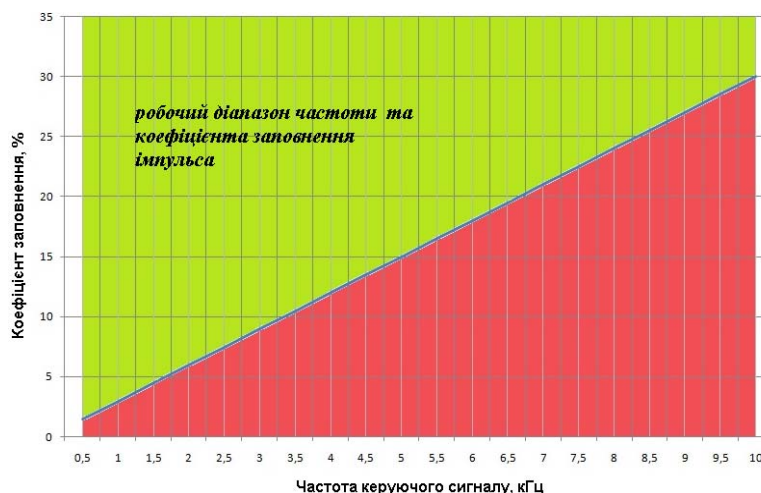


Рис. 11. Робочий діапазон коефіцієнта заповнення імпульсу керуючого сигналу

Висновки

Таким чином, застосування запропонованого комплексу в якості ключа при реалізації циклічно-комутованого живлення при азотуванні в тліючому розряді дозволило реалізувати весь спектр робочих напруг та струмів, оскільки значення цих величин обмежуються лише кількістю застосованих елементів, що відкриває шлях до експериментального використання циклічно-комутованого розряду для модифікації поверхні металевих сплавів на принципово новій основі.

Література

1. Kwon S. C. A comparative study between pulsed and D. C. ion nitriding behavior in specimens with blind holes / S. C. Kwon, G. H. Lee, M. C. Yoo // 1st International conference of ion nitriding. – Cleveland, Ohio. – 1986. – P. 77-81.
2. Remges W. Plasma (Ion) nitriding and plasma (Ion) nitrocarburizing units, application and experiences / W. Remges, J. Luhr // Proceedings of a International Conference of Ion Nitriding & Carburizing. – Cincinnati, Ohio. – 1989.
3. Grun R. Pulse plasma treatment the innovation for ion nitriding / R. Grun // 1st International conference of ion nitriding. – Cleveland, Ohio. – 1986. – P. 143-168.
4. Grun R. Industrial advances for plasma nitriding / R. Grun // Ion nitriding and ion carburizing: 2nd International conference of ion nitriding/carburizing. – Cleveland, Ohio. – 1989. – P. 157-163.
5. Dressler S. Plasma parameter control for industrial situations: The role of hot wall plasma nitriding furnaces / S. Dressler // Ion nitriding and ion carburizing: 2nd International conference of ion nitriding/carburizing. – Cleveland, Ohio. – 1989. – P. 183-195.
6. Давидов А. М. Апаратна реалізація режиму азотування в циклічно комутованому тліючому розряді / А. М. Давидов, М. В. Лук'янюк, І. М. Пастух // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2010. – № 1. – С. 50-53.
7. Токарев А.В. Ионное азотирование стали в импульсном тлеющем разряде / А. В. Токарев // Вестник Кыргызско-Российского славянского университета. – 2009. – Т. 9. – № 11. – С. 51-57.
8. Батушев В. А. Электронные приборы : учебник для вузов / В. А. Батушев. – 2-е, перераб. и доп. – М. : Высшая школа, 1980. – С. 302-303.
9. Пастух І.М. Вихідні положення визначення електричних характеристик при азотуванні в тліючому розряді з нестационарним живленням / І. М. Пастух, М. В. Лук'янюк, В. О. Курская // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2012. – № 1. – С. 7-10.
10. Пастух І. М. Перехідні процеси вмикання струму в установці для азотування в тліючому розряді з нестационарним живленням / І. М. Пастух, М. В. Лук'янюк, В. О. Курская // Вісник Хмельницького національного університету. – 2012. – № 3. – С. 11-15.
11. Хоровиц П. Искусство схемотехники. В 3 т. / П. Хоровиц, У. Хилл. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Мир, 1993.
12. Nicolai, U. u.a. Application Manual Power Modules; 2000 ISBN 3-932633-46-6.

Отримана/Received : 3.5.2017 р. Надрукована/Printed : 8.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Стечишин М.С.

УДК 539.3

А.О. РАМСЬКИЙ

Хмельницький національний університет

ЗМЕНШЕННЯ НАПРУЖЕНЬ ПЛИТИ ПІД ДІЄЮ ЗОВНІШНЬОГО НАВАНТАЖЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОКРИТТЯ ЇЇ ШАРОМ ІЗ ПОЧАТКОВИМИ НАПРУЖЕННЯМИ

В роботі розглянуто спосіб впливу на розподіл напружень навантаженої плити, що лежить на жорсткій основі, за допомогою зовнішнього попередньо напруженого шару. Проведено аналіз отриманих результатів. Визначено доцільність покриття матеріалів зовнішнім шаром із початковими напруженнями для зменшення у них напружень.

Ключові слова: двошарова плита, початкові напруження.

A.O. RAMSKY

Khmelnytskyi National University

STRESS REDUCTION OF PLATE UNDER EXTERNAL LOAD BY ITS COVER LAYER WITH INITIAL STRESSES

We consider a way of influence on the distribution of loaded plate stress lying on a rigid base, with external prestressed layer. Axisymmetric task was posed. We examined conditions under which it is correct to use correlation of linearized elasticity theory for bodies with initial stresses. By Hankel's integral transformation it was received solution obtained through functional equations system. The functional systems Numerical solution was implemented by Gauss method. We received the conclusion about plate stress decrease if initial layer stresses are compressible. The analysis of the results was carrying out. Feasibility of materials coating by external layer with initial stresses for reducing their stress was determined.

Keywords: double layer plate, initial stresses.

Вступ. У багатьох практичних задачах часто постає питання зменшення напружень у конструкціях при дії на них різними силовими навантаженнями. Дана проблема виникає при розрахунку основ конструкцій, несучих поверхонь і т.п. Нерідко основа таких конструкцій представляє собою плиту.

Очевидно, що зменшення напружень у самій плиті можна досягти, наприклад, шляхом збільшення її товщини. Проте більший інтерес може представити інший підхід, а саме покриття плити попередньо напруженим шаром. Якщо виявиться, що наявність початкових напружень такого шару-протектора дозволить значно зменшити значення напружень самої плити, то це дозволить суттєво знизити матеріалоємність основи. Крім того, в силу конструктивних особливостей сама плита може бути початково напружена. У даній статті зроблена спроба визначення умов попереднього напруження захисного шару плити, що призводить до значного зменшення напружень основи.

Постановка задачі. Нехай маємо плиту, що лежить на жорсткій гладкій основі товщиною H . Захисний шар товщини H_1-H скріплений з основою, контакт – ідеальний. Зовнішнє осесиметричне навантаження складається з нормальної $p(r)$ та дотичної $q(r)$ складових. Утворена конструкція представлена на рис. 1 як двошарова плита з номерами шарів 1 – плити та 2 – захисного шару. Оскільки конструктивно наша задача осесиметрична, розв'язуватимемо її в циліндричній системі координат r, θ, z .

Позначимо через $\tilde{Q}_{33}^{(i)}$ та $\tilde{Q}_{3r}^{(i)}$ ($i=1,2$) нормальні та дотичні напруження i -го шару конструкції, а через $u_3^{(i)}$ та $u_r^{(i)}$ ($i=1,2$) – осьові та радіальні переміщення.

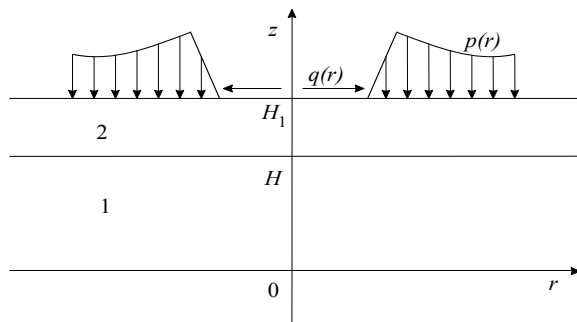


Рис. 1. Плита із захисним шаром на жорсткій основі

Граничні умови:

$$\begin{aligned} \tilde{Q}_{33}|_{z=H_1} &= p(r), \quad \tilde{Q}_{3r}|_{z=0} = 0, \\ \tilde{Q}_{3r}|_{z=H_1} &= q(r), \quad u_3|_{z=0} = 0, \end{aligned} \quad (1)$$

$0 \leq r \leq a$, a – радіус завантаженого круга.

Умови спряження шарів

$$\begin{aligned} \tilde{Q}_{33}|_{z=H} &= \tilde{Q}_{33}|_{z=H}, \quad u_3^{(1)}|_{z=H} = u_3^{(2)}|_{z=H}, \\ \tilde{Q}_{3r}|_{z=H} &= \tilde{Q}_{3r}|_{z=H}, \quad u_r^{(1)}|_{z=H} = u_r^{(2)}|_{z=H} \end{aligned} \quad (2)$$

Задачу розв'язуємо в рамках лінеаризованої теорії пружності для тіл з початковими напруженнями [1, 2]. Припускаємо, що виконуються наступні умови:

1. Навантаження конструкції відбувається після встановлення у ній початкового напруженого стану.
2. Зовнішнє навантаження викликає в попередньо напружених шарах значно менші по величині збурення початкового напруженого стану, ніж відповідні величини початкового напруженого стану.
3. Початковий напружений стан з достатньою мірою точності можна вважати однорідним.
4. Розв'язок задачі – єдиний.

При виконанні другого припущення можна використовувати співвідношення лінеаризованої теорії пружності для дослідження збуреного напружено-деформованого стану. Третє припущення з урахуванням другого дає можливість застосування вищезгаданої теорії при однорідних початкових станах. Невиконання четвертої умови призводить до виникнення внутрішньої втрати стійкості [3].

Розв'язок задачі. Використовуючи перетворення Ханкеля рівнянь рівноваги

$$\frac{\partial \tilde{Q}_{ij}}{\partial y_i} = 0, \quad y_i \in V$$

та визначальних виразів для напружень через переміщення, для стисливих тіл –

$$\tilde{Q}_{ij} = \omega_{ij\alpha\beta} \frac{\partial u_\alpha}{\partial y_\beta},$$

а для нестисливих тіл –

$$\tilde{Q}_{ij} = \kappa_{ij\alpha\beta} \frac{\partial u_\alpha}{\partial y_\beta} + q_{ij} p,$$

отримаємо в циліндричних координатах r, θ, z розв'язки:

для плити, тобто шару 1, що лежить на жорсткій основі

$$u_r^{(1)} = - \int_0^\infty \xi \left[A_1(\xi) (2ch\xi z + \xi zsh\xi z) + B_1(\xi) ch\xi z \right] J_1(\xi r) d\xi$$

$$u_3^{(1)} = \frac{m_1^{(1)}}{\sqrt{n_1^{(1)}}} \int_0^\infty \xi \left[\left(\xi (1 + s_1^{(1)}) sh \xi z + \xi^2 z ch \xi z \right) A_1(\xi) + B_1(\xi) sh \xi z \right] J_0(\xi r) d\xi$$

$$\bar{Q}_{33}^{(1)} = c_{44}^{(1)} (1 + m_1^{(1)}) l_1^{(1)} \int_0^\infty \xi^2 \left[\left((1 + s_1^{(1)}) ch \xi z + \xi z sh \xi z \right) A_1(\xi) + B_1(\xi) ch \xi z \right] J_0(\xi r) d\xi$$

$$\bar{Q}_{3r}^{(1)} = -\frac{c_{44}^{(1)} (1 + m_1^{(1)})}{\sqrt{n_1^{(1)}}} \int_0^\infty \xi^2 \left[\left(\xi + \xi^2 z \right) ch \xi z A_1(\xi) + B_1(\xi) sh \xi z \right] J_1(\xi r) d\xi;$$

а для захисного шару, тобто шару 2, що лежить на пружній основі

$$u_r^{(2)} = -\int_0^\infty \xi^2 \left[\left(A_2(\xi) + z B_2(\xi) \right) e^{\xi z} + \left((1 - \xi z) C_2(\xi) + z(2 - \xi z) D_2(\xi) \right) e^{-\xi z} \right] J_1(\xi r) d\xi$$

$$u_3^{(2)} = \frac{m_1^{(2)}}{\sqrt{n_1^{(2)}}} \int_0^\infty \xi \left[\left(\xi A_2(\xi) + (1 + z) B_2(\xi) \right) e^{\xi z} + \left(\xi (\xi z - s_1^{(2)}) C_2(\xi) + (s_1^{(2)} - \xi z(3 - \xi z)) D_2(\xi) \right) e^{-\xi z} \right] J_0(\xi r) d\xi$$

$$\bar{Q}_{33}^{(2)} = c_{44}^{(2)} (1 + m_1^{(2)}) l_1^{(2)} \int_0^\infty \xi^2 \left[\left(\xi A_2(\xi) + (2 + \xi z) B_2(\xi) \right) e^{\xi z} + \left(\xi (s_1^{(2)} + \xi z) C_2(\xi) + (\xi z(3 - \xi z) - s_1^{(2)}(2 - \xi z)) D_2(\xi) \right) e^{-\xi z} \right] J_0(\xi r) d\xi$$

$$\bar{Q}_{3r}^{(2)} = -\frac{c_{44}^{(2)} (1 + m_1^{(2)})}{\sqrt{n_1^{(2)}}} \int_0^\infty \xi^2 \left[\left(\xi A_2(\xi) + (1 + \xi z) B_2(\xi) \right) e^{\xi z} + \left(-\xi (s_1^{(2)} - \xi z) C_2(\xi) + (s_1^{(2)} - 3\xi z - \xi^2 z^2) D_2(\xi) \right) e^{-\xi z} \right] J_1(\xi r) d\xi.$$

Тут $A_1(\xi), B_1(\xi)$ – невідомі функції, які є інтегральними розв’язками відповідного бігармонійного рівняння [4]:

$$\varphi_1^{(1)}(r, z) = \int_0^\infty A_1(\xi) ch \xi z J_0(\xi r) d\xi, \varphi_2^{(1)}(r, z) = \int_0^\infty B_1(\xi) sh \xi z J_0(\xi r) d\xi,$$

а функції $A_2(\xi), B_2(\xi), C_2(\xi), D_2(\xi)$ є відповідно розв’язками

$$\varphi_1^{(2)}(r, z) = \int_0^\infty \left[\left(A_2(\xi) + z B_2(\xi) \right) e^{\xi z} \right] J_0(\xi r) d\xi, \varphi_2^{(2)}(r, z) = \int_0^\infty \left[\left(C_2(\xi) + z D_2(\xi) \right) e^{-\xi z} \right] J_0(\xi r) d\xi.$$

Перетворимо також за Ханкелем і функції розподілу зовнішнього навантаження $p(r), q(r)$:

$$p(r) = \int_0^\infty \xi \bar{p}(\xi) J_0(\xi r) d\xi, q(r) = \int_0^\infty \xi \bar{q}(\xi) J_1(\xi r) d\xi,$$

де трансформанти Ханкеля $\bar{p}(\xi), \bar{q}(\xi)$ визначаються з формул:

$$\bar{p}(\xi) = \int_0^\infty p(r) J_0(\xi r) dr, \bar{q}(\xi) = \int_0^\infty q(r) J_1(\xi r) dr.$$

Введемо безрозмірні незалежні змінні $\rho = \frac{r}{a}, t = \frac{z}{H_1}$ та нову змінну інтегрування $\beta = a\xi$,

параметри

$$\lambda = \frac{H_1}{a}, \mu_1 = \frac{H}{H_1}, \delta = \frac{\sqrt{n_1^{(2)}}}{\sqrt{n_1^{(1)}}} \frac{c_{44}^{(1)} (1 + m_1^{(1)})}{c_{44}^{(2)} (1 + m_1^{(2)})}, \chi = \frac{\sqrt{n_1^{(2)}}}{\sqrt{n_1^{(1)}}} \frac{m_1^{(1)}}{m_1^{(2)}}, \kappa = \frac{c_{44}^{(1)} (1 + m_1^{(1)}) l_1^{(1)}}{c_{44}^{(2)} (1 + m_1^{(2)}) l_1^{(2)}},$$

а також нові невідомі функції параметру інтегрування β :

$$\bar{A}_1(\beta) = \frac{\beta^2}{a^4} A_1\left(\frac{\beta}{a}\right) ch \beta \lambda \mu_1, \bar{B}_1(\beta) = \frac{\beta}{a^3} B_1\left(\frac{\beta}{a}\right) ch \beta \lambda \mu_1,$$

$$\bar{A}_2(\beta) = \frac{\beta^2}{a^4} A_2\left(\frac{\beta}{a}\right) e^{\beta \lambda \mu_1}, \bar{B}_2(\beta) = \frac{\beta}{a^3} B_2\left(\frac{\beta}{a}\right) e^{\beta \lambda \mu_1}, \bar{C}_2(\beta) = \frac{\beta^2}{a^4} C_2\left(\frac{\beta}{a}\right) e^{-\beta \lambda \mu_1}, \bar{D}_2(\beta) = \frac{\beta}{a^3} D_2\left(\frac{\beta}{a}\right) e^{-\beta \lambda \mu_1}.$$

Після задовільнення граничних умов (1) та умов спряження шарів (2) отримаємо матричну функціональну систему відносно шести невідомих функцій $\bar{A}_1(\beta), \bar{B}_1(\beta), \bar{A}_2(\beta), \bar{B}_2(\beta), \bar{C}_2(\beta), \bar{D}_2(\beta)$:

$$\begin{pmatrix} N^{(2,4)} & 0 \\ M^{(4,4)} & P^{(4,2)} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \bar{A}_2(\beta) \\ \bar{B}_2(\beta) \\ \bar{C}_2(\beta) \\ \bar{D}_2(\beta) \\ \bar{A}_1(\beta) \\ \bar{B}_1(\beta) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \bar{p}(\beta) \\ \bar{q}(\beta) \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix},$$

де матриці $N^{(2,4)}, M^{(4,4)}, P^{(4,2)}$ відповідно складаються з наступних елементів:

$$N^{(2,4)} = \begin{pmatrix} 1 & 2 + \beta\lambda & (s^{(2)} + \beta\lambda)e_1(\beta) & [\beta\lambda(3 - \beta\lambda) - s^{(2)}(2 - \beta\lambda)]e_1(\beta) \\ -1 & -1 - \beta\lambda & (s_0^{(2)} - \beta\lambda)e_1(\beta) & -(s_0^{(2)} - 3\beta\lambda - \beta^2\lambda^2)e_1(\beta) \end{pmatrix},$$

$$M^{(4,4)} = \begin{pmatrix} e_1(\beta) & (2 + \beta\lambda\mu_1)e_1(\beta) & s^{(1)} + \beta\lambda\mu_1 & \beta\lambda\mu_1(3 - \beta\lambda\mu_1) - s^{(1)}(2 - \beta\lambda\mu_1) \\ -e_1(\beta) & -(1 + \beta\lambda\mu_1)e_1(\beta) & s_0^{(1)} + \beta\lambda\mu_1 & -s_0^{(1)} + 3\beta\lambda\mu_1 + (\beta\lambda\mu_1)^2 \\ -e_1(\beta) & -\beta\lambda\mu_1 e_1(\beta) & -1 + \beta\lambda\mu_1 & -\beta\lambda\mu_1(2 - \beta\lambda\mu_1) \\ e_1(\beta) & (1 + \beta\lambda\mu_1)e_1(\beta) & \beta\lambda\mu_1 - s_1^{(1)} & s_1^{(1)} - \beta\lambda\mu_1(3 - \beta\lambda\mu_1) \end{pmatrix},$$

$$P^{(4,2)} = \begin{pmatrix} -\kappa(1 + s^{(1)} + \beta\lambda\mu_1 th\beta\lambda\mu_1) & -\kappa \\ \delta(th\beta\lambda\mu_1 + \beta\lambda\mu_1) & \delta th\beta\lambda\mu_1 \\ 2 + \beta\lambda\mu_1 th\beta\lambda\mu_1 & 1 \\ -\chi t((1 + s_1^{(1)})th\beta\lambda\mu_1 + \beta\lambda\mu_1) & -\chi th\beta\lambda\mu_1 \end{pmatrix}, \text{ де } e_1(\beta) = e^{-\beta\lambda(1-\mu_1)}.$$

Числовий розв'язок отриманої системи рівнянь надалі реалізується модифікованим методом Гауса.

Аналіз числових результатів та висновки. Числовий експеримент проведено для конструкції, яка навантажена з інтенсивністю $p(r) = 1, 0 \leq r \leq a$ (в безрозмірних координатах $0 \leq \rho \leq 1$). Товщина зовнішнього шару становить четверту частину основи. Обчислення напружень проводились на лінії розділу шарів. На графіках різним лініям відповідають різні величини початкового видовження λ_1 , що зумовлюють початковий напружений стан (величина $\lambda_1 = 1$ відповідає початково ненапруженому стану).

На рис. 2–5 показано вплив початкових напружень зовнішнього шару на величину напружень $\bar{Q}_{33}, \bar{Q}_{3r}$ усієї плити. Аналіз графіків показує, що стисні початкові напруження приводять до зменшення напружень у плиті, а розтягуючі – до збільшення. Вплив початкових напружень на величину дотичних напружень $\bar{Q}_{3r}$ – несуттєвий. Для матеріалів, що відповідають потенціалу Бартенєва-Хазановича при наближенні початкового видовження зовнішнього шару до критичної величини $\lambda_1 \rightarrow \lambda_{кр} (\lambda_{кр} \approx 0,6934)$ напруження $\bar{Q}_{33}$ усієї плити, відповідно і внутрішнього шару, значно зменшуються. Результат впливу початкових напружень суттєво залежить від виду пружного потенціалу та сильніше проявляється у вискоеластичних тілах.

Висновок

Для зменшення напружень у навантаженої плиті її доцільно покрити шаром зі стисними початковими напруженнями. Для кращого результату зовнішній шар слід вибирати із матеріалів, що відповідають потенціалу Бартенєва-Хазановича.

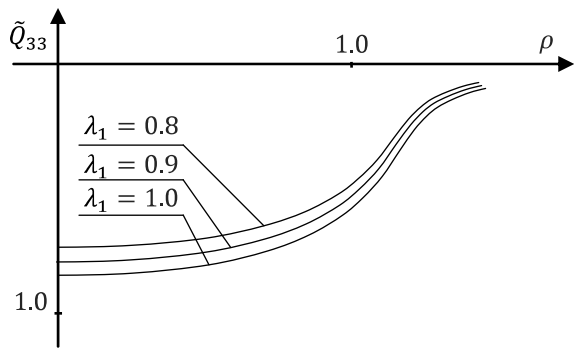


Рис. 2. Розподіл нормальних напружень (гармонійний потенціал)

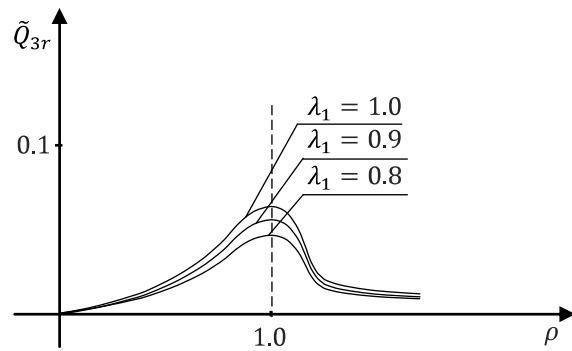


Рис. 3. Розподіл дотичних напружень (гармонійний потенціал)

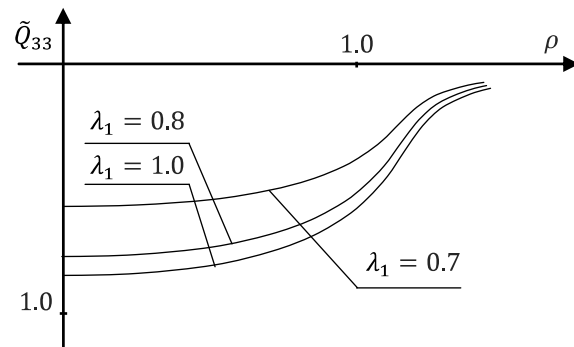


Рис. 4. Розподіл нормальних напружень (потенціал Бартенсва-Хазановича)

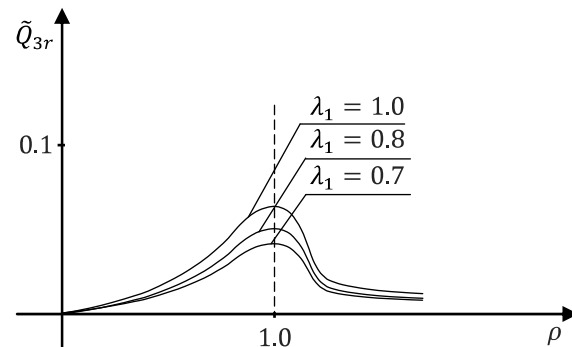


Рис. 5. Розподіл дотичних напружень (потенціал Бартенсва-Хазановича)

Література

1. Гузь А.Н. О представлении общих решений линеаризованной теории упругости несжимаемых тел / А.Н. Гузь // Докл. АН УССР. Сер. А. – 1975. – № 12. – С. 1092–1096.
2. Гузь А.Н. О представлении общих решений линеаризованной теории упругости сжимаемого тела / А.Н. Гузь // Докл. АН УССР. Сер. А. – 1975. – № 8. – С. 700–703.
3. Гузь А.Н. Устойчивость трехмерных деформируемых тел / А.Н. Гузь. – К. : Наукова думка, 1971. – 276 с.
4. Гузь А.Н. Контактные задачи для упругих тел с начальными (остаточными) напряжениями / А.Н. Гузь, В.Б. Рудницкий. – Хмельницький : ХНУ, 2004. – 682 с.

Отримана/Received : 7.4.2017 р. Надрукована/Printed : 8.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Сорокати Р.В.

О.І. ПЕРЕДРІЙ

Луцький національний технічний університет

І.В. ЄМЧЕНКО

Львівський університет економіки та торгівлі

ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ НАПОВНЕНОГО ПОЛІАЛЮМОСИЛОКСАНУ ПІД ЧАС НАГРІВАННЯ

Одним з пріоритетних методів захисту металевих конструкцій, які працюють під впливом високих температур, є використання високотемпературо- та вогнестійких захисних покриттів на основі поліалюмосилоксанів, наповнених оксидами (Al_2O_3 , ZrO_2), силікатними компонентами (каолін, каолінове волокно) та мінералізатором (TiO_2). Методами оптичної мікроскопії досліджено процеси формування структури захисного покриття. Встановлено, що під час нагрівання до температури вище від 573 K проходить термоокиснювальна деструкція поліалюмосилоксану із утворенням армуючого силіційкисневого каркасу, що створює умови для формування температуро- і вогнестійкого шару. Взаємодія між компонентами покриття відбувається за температури вище від 1223 K із утворенням муліту та циркону. Особливий вплив на мікроструктуру захисних покриттів має каолін. Збільшення частки каоліну з 10 до 20 мас. % частково призводить до збільшення кількості частинок мулітосиліманітової фази на 5 – 7 %. Введення до складу вихідної композиції TiO_2 не змінює мікроструктури покриття. Встановлений взаємний вплив оксидних і силікатних наповнювачів захисних покриттів забезпечує можливість спрямованого регулювання їх властивостей у широкому інтервалі температур.

Ключові слова: покриття, поліорганосилоксани, мікроструктура, муліт, циркон, мулітосиліманітова фаза, термоокиснювальна деструкція.

O.I. PEREDRIY

Lutsk National Technical University

I.V. EMCHENKO

Lvov University of Trade and Economics

FORMATION OF PROTECTIVE COATING ON BASED ALUMINOSILOXANE POLYMER

The study of the structure of the formation of protective coatings based on polysiloxane and establishment of the impact of the original composition on the microstructure of the coating. **Methodology.** Microstructure of the coating during its formation was studied by scanning electron microscopy. To determine the temperature structural transformation in the "alumosiloxane - filler" the method of complex thermal analysis was used, the results of which are confirmed by X-ray diffraction studies. The structure of the protective coating was studied by means of infrared spectroscopic research. It is set that for the decision of this problem it is expedient to use appropriate coatings based on filled aluminosiloxane polymer and as fillers - Al_2O_3 , ZrO_2 , kaolin, kaolin fiber and modifier TiO_2 . There have been determined the conformities to law of processes of phase and structural transformations of coatings by heating to a temperature of 1773 K. The process of structure formation of the protective coating was explored with optical microscopy. It is found that heating to a temperature above 573 K leads to the thermal oxidative degradation of aluminosiloxane and forming reinforcing frame. That creates the conditions for the formation of thermal and fire-resistant layer. Interaction between the components of the coating at a temperature above 1223 K happens with the formation of zircon and mullite. Kaolin has a special influence on the microstructure of a protective coating. If the percentage of kaolin increases from 10 to 20 %, the amount of particle mullite-sillimanite phase increases by 5-7 %. The influence of composition on the microstructure of the coatings based on full alupolysiloxane was established. The purposeful control performance property of coatings is possible in a wide temperature range because the influence of oxide and silicate fillers comprising coatings is established.

Keywords: aluminosiloxane polymer, source composition, phase composition, structure, mullite.

Постановка проблеми. Серед відомих матеріалів найбільш перспективними для одержання захисних покриттів є наповнені оксидними і силікатними наповнювачами силіційорганічні сполуки. Їх використання в якості температуро- і вогнестійких захисних покриттів вказує, що оксидно-силікатні матричні композиційні матеріали не окислюються, тому їх можна використовувати для захисту металевих конструкцій, які працюють в умовах широкого температурного інтервалу. Розроблені матеріали за рахунок наявності у складі силіційорганічного зв'язуючого, можуть надавати покриттям специфічних властивостей під час їх формування та експлуатації у процесі високотемпературного нагрівання. Такі матеріали відзначаються не тільки високою температуро- і вогнестійкістю, технологічністю, але і властивістю формуватися у процесі експлуатації без попереднього нагрівання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій підтверджує, що розширення температурного інтервалу експлуатації металевих конструкційних матеріалів обумовлює необхідність розроблення нових видів температуро- і вогнестійких захисних покриттів із прогнозованими властивостями у широкому діапазоні температур. Композиційні захисні покриття на основі силіційорганічних зв'язок, оксидних та силікатних наповнювачів на даний час широко використовуються [1, 2]. Проте такі захисні покриття мають низьку адгезійну міцність у температурному інтервалі термоокисної деструкції зв'язки (573-1173 K) внаслідок значної пористості [3, 4]. Підвищити захисний ефект можливо шляхом введення до складу покриттів додатків, які здатні утворювати скловидну фазу, внаслідок чого у зоні контакту «покриття-підкладка» формується перехідна зона з утворенням евтектичного шару [4]. Тому важливо дослідити процеси формування структури захисного покриття за різних температур та вплив компонентів вихідної композиції на ці процеси.

Мета роботи полягає у дослідженні структури захисного покриття на основі наповненого алюмінію, цирконію, титану оксидами, каоліном та каоліновим волокном поліалюмосилоксану.

Зміну мікроструктури захисного покриття у процесі його формування при нагріванні вивчали методом растрової електронної мікроскопії на мікроскопі TESLA BS-300. Випалені зразки захисного покриття розміром 10×10 мм при відповідній температурі нагрівання напилювали товщиною 20-30 нм у вакуумній камері електропровідною міддю. Після цього проводили сканування його поверхні із фотографуванням найважливіших фрагментів мікроструктури.

Результати досліджень. Вихідні склади композицій для захисних покриттів вибирали із умови одержання за високих температур максимального вмісту температуростійких силікатів алюмінію і цирконію. Склади вихідних композицій наведено у табл. 1.

Таблиця 1

**Склади вихідних композицій для захисних покриттів
на основі наповненого поліалюмосилоксану (КО-978)**

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

Утворення первинної композиційної структури полягає в ініційованому механо-хімічному прививанні поліалюмосилоксанів до поверхні мінерального наповнювача із підвищенням фізико-механічних параметрів та температуро- і вогнестійкості.

Як об'єкти випробувань використовували найпоширеніші будівельні матеріали, які працюють в умовах високотемпературного нагрівання і потребують високотемпературного та вогневого захисту, а саме: вуглецеві конструкційні сталі Ст3кп, Ст5пс.

Процес формування покриттів, як відомо [5], включає такі основні етапи: змочування і розтікання рідини, утворення площі контакту між фазами, виникнення адгезійного зв'язку.

Ефективність захисної дії високотемпературо- та вогнестійких покриттів найбільшою мірою залежить від способу їх формування, умов експлуатації та структури. На умови формування покриття суттєво впливає ступінь підготовки поверхні матеріалу, технологічні властивості вихідної композиції та температурний режим затверднення [6].

Значний вклад у формування комплексу експлуатаційних властивостей захисних покриттів надає плівкоутворювач у вигляді поліалюмосилоксанового лаку за рахунок значних змін, які проходять під час високотемпературного нагрівання.

Поліалюмосилоксан, на відміну від органічних сполук, відрізняється високою термічною стійкістю за рахунок наявності іонізованого на 50 % зв'язку Si–O– (375 кДж/моль). Термоокислювальна деструкція у поліорганосилоксанах спочатку відбувається за місцем бокових зв'язків Si–C з утворенням летких продуктів. Зв'язки Si–O та Si–O–Al, із яких побудований мікроланцюг, не руйнуються, замість двох розірваних ланцюгів Si–C утворюються зв'язки Si–O–Si та Al–O. Плівкоутворювач при цьому тільки частково обвуглюється, але не руйнується.

При нагріванні поліалюмосилоксанового лаку вище температури 1173 К алюмоокисневий залишок переходить у реакційноздатні форми (γ -високотемпературний, χ - і θ -Al₂O₃), які здатні активно реагувати із силіційокисневим залишком із утворенням первинного муліту без участі наповнювача (Al₂O₃).

В умовах реального нагрівання при значному градієнті температур (10...60 град/хв) у захисному шарі може відбуватися швидке випаровування залишків толуолу, що значно впливає на структуру матеріалу. Поверхня захисного покриття є щільною і твердою, а середина знаходиться у в'язкотекучому стані. Тому важливим є вивчення мікроструктури захисних покриттів залежно від їх складу, температури нагрівання, градієнта температур та товщини.

Як видно з рис. 1 а, структура покриття представлена щільно переплетеними частинками оксидного наповнювача різної форми та конфігурації, армованої волокнистими голками каолінового волокна і поліалюмосилоксаном (склад № 1 – 3).

Вміст армуючого каолінового волокна практично не впливає на мікроструктуру покриття при його формуванні. Нагрівання до температури 973 К призводить до збільшення пористості матеріалу та частково до ущільнення міжпористих перегородок (рис. 3.8 б). У структурі захисного покриття присутні мікропори розміром 0,4...18 мкм, які нерівномірно розташовані по товщині.

Із збільшенням температури нагрівання до 1273 К у структурі захисного покриття, за рахунок кінцевого результату термодеструкції поліалюмосилоксану, каоліну, формуються закриті пори, які мають розмір 14 – 16 мкм, що суттєво впливає на захисні властивості покриттів (рис. 1 в).

Мікроструктура захисного покриття при нагріванні до температури 1373 К (рис. 1 г) представлена оплавленим матеріалом, в якому знаходяться голчасті частинки мулітосиліманітової фази, залишки зерен непрореагованого оксидного наповнювача та каолінового волокна. Пори ізольовані та їх розмір знаходиться у межах 8...25 мкм. Подальше нагрівання захисного покриття до температури 1573 К (рис. 1 д) спричиняє часткове ущільнення структури за рахунок взаємодії компонентів наповнювача із силіційкисневим залишком, внаслідок чого утворюються хаотично розташовані по всій поверхні покриття мулітосиліманітова (голчаста) та цирконова (пластинчаста) фази.

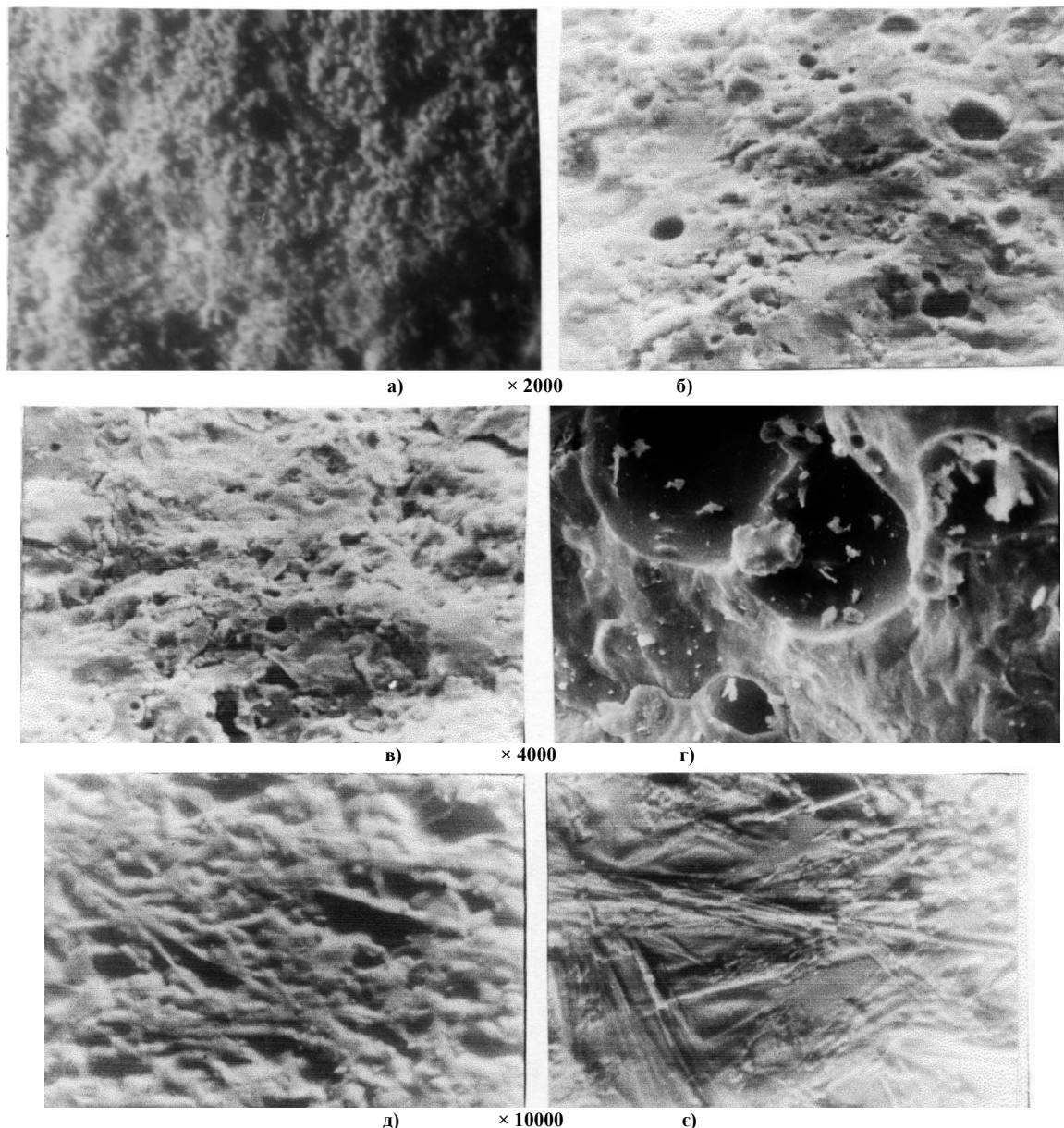


Рис. 1. Зміна мікроструктури захисного покриття (склад № 2) у процесі нагрівання до температури: а – вихідна; б – 973 К; в – 1273 К; г – 1373 К; д – 1573 К; е – 1673 К

При нагріванні до температури 1673 К мікроструктура захисного покриття суттєво змінюється (рис. 1 е). Голчасті кристали муліто-силіманітової та пластинчасті цирконової фази орієнтуються у відповідних напрямках, утворюючи блочно-ритмічну структуру, яка визначає міцнісні властивості матеріалу та його високі температуро- та вогнестійкі показники. Впливу каолінового волокна на мікроструктуру захисного покриття практично не виявлено. Особливий вплив на мікроструктуру захисних покриттів спричиняє введення до їх складу каоліну (склади № 4 ■ 6). Структура вихідного покриття після затвердіння (рис. 2 а) представлена рівномірно розподіленими частинками оксидного, волокнистого та каолінового наповнювача.

Нагрівання до температури 973 К призводить до утворення у складі захисного покриття пор різної конфігурації за рахунок термодеструкції поліалюмосилоксану (розмір пор коливається у межах 0,1...3,0

мкм) (рис. 2 б). Нагрівання до температури 1273 К суттєво змінює мікроструктуру покриття. Його пористість зростає внаслідок повної деструкції поліалюмосилоксану, дегідратації каоліну, а структура основного матеріалу покриття ущільнюється за рахунок зливання окремих частинок. Зерен муліту, який утворився із метакаолініту, практично не виявлено внаслідок його неупорядкованої орієнтації. Первинні пластинки каоліну розпливаються при його термічному обробленні та мають вигляд окремих кубиків розміром 40,0...60,0 нм (рис. 2 в).

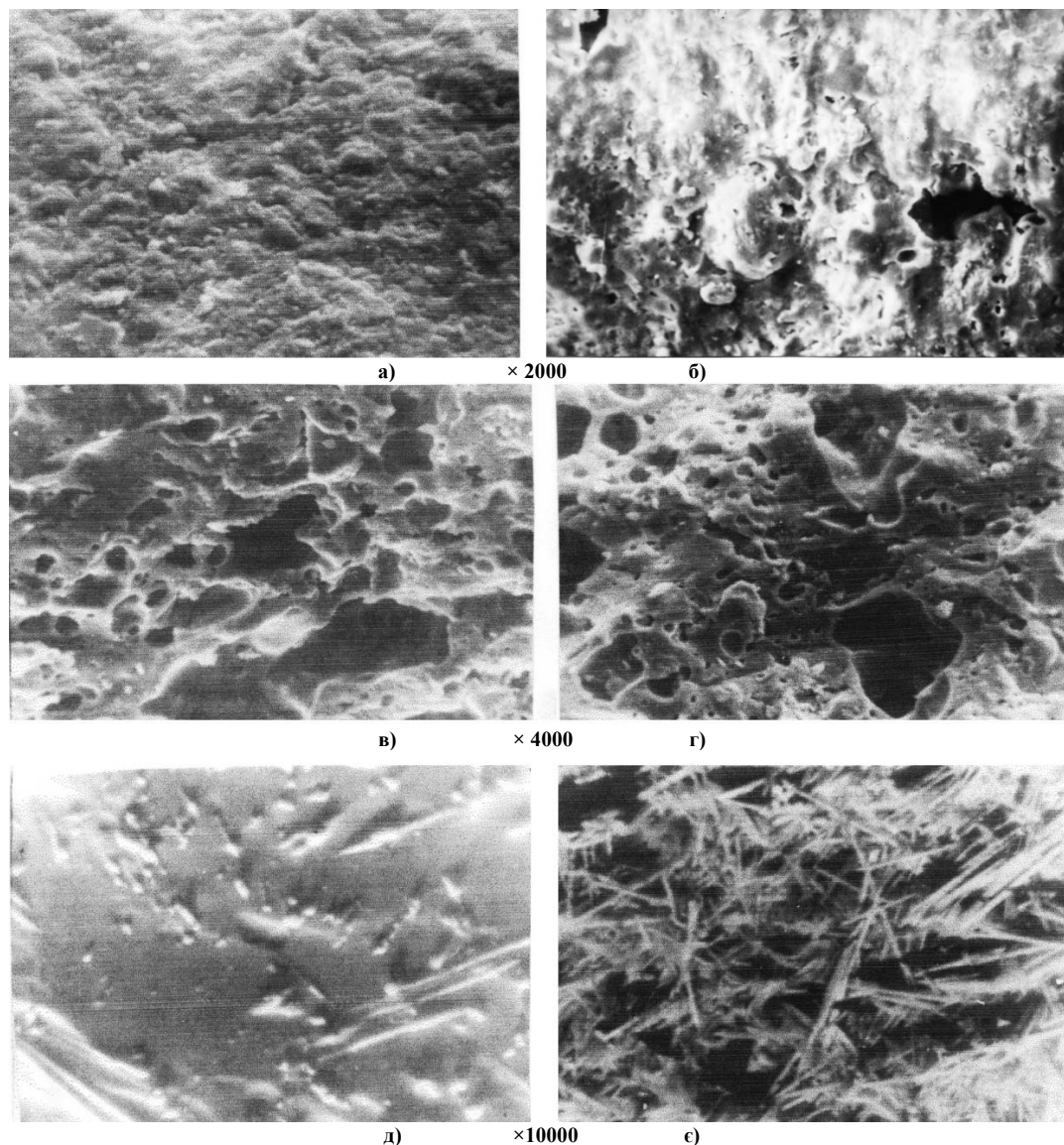


Рис. 2. Зміна мікроструктури захисного покриття (склад № 5) у процесі нагрівання до температури: а – вихідна; б – 973 К; в – 1273 К; г – 1373 К; д – 1573 К; е – 1673 К

Під час нагрівання захисного покриття до температури 1373 К на великій площині спостерігаються частково орієнтовані мулітосиліманітові голки, які знаходяться в основному матеріалі (рис. 2 г), що утворилися із метакаолініту та продуктів термоокиснювальної деструкції поліалюмосилоксану. Структура матеріалу оплавлена, а пори мають чітку конфігурацію різної форми без видимих тріщин та розривів. Структура захисного покриття під час нагрівання до температури 1573 К (рис. 2 д) представлена витягнутими мулітовими голками, хоча структура поверхні містить багато оплавлених частинок. Видозмін пластинчастих частинок каоліну не спостерігається, але внаслідок термооброблення чітко формується блокова структура. Кристали мулітосиліманітової фази, які утворилися із продуктів термодеструкції каоліну та поліалюмосилоксану, мають довільну орієнтацію і розміщуються неупорядковано. Захисні покриття складів № 4 – 6 при нагріванні до температури 1673 К характеризуються поризованою структурою, в якій мулітосиліманітові голки досягають розміру 15...40 мкм, а пластинчасті кристали цирконової фази – 8...20 мкм. Залишки каолінового волокна впровадилися у структуру покриття (рис. 2 е).

Необхідно відзначити, що вміст каоліну впливає на мікроструктуру захисного покриття. Збільшення частки каоліну з 10 до 20 мас. % частково призводить до збільшення кількості частинок мулітосиліманітової фази на 5 – 7 %, але загальна пористість покриття зростає. Введення до складу вихідної композиції додатку TiO_2 (склади № 7 – 9) не змінює мікроструктури покриття після затвердіння (рис. 3 а).

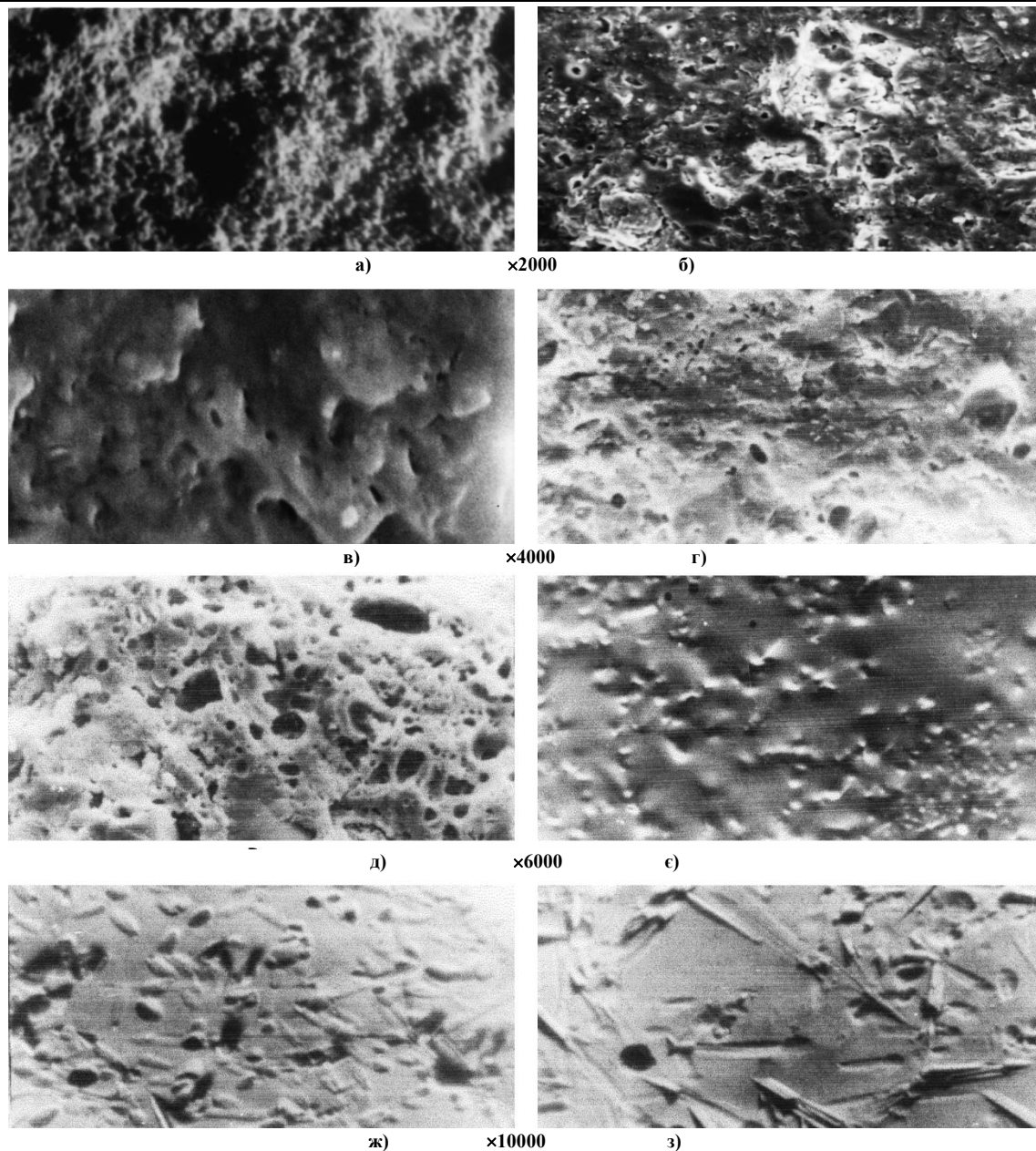


Рис. 3. Зміна мікроструктури захисного покриття (склад № 8) у процесі нагрівання до температури: а – вихідна; б – 873 К; в – 1273 К; г – 1473 К; д – 1523 К; е – 1573 К; ж – 1623 К; з – 1673 К

Нагрівання захисного покриття до температури 873 К призводить, як і у попередніх випадках, до термоокислювальної деструкції поліалюмосилоксану із утворенням пор різного розміру та конфігурації (рис. 3 б).

Підвищення температури нагрівання до 1273 К помітно змінює мікроструктуру захисного покриття внаслідок утворення борозноподібної поверхні, яка має характер безперервних ліній. При нагріванні захисного покриття до температури 1473 (рис. 3 г) у його структурі поряд із голчастими кристалами муліту спостерігаються кристали гексагональної форми. Наявність видовжених голчастих кристалів характерна для первинного муліту, який утворився із метакаолініту, призматично-гексагональних – для вторинного муліту, що є продуктом взаємодії залишку термоокислювальної деструкції поліалюмосилоксану. Частка мулітової фази в мікроструктурі даних складів покриттів порівняно із складами № 1 – 6 є значно вищою.

Нагрівання до температури 1523 К призводить до значного зростання кількості кристалів призматичної форми (муліту), внаслідок мінералізуючої дії TiO_2 , який позитивно впливає на структурні зміни каоліну та процеси взаємодії між силіційкисневим залишком поліалюмосилоксану і алюмінію оксиду (рис. 3 д). У структурі матеріалу спостерігаються пластинчасті кристали цирконової фази. Нерівномірно розташовані частинки наповнювача мають неправильну форму (рис. 3 в).

Мікроструктура захисного покриття за нагрівання до 1573 К (рис. 3 е) вказує на збільшення вмісту пластинчастих кристалів цирконової фази та зменшення вмісту пор, які мають чітко оплавлений характер.

За температури нагрівання 1623 К (рис. 3 ж) кількість голчастих кристалів муліту значно зменшується за рахунок його переходу у вторинний муліт призматичної форми, який набуває впорядкованого вигляду. Пори мають закритий характер та їх частка зменшується.

При нагріванні захисного покриття до температури 1673 К (рис. 3 з) відбувається повна орієнтація кристалів муліту із утворенням ступінчастої структури, у якій хаотично розташовані пластинчасті зерна цирконової фази.

Висновки. В результаті проведених досліджень встановлено: за температури нагрівання вище від 573 К у захисному покритті на основі наповненого поліалюмосилоксану проходить термоокислювальна деструкція плівкоутворювача та розклад каоліну, з якого за температури нагрівання 1223 К утворюється первинний голчастий муліт, за температури вище від 1273 К – призматичні кристали муліту із продуктів деструкції поліалюмосилоксану. За температури нагрівання 1673 К структура покриття складається із щільно переплетених кристалів муліту, пластинчастих – циркону, залишків непрореагованого оксидного наповнювача і пор. Введення каоліну збільшує вміст муліту на 5...7 мас.%, що підвищує температуростійкість покриттів, а введення TiO_2 знижує температуру силікатуутворення на 50...60 К, що є економічно доцільним.

Література

1. Стороженко П.А. Синтез алюмооксанилосиланов и высокочистых алюмосиликатов на их основе / П.А. Стороженко, Г.И. Щербакова // Неорганические материалы. – 2011. – Т. 47. – № 2. – С. 210-214.
2. Органоалкоксиалюмоксаны и бескремнеземное связующее на их основе / [П.А. Стороженко и др.] // Неорганические материалы. – 2007. – Т.43. – № 3. – С. 373-382.
3. Ємченко І. В. Процеси взаємодії між компонентами захисних покриттів на основі системи $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-ZrO}_2\text{-SiO}_2$ / Ємченко І. В., Гивлюд М.М., Артеменко В.В., Передрій О.І. // Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій : зб. наук. праць. – Вип. 10. – Львів : Каменяр, 2008. – С. 31–39.
4. Исследование структуры керамики / В. В. Красильников // Стекло и керамика. – 2014. – № 1. – С. 17-19.
5. Peredriy O. Filled aluminosiloxane polymer-based coatings thermal stability and heat resistance improvement. URL: <http://www.connection.ebscohost.com/c/articles/95847574>.

Отримана/Received : 23.4.2017 р. Надрукована/Printed : 8.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Байдакова Л.І.

УДК 677.055

В.В. ЧАБАН, Є.О. КОРОБЧЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

ЗНИЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТОВАРОПРИЙОМНОГО МЕХАНІЗМУ ПРИ ПУСКУ КРУГЛОВ'ЯЗАЛЬНОЇ МАШИНИ

Ефективність роботи круглов'язальних машин залежить від динамічних навантажень їх механізмів, зокрема товароприйомного механізму. На основі аналізу динаміки механічних систем з пружними в'язями розроблено алгоритм розрахунку динамічних навантажень, що виникають в товароприйомному механізмі під час пуску круглов'язальної машини. Розглянуто конструкцію привода круглов'язальної машини з пружинами кручення та обгінними муфтами, розташованими на вертикальному приводному валу, що дозволяє знизити динамічні навантаження товароприйомного механізму при пуску. Запропоновано метод вибору раціональних параметрів привода круглов'язальної машини та представлено результати оцінки ефективності його використання. Результати досліджень можуть бути використані при розробці нових моделей круглов'язальних машин.

Ключові слова: круглов'язальна машина, привід круглов'язальної машини, товароприйомний механізм, динамічні навантаження товароприйомного механізму.

V.V. CHABAN, E.A. KOROBCHENKO

Kyiv National University of Technologies and Design

REDUCING OF DYNAMIC CAPACITY OF GOODS RECEIVING MECHANISM AT THE START OF THE CIRCULAR KNITTING MACHINE

The efficiency of the circular knitting machine depends on the dynamic loads of the mechanisms, in particular mechanism of goods receiving. Based on the analysis of dynamics of mechanical systems with elastic ties have developed an algorithm for calculating the dynamic loads encountered in goods receiving mechanism when starting circular knitting machine. Considered drive design circular machine with torsion springs way clutches and arranged on a vertical drive shaft, thereby reducing the dynamic loads during start of goods receiving mechanism. A method for selecting rational parameters of the drive circular knitting machine and the results of evaluation of the effectiveness of its use. The research results can be used to develop new models of circular knitting machines.

Keywords: circular knitting machine, circular knitting machine drive, goods receiving mechanism, dynamic capacity of goods receiving mechanism.

Одним із факторів, що знижують ефективність роботи механічних систем, в тому числі і круглов'язальних машин, є динамічні навантаження, що виникають під час несталої роботи їх роботи

(пуск, зупинка та ін.) [1–4]. Тому проблема підвищення надійності та довговічності роботи круглов'язальних машин шляхом зниження динамічних навантажень є актуальною та своєчасною. Виходячи з цього, при проектуванні круглов'язальних машин в першу чергу слід приділяти увагу зниженню динамічних навантажень їх механізмів, зокрема товароприйомного механізму. Вирішення цієї проблеми без удосконалення відомих конструкцій пристроїв зниження динамічних навантажень [5] неможливе.

Об'єкт та методи дослідження. Об'єктом досліджень обрано зниження динамічних навантажень товароприйомного механізму при пуску круглов'язальної машини. При вирішенні поставлених задач були використані сучасні методи теорії проектування машин легкої промисловості та теорії деталей машин.

Постановка завдання. Враховуючи актуальність питання зниження динамічних навантажень механізмів круглов'язальних машин, стаття присвячена аналізу ефективності використання привода круглов'язальної машини з пружинами кручення та обгінними муфтами для зниження динамічних навантажень товароприйомного механізму та розробці інженерного методу вибору його раціональних параметрів.

Результати та їх обговорення. Аналіз показує [2, 6], що в приводах круглов'язальних машин типу КО вертикальний приводний вал кінематично з'єднаний з електродвигуном за допомогою клинопасової та циліндричної зубчастої передачі. Жорстке з'єднання зубчастого колеса та шестерень з вертикальним приводним валом зумовлює значні динамічні навантаження, що виникають під час пуску в механізмах круглов'язальних машин.

Автори пропонують нову конструкцію привода круглов'язальної машини, який обладнаний пристроєм зниження динамічних навантажень, що містить пружини кручення та обгінні муфти, встановлені на вертикальному приводному валу (Пат. України на корисну модель № 102931, МПК: D04 В 15/94 2015 р.). Схема привода представлена на рис. 1.

Обладнання привода пружинами кручення та обгінними муфтами забезпечує зниження динамічних навантажень товароприйомного механізму, що виникають при пуску круглов'язальної машини, підвищуючи надійність та довговічність його роботи.

Принцип роботи привода такий. Обертальний рух вала електродвигуна 1 передається клинопасовою 5 та зубчастою 6 передачами. Обертання зубчастого колеса 9 зубчастої передачі 6 за допомогою обгінних муфт 7, 8 зумовлює закручування пружин кручення 10, 11, сили пружності яких приводять в рух шестерні 3, 4 відповідно. Шестерні 3, 4 шляхом зубчастого зачеплення приводять в обертальний рух механізми в'язання та товароприйому, що необхідно для роботи круглов'язальної машини.

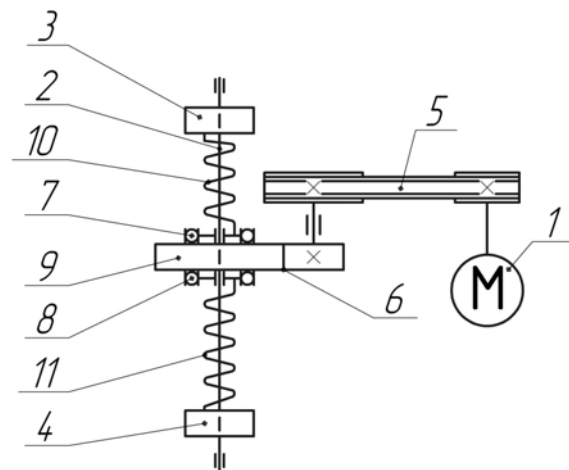


Рис. 1. Кінематична схема привода круглов'язальної машини: 1 – електродвигун; 2 – вертикальний приводний вал; 3, 4 – шестерні; 5 – клинопасова передача; 6 – зубчаста передача; 7, 8 – обгінні муфти; 9 – зубчасте колесо; 10, 11 – пружини кручення

В період пуску круглов'язальної машини пусковий момент електродвигуна за рахунок пружної деформації пружин кручення 10, 11 знижується, що призводить до зниження динамічних навантажень товароприйомного механізму та підвищення довговічності його роботи.

При зупинці круглов'язальної машини обгінні муфти 7, 8 забезпечують розкручування пружин кручення 10, 11 в вихідне положення, що необхідно для зниження динамічних навантажень привода при наступному його пуску.

Важливим етапом в проектуванні даного привода є розрахунок пружин кручення. Як відомо [7], пружини кручення працюють на згин витків. При цьому умова працездатності привода буде наступною:

$$\sigma = \frac{Tk}{W} \leq [\sigma], \quad (1)$$

де σ – робоче напруження згину витків пружини;
 $[\sigma]$ – допустиме напруження згину витків пружини, $[\sigma] = (1,25 \dots 1,5)[\tau]$;
 $[\tau]$ – допустиме напруження матеріалу пружини при крученні;
 T – крутний момент пружини;
 k – коефіцієнт, що враховує кут підйому витків пружини та їх кривизну,

$$k = \frac{4c-1}{4c-4}; \quad (2)$$

c – індекс пружини,

$$c = \frac{D}{d}; \quad (3)$$

$$c = 4 \dots 12;$$

D, d – середній діаметр пружини та діаметр дроту, з якого вона виготовлена;

W – момент опору згину,

$$W = \frac{\pi d^3}{32}. \quad (4)$$

Враховуючи (4) із умови (1) знаходимо необхідний діаметр дроту:

$$d \geq 2,17 \sqrt[3]{\frac{Tk}{[\sigma]}}. \quad (5)$$

Кут скручування пружини φ при робочому навантаженні знаходиться із умови [7]:

$$\varphi = \frac{TL}{EJ}, \text{рад}, \quad (6)$$

де L – довжина дроту, із якого виготовлена пружина (робочі витки; $\cos \alpha \approx 1$; α – кут підйому витків пружини),

$$L = \pi Di; \quad (7)$$

E – модуль пружності дроту (сталь), $E = 2,15 \cdot 10^5$ МПа;

J_D – момент інерції перерізу дроту,

$$J_D = \frac{\pi d^4}{64}; \quad (8)$$

i – кількість робочих витків пружини,

$$i = \frac{H}{p}; \quad (9)$$

H – робоча довжина (висота) пружини;

p – крок пружини,

$$p = d + (1 \dots 2) \text{ мм}. \quad (10)$$

Жорсткість пружини кручення знаходиться із умови

$$C = \frac{T}{\varphi}, \text{Нм/рад}. \quad (11)$$

Визначимо раціональні параметри пружин привода круглов'язальної машини КО–2 з електродвигуном типу 4А100Л6У3 потужністю 2,2 кВт та частотою обертання вала 950 об/хв. [6].

Як показують розрахунки, розподіл крутних моментів T_{n1} , T_{n2} між пружинами 10, 11 (рис. 1) буде наступним: $T_{n1} = 30$ Нм; $T_{n2} = 7,5$ Нм.

Прийнявши для вказаних пружин $c_1 = 8$; $c_2 = 12$, з (2) маємо: $k_1 = 1,1$; $k_2 = 1,07$.

Тоді, прийнявши $[\sigma] = 1500$ МПа [7], із (5) знаходимо діаметри пружин: $d_1 = 6$ мм; $d_2 = 4$ мм і відповідні їх параметри $D_1 = D_2 = 48$ мм, $p_1 = 7$ мм, $p_2 = 5$ мм.

Враховуючи конструктивні особливості круглов'язальної машини КО–2 [6], приймаємо $H_1 = 275$ мм, $H_2 = 150$ мм. Тоді кількість робочих витків пружин згідно з (9): $i_1 = 39,3$; $i_2 = 30$ та довжина дроту пружин згідно з (7): $L_1 = 5924$ мм; $L_2 = 4524$ мм.

Враховуючи, що модуль пружності дроту (сталь) $E = 2,15 \cdot 10^5$ МПа та знайшовши згідно (8) моменти інерції перерізу дроту пружин $J_{D1} = 63,61$ мм⁴, $J_{D2} = 12,57$ мм⁴, знаходимо, використовуючи залежність (6), кути скручування пружин: $\varphi_1 = 12,99$ рад; $\varphi_2 = 12,55$ рад.

Жорсткість пружин згідно з (11): $C_1 = 2,3$ Нм/рад; $C_2 = 0,6$ Нм/рад.

Розглянемо динаміку пуску круглов'язальної машини КО–2 при наявності привода з пружинами кручення.

Як показує аналіз конструкції круглов'язальної машини з приводом з пружинами кручення, в якості розрахункової динамічної моделі для визначення динамічних навантажень, що виникають в механізмах у період пуску, доцільно прийняти тримасову динамічну модель з середньою ведучою масою з параметрами: T_1 – пусковий момент електродвигуна (тут і далі приведені до валу електродвигуна значення); T_2 – момент сил опору механізму товароприйому; T_3 – момент сил опору механізму в'язання; J_1 – сумарний момент інерції ротора електродвигуна, клинопасової та зубчастої передач; J_2 – момент інерції обертових мас механізму товароприйому; J_3 – момент інерції обертових мас механізму в'язання; C_{12} – жорсткість пружини 11 (рис. 1), що передає рух механізму товароприйому, $C_{12} = C_2 = 0,6$ Нм/рад; C_{13} – жорсткість пружини 10 (рис. 1), що передає рух механізму в'язання, $C_{13} = C_1 = 2,3$ Нм/рад.

Пуск даної тримасової системи відбувається у три етапи [1, 2].

У початковий момент при $t = 0$ всі три маси знаходяться у спокої. У проміжку часу $0 \div \tau_1$

відбувається накопичення моментів пружних сил на ділянках 1–2 і 1–3 до тих пір, поки момент T_{12} не стане рівним моменту T_2 (оскільки для нашого випадку $\varphi_1 > \varphi_2$). На цьому перший етап пуску закінчується, в рух приходить друга маса, і починається другий етап пуску, який триватиме від τ_1 до τ_2 . У проміжку цього етапу відбувається подальше накопичення моменту сил пружності T_{13} на ділянці 1–3. При $T_{13} = T_3$ приходить в рух третя маса, що характеризує закінчення другого етапу пуску машини і початок третього етапу, який триватиме від τ_2 до τ_3 (час пуску).

Методика динамічного розрахунку механічних систем, динамічна модель яких являє собою тримасову систему з середньою ведучою масою детально представлена в монографії [2].

Для зручності використання приведеної методики в інженерній практиці можна рекомендувати наступний алгоритм розрахунку:

1. Визначаємо вихідні параметри привода: $T_1; T_2; T_3; J_1; J_2; J_3; C_{12}; C_{13}$.

2. Із рівняння (12) знаходимо час тривалості першого етапу пуску τ_1 :

$$\tau_1 = \sqrt{\frac{J_1}{C_{12} + C_{13}}} \arccos \left[1 - \frac{T_2(C_{12} + C_{13})}{T_1 C_{12}} \right]. \quad (12)$$

3. Використовуючи систему рівнянь (13), знаходимо початкові умови другого етапу пуску:

$$\begin{aligned} T_{(12)0} &= T_2; \quad T_{(13)0} = \frac{C_{13}}{C_{12} + C_{13}} \left(1 - \cos \sqrt{\frac{C_{12} + C_{13}}{J_1}} \tau_1 \right) T_1; \\ \dot{T}_{(12)0} &= \frac{C_{12}}{C_{12} + C_{13}} \sqrt{\frac{C_{12} + C_{13}}{J_1}} \sin \sqrt{\frac{C_{12} + C_{13}}{J_1}} \tau_1 \cdot T_1; \\ \dot{T}_{(13)0} &= \frac{C_{13}}{C_{12} + C_{13}} \sqrt{\frac{C_{12} + C_{13}}{J_1}} \sin \sqrt{\frac{C_{12} + C_{13}}{J_1}} \tau_1 \cdot T_1. \end{aligned} \quad (13)$$

4. Із рівняння (14) знаходимо постійні складові моментів сил пружності:

$$a_{12} = T_2; \quad a_{13} = T_1 - T_2. \quad (14)$$

5. Визначаємо циклові частоти коливань моментів сил пружності в період другого етапу пуску:

$$\beta_{1,2}^2 = \frac{C_{12}(J_1 + J_2) + C_{13}J_2 \pm \sqrt{[C_{12}(J_1 + J_2) + C_{13}J_2]^2 - 4C_{12}C_{13}J_1J_2}}{2J_1J_2}. \quad (15)$$

6. Використовуючи залежності (16), (17), знаходимо амплітуди гармонік $\cos$ і $\sin$.

$$\begin{aligned} A_{(12)1} &= \frac{-C_{12}(T_{(13)0} - a_{13})}{J_1(\beta_1^2 - \beta_2^2)}; \quad A_{(12)2} = \frac{C_{12}(T_{(13)0} - a_{13})}{J_1(\beta_1^2 - \beta_2^2)}; \\ A_{(13)1} &= \frac{-\Delta_{11}(T_{(13)0} - a_{13})}{\beta_1^2 - \beta_2^2}; \quad A_{(13)2} = \frac{\Delta_{12}(T_{(13)0} - a_{13})}{\beta_1^2 - \beta_2^2}. \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} B_{(12)1} &= \frac{\Delta_{12}\dot{T}_{(12)0} - \frac{C_{12}}{J_1}\dot{T}_{(13)0}}{\beta_1(\beta_1^2 - \beta_2^2)}; \quad B_{(12)2} = \frac{\frac{C_{12}}{J_1}\dot{T}_{(13)0} - \Delta_{11}\dot{T}_{(12)0}}{\beta_2(\beta_1^2 - \beta_2^2)}; \\ B_{(13)1} &= B_{(12)1} \frac{J_1}{c_{12}} \Delta_{11}; \quad B_{(13)2} = B_{(12)2} \frac{J_1}{c_{12}} \Delta_{12}, \end{aligned} \quad (17)$$

де

$$\Delta_{11} = \omega_{12}^2 - \beta_1^2; \quad \Delta_{12} = \omega_{12}^2 - \beta_2^2; \quad \omega_{12}^2 = C_{12} \frac{J_1 + J_2}{J_1 J_2}. \quad (18)$$

7. Моменти, що виникають в пружних в'язях привода в період 2-го етапу пуску, описуються рівняннями (19), (20):

$$T_{12} = A_{(12)1} \cos \beta_1 t + A_{(12)2} \cos \beta_2 t + B_{(12)1} \sin \beta_1 t + B_{(12)2} \sin \beta_2 t + T_2; \quad (19)$$

$$T_{13} = A_{(13)1} \cos \beta_1 t + A_{(13)2} \cos \beta_2 t + B_{(13)1} \sin \beta_1 t + B_{(13)2} \sin \beta_2 t + T_1 - T_2. \quad (20)$$

8. Із рівняння (20), враховуючи, що 3-й етап пуску починається при умові $T_{13} = T_3$, знаходимо час початку цього етапу τ_2 .

9. Знаходимо початкові умови 3-го етапу пуску (21):

$$T_{(12)0} = T_{(12)}\tau_2; \quad T_{(13)0} = T_{(13)}\tau_2 = T_3; \quad \dot{T}_{(12)0} = \dot{T}_{(12)}\tau_2; \quad \dot{T}_{(13)0} = \dot{T}_{(13)}\tau_2. \quad (21)$$

10. Із рівнянь (22) знаходимо постійні складові моментів сил пружності:

$$a_{12} = \frac{J_2(T_1 - T_3) + (J_1 + J_3)T_2}{J_1 + J_2 + J_3};$$

$$a_{13} = T_1 + \frac{J_1}{J_2}T_2 - \frac{J_2(T_1 - T_3) + (J_1 + J_3)T_2}{J_1 + J_2 + J_3} \cdot \left(\frac{J_1 + J_2}{J_2} \right). \quad (22)$$

11. Із рівняння (23) знаходимо циклові частоти коливань моментів сил пружності в період 3-го етапу пуску:

$$\beta_{1,2}^2 = C_{12} \frac{J_1 + J_2}{2J_1J_2} + C_{13} \frac{J_1 + J_3}{2J_1J_3} \pm \sqrt{\left(C_{12} \frac{J_1 + J_2}{2J_1J_2} + C_{13} \frac{J_1 + J_3}{2J_1J_3} \right)^2 - C_{12}C_{13} \frac{J_1 + J_2 + J_3}{J_1J_2J_3}}. \quad (23)$$

12. Використовуючи рівняння (18), (24), (25), знаходимо амплітуди коливань моментів сил пружних в'язей в період 3-го етапу пуску:

$$A_{(12)1} = \frac{\Delta_{12}(T_{(12)0} - a_{12}) - \frac{C_{12}}{J_1}(T_{(13)0} - a_{13})}{\beta_1^2 - \beta_2^2};$$

$$A_{(12)2} = \frac{\frac{C_{12}}{J_1}(T_{(13)0} - a_{13}) - \Delta_{11}(T_{(12)0} - a_{12})}{\beta_1^2 - \beta_2^2};$$

$$A_{(13)1} = A_{(12)1} \frac{J_1}{C_{12}} \Delta_{11}; \quad A_{(13)2} = A_{(12)2} \frac{J_1}{C_{12}} \Delta_{12}; \quad (24)$$

$$B_{(12)1} = \frac{\Delta_{12}\dot{T}_{(12)0} - \frac{C_{12}}{J_1}\dot{T}_{(13)0}}{\beta_1(\beta_1^2 - \beta_2^2)}; \quad B_{(12)2} = \frac{\frac{C_{12}}{J_1}\dot{T}_{(13)0} - \Delta_{11}\dot{T}_{(12)0}}{\beta_2(\beta_1^2 - \beta_2^2)};$$

$$B_{(13)1} = B_{(12)1} \frac{J_1}{C_{12}} \Delta_{11}; \quad B_{(13)2} = B_{(12)2} \frac{J_1}{C_{12}} \Delta_{12}. \quad (25)$$

13. Знаходимо максимальні навантаження пружних в'язей привода при пуску:

$$T_{12max} = \sqrt{A_{(12)1}^2 + B_{(12)1}^2} + \sqrt{A_{(12)2}^2 + B_{(12)2}^2} + a_{12}; \quad (26)$$

$$T_{13max} = \sqrt{A_{(13)1}^2 + B_{(13)1}^2} + \sqrt{A_{(13)2}^2 + B_{(13)2}^2} + a_{13}. \quad (27)$$

14. Використовуючи рівняння (28), знаходимо динамічні перевантаження, що виникають в пружних в'язях привода під час пуску:

$$k_{12} = \frac{T_{12max}}{T_2}; \quad k_{13} = \frac{T_{13max}}{T_3}. \quad (28)$$

Використовуючи приведений алгоритм, авторами виконано розрахунок динамічних навантажень круглов'язальної машини КО-2 з приводом з пружинами кручення. При цьому в якості вихідних параметрів, враховуючи розрахунки пружин кручення та результати досліджень [8], прийнято: $T_1 = 26,5$ Нм; $T_2 = 4,4$ Нм; $T_3 = 17,7$ Нм; $J_1 = 0,038$ кгм²; $J_2 = 0,026$ кгм²; $J_3 = 0,021$ кгм²; $C_{12} = 0,6$ Нм/рад; $C_{13} = 2,3$ Нм/рад.

Розрахунки показують, що при використанні привода круглов'язальної машини з пружинами кручення динамічні навантаження пружних в'язей привода і, відповідно, механізмів товароприйому і в'язання становлять: $T_{12max} = 8,58$ Нм; $T_{13max} = 38,05$ Нм. При цьому динамічні перевантаження вказаних механізмів при пуску круглов'язальної машини з приводом з пружинами кручення будуть: $k_{12} = 1,95$, $k_{13} = 2,15$, що майже в 2 рази менше ніж в існуючих круглов'язальних машинах [2].

Висновки

В результаті виконаних досліджень:

- встановлена доцільність використання в приводі круглов'язальної машини циліндричних пружин кручення та обгінних муфт, розташованих на вертикальному приводному валу;
- виконані розрахунки підтверджують працездатність та доцільність використання в приводі круглов'язальної машини циліндричних пружин кручення та обгінних муфт;
- запропонована конструкція привода круглов'язальної машини з пружинами кручення здатна практично в 2 рази знизити динамічні навантаження товароприйомного механізму.

Література

1. Кожевников С.Н. Динамика нестационарных процессов в машинах / Кожевников С.Н. – К. :

Наукова думка, 1986. – 288 с.

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

3. Хомяк О.М. Динаміка плосков'язальних машин / Хомяк О.М. – К. : КНУТД, 2008. – 250 с.

4. Чабан В.В. Динаміка основов'язальних машин / Л.А. Бакан, Б.Ф. Піпа. – К. : КНУТД, 2012. – 287 с.

5. Поляков В.С. Справочник по муфтам / И.Д. Барабаш, О.А. Ряховский. – 2-е изд. – Л. : Машиностроение, 1979. – 351 с.

6. Машины кругловязальные типа КО–2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – Черновцы. 1992. – 86 с.

7. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / А.П. Яковлев, В.В. Матвеев В.В. – К. : Наукова думка, 1975. – 704 с.

8. Піпа Б.Ф. К вопросу снижения динамических нагрузок в кругловязальной машине / Піпа Б.Ф., Набулси А.С.–А. – К. : ГАЛПУ, 1994. – 14 с. – Деп. в ГНТБ Украины 20.04.94, № 782–Ук 94.

Отримана/Received : 2.4.2017 р. Надрукована/Printed : 8.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Місяць В.П.

УДК 621.941

М.М. КОСІЮК, С.А. КОСТЮК

Хмельницький національний університет

ФОРМОУТВОРЕННЯ НЕПОВНИХ СФЕРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ НА УНІВЕРСАЛЬНИХ ВЕРСТАТАХ ТОКАРНОЇ ГРУПИ

В статті розглянуто область застосування та приведені характерні представники деталей машин з неповними сферичними поверхнями. Проведено аналіз останніх досліджень і публікацій. Розглянуто методи отримання штучних заготовок з конструктивним елементом у вигляді неповної сферичної поверхні. Розглянуто питання формоутворення різанням неповних сферичних поверхонь деталей машин. Проведено аналіз існуючих кінематичних схем лезової та абразивної обробки неповних сферичних поверхонь. Розглянуто конструкції верстатних пристроїв для обточування неповних сферичних поверхонь. Запропоновано кінематичну схему процесу обточування неповних сферичних поверхонь зі зміщеним інструментом на основі якої розроблено верстатний пристрій. Отримані математичні залежності для визначення кутової подачі в залежності від режимів обробки.

Ключові слова: сферична поверхня, різання, метод, деталь, параметр.

M.M. KOSIYUK, S.A. KOSTYUK

Khmelnytsky National University

FORMATION OF INCOMPLETE SPHERICAL SURFACES ON UNIVERSAL LATHES

In the article examined field of application and presented typical representatives of machine parts with incomplete spherical surfaces. Conducted analysis of recent research and publications. Considered Methods of obtaining billets from artificial constructive element in the form of incomplete spherical surfaces. Considered the question of forming incomplete spherical surfaces cutting machine parts. Conducted analysis of existing kinematics schemes edge cutting and abrasive processing incomplete spherical surfaces. Considered machine tool design devices for turning incomplete spherical surfaces. The proposed kinematic scheme machining processing incomplete spherical surfaces with a displacement tool based on which the device is designed for machining.

Keywords: spherical surface, cutting, method, parts, parameter.

Постановка проблеми

В сучасній техніці існує велика група деталей, конструктивним елементом яких є неповна сферична поверхня (НСП). Рис. 1: кульові пальці автомобільних кульових шарнірів, кульові пальці наконечників рулевих тяг, сферичні наконечники штоків гідро-компенсаторів та розподільні вали з сферичними клапанами газорозподільного механізму двигунів внутрішнього згорання, шарніри роботів, кулькові під'ятники, сферичні вкладиші бойків механізмів ударної дії і т. п.

Такі деталі переважно застосовуються в сферичних парах тертя, що утворюють кінематичні пари з трьома ступенями вільності. Найбільш важливою і трудомісткою частиною технологічного процесу виготовлення деталей з НСП є чорнова і чистова формотвірні операції лезової обробки сферичної поверхні, надання їй правильної геометричної форми з мінімальними відхиленнями від сферичності, заданого діаметра та шорсткості поверхні. В загальному рівень технологічного забезпечення для виготовлення НСП залишається недостатньо високим [1]. Тому питання розробки нових конструкцій ефективних верстатних пристроїв для обробки НСП є актуальним.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Отримання штучних заготовок з технологічним елементом у вигляді неповної сфери можливо різними методами: гарячим і напівгарячим об'ємним штампуванням, холодним об'ємним штампуванням, висадкою, комбінованим штампуванням, поперечно-клиновою прокаткою [2]. Крім перерахованих способів в одиничному і дрібносерійному виробництві можливе отримання деталей з НСП різанням з пруткової або штучної заготовки.

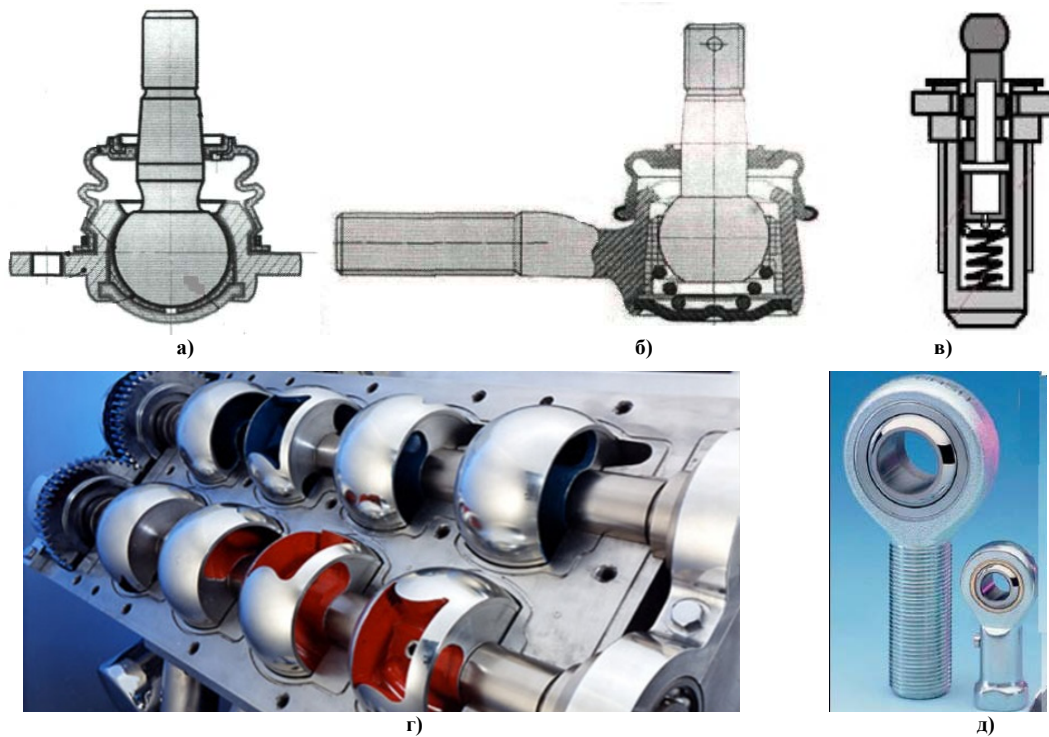


Рис. 1. Характерні представники деталей з неповними сферичними поверхнями:

а) кульовий шарнір; б) наконечник; в) гідрокомпенсатор; г) газорозподільний механізм двигуна внутрішнього згорання з сферичними клапанами; д) шарніри роботів

Деталі типу заготовок пальців кульових опор підвіски автомобіля як правило отримують гарячим штампуванням на кривошипних гарячостампувальних пресах або холодною об'ємною висадкою, яка дозволяє отримати діаметральні розміри з точністю по 8-9 квалітету, а лінійні по 11-12 квалітету з параметром шорсткості R_a 2.5...0.63 мкм [3].

При застосуванні високотехнологічних методів отримання заготовок методами ППД з НСП в якості формотвірної операції застосовують врізне шліфування профільними кругами рис.2, що дозволяє отримати сферичну поверхню пальця кульової опори по 6-8 квалітету. Шліфування сферичної поверхні трубчастими кругами рис. 3 не зважаючи на високу точність обробки має обмежене застосування через малу стійкість інструменту і можливе лише після чистових лезових формотвірних операцій.

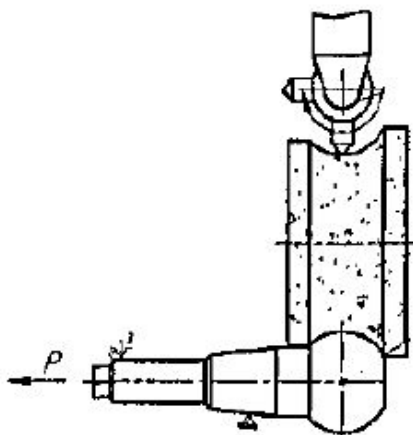


Рис. 2. Схема шліфування сферичної поверхні кульового пальця профільним кругом

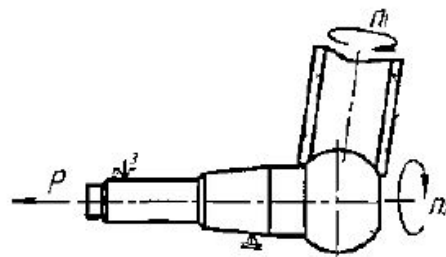


Рис. 3. Схема шліфування сферичної поверхні кульового пальця трубчастим кругом

Основними недоліками абразивної обробки є: висока вартість інструменту та обладнання, необхідність введення попередніх операцій для формоутворення сферичної поверхні, а також необхідність введення додаткової операції очищення виробів від абразиву.

Формоутворення сферичних поверхонь різанням як правило отримують на верстатах токарної групи за допомогою схеми плоско-паралельного точіння (з використанням гідрокопіювальних верстатів та верстатів з ЧПК) рис.4, фасонного точіння, точіння з використанням поворотних пристроїв рис. 5 [4] та точіння з використанням спеціальних супортів на верстатах автоматах [5].

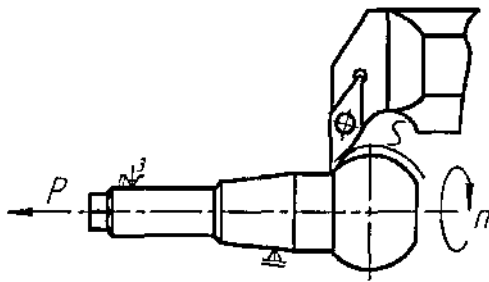


Рис. 4. Схема плоско-паралельного точіння сферичної поверхні кульового пальця

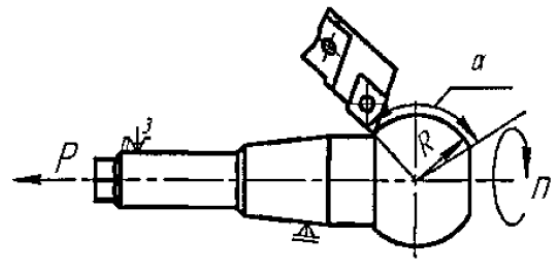


Рис. 5. Схема токарної обробки сфери кульового пальця з використанням поворотного пристрою

При плоско-паралельній схемі точіння з використанням верстатів з ЧПК, ріжучий інструмент переміщується по двом координатам, при цьому кінцева точка формування твірної (профілю) сфери постійно зміщується по радіусу вершини різця, що впливає на відхилення форми сфери від номінальної, що складає 30–90 мкм біля торцевих поверхонь. При реалізації даної схеми з використанням гідрокопіювальних верстатів отримати сферичну поверхню можливо лише з двох переходів при точінні лівим та правим різцем. При цьому зміщення напівсфер може досягати 0,1 мм, що потребує введення додаткової шліфувальної операції.

При обточуванні з використанням поворотних пристроїв можлива обробка зовнішніх НСП з $R > 15$ мм, стандартним інструментом, при чому забезпечується переміщення вершини різця по дузі радіусом R на деякий кут α , рис. 5.

Для забезпечення фасонного точіння сферичної поверхні необхідно застосовувати дорогий спеціальний інструмент (вартість якого вища від вартості стандартного на 350–500%) та потужні верстати підвищеної жорсткості. Крім того при використанні фасонних різців необхідно враховувати, що твердосплавні різці погано працюють на врізання (у порівнянні з різцями із швидкорізальних сталей), що ускладнює використання високопродуктивного твердосплавного інструменту.

Обточування з використанням спеціальних супортів на верстатах автоматах дозволяє отримати сферичні поверхні 9–11 квалітетів точності, що також в деяких випадках вимагає введення додаткової операції шліфування.

В роботі [6] запропоновано пристрої для обробки сферичних поверхонь на токарних верстатах складної конструкції, які встановлюються на місце верхніх напрямних супорта токарного верстата. Головним їх недоліком є низька жорсткість і як наслідок низька точність оброблених поверхонь.

Також відомий спосіб фрезерування сферичних поверхонь рис.6, який отримав широке застосування [4].

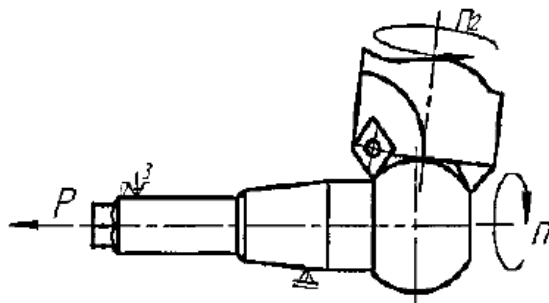


Рис. 6. Схема фрезерування сферичної поверхні кульового пальця

При використанні даної схеми обробки виникає ряд дефектів: огранка, місцеві зарізи, задири і вириви матеріалу в місцях виходу інструменту, відхилення форми сфери в місці відводу ріжучого інструменту. Для усунення даних дефектів необхідне введення додаткових операцій чистового фрезерування і шліфування. Суттєвим недоліком даного методу є застосування спеціального інструмента.

Аналіз приведених способів формування НСП в умовах одиничного та серійного виробництва вказує на необхідність застосування лезової обробки та доцільність розробки верстатних пристроїв, які б дозволяли проводити чорнову і чистову обробку деталей з НСП.

Мета статті – дослідження процесу формоутворення НСП різанням та розробка конструкції верстатного пристрою для обробки неповних сферичних поверхонь.

Виклад основного матеріалу дослідження

Використання поворотного пристрою в основі якого лежить кінематична схема рис. 7 дозволяє вести чорнове і чистове обточування НСП з $R_{\min} = 5$ мм стандартним інструментом. Дана кінематична схема відрізняється тим, що вершина різця зміщена відносно осі обертання пристрою на деяку відстань e , що дозволяє зменшити технологічну відстань від центра сфери до закріплення в патроні. Таким чином з'являється можливість обточування коротких деталей з НСП без спеціальних оправок.

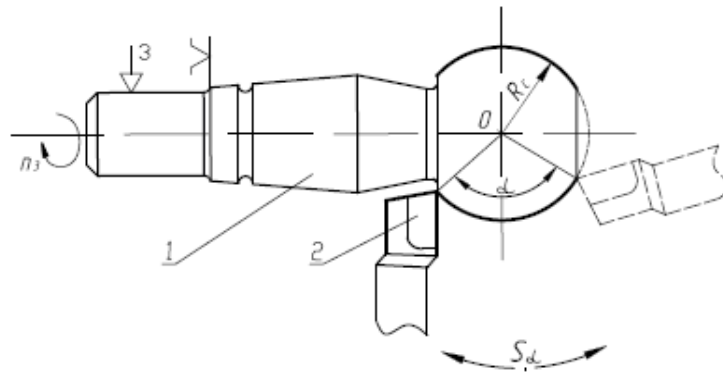


Рис. 7. Кінематична схема обробки сфери кульового пальця з використанням поворотного пристрою:
1 – заготовка; 2 – різець

Згідно кінематичної схеми обробки заготовки надається обертовий рух відносно власної осі Dz з частотою n_3 об/хв., при цьому ріжучий інструмент здійснює головний рух подачі Ds огинаючи сферичну поверхню заготовки відносно центра сфери з кутовою подачею S_α на деякий кут α у площині різання.

Кутова подача різця на один оберт заготовки розраховується за формулою:

$$S_\alpha = \frac{360 \cdot S}{\pi \cdot d_c} \cdot n_3, \quad (1)$$

де S , мм/об – подача вершини інструмента, що відповідає одному обертowi заготовки; d_c – діаметр оброблюваної сфери.

Технологічними елементами режимів обробки НСП є: частота обертання заготовки, кутова подача, глибина різання, фізико-механічні властивості матеріалу заготовки та геометричні характеристики інструмента.

Запропоновано пристрій для токарної обробки НСП [7] вид якого представлений на рис. 8.

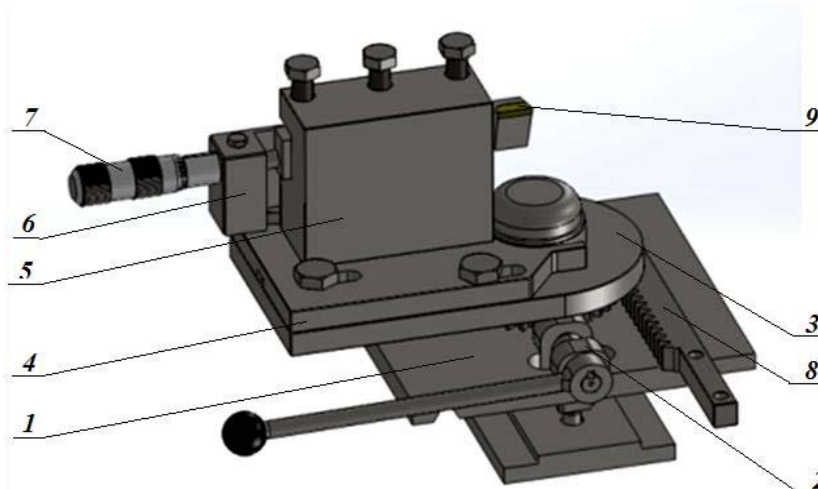


Рис. 8. Поворотний пристрій для токарної обробки неповних сферичних поверхонь:
1 – платформа; 2 – механізм фіксації; 3 – поворотний стіл; 4 – платформа поперечних переміщень різцетримача;
5 – різцетримач; 6 – кронштейн; 7 – мікрометричний гвинт; 8 – зубчаста рейка; 9 – різець

Пристрій встановлюється на призматичних напрямних станини токарного верстата, виконаний з можливістю поздовжнього переміщення і фіксації в потрібному положенні і містить поворотний стіл із закріпленим на ньому різцетримачем з установленим в ньому різцем, оснащений механізмом налагодження різцетримача і різця, регульованим підшипниковим вузлом, причому обертання столу здійснюється механізмом рейкового типу, який має кінематичний зв'язок із супортом верстата, який досягається за рахунок з'єднання зубчастої рейки з супортом поздовжніх переміщень верстата. Даний пристрій дозволяє вести обробку з широким діапазоном розмірів оброблюваної поверхні і може використовуватись в серійному та одиничному виробництві.

Робота даного пристрою ґрунтується на властивості сферичної поверхні, яка полягає у тому, що будь-який її перетин площиною, включаючи площини, зміщені щодо центру сфери, дає коло. Це дозволяє представити процес формоутворення неповної сфери як узгоджені рухи по напрямній лінії твірної кола, отриманої за рахунок обертання заготовки і твірної лінії кола, описаного вершиною різця по радіусу оброблюваної сфери. Таким чином, точність формоутворення сфери визначається не профілем ріжучого

інструмента, а точністю траєкторії цих рухів, тобто кінематикою процесу, що дозволяє отримати сферичні поверхні високої точності з мінімальним відхиленням від сферичності.

В процесі обробки подача супорта верстата S_y перетворюється за рахунок рейкового механізму в кругову подачу S_α , залежність між якими визначається формулою:

$$S_y = \frac{\pi \cdot S_\alpha \cdot d_0}{360}, \quad (2)$$

де d_0 – дільний діаметр зубчатого колеса поворотного столу. Підставивши (1) у (2) отримаємо формулу (3) для визначення поздовжньої подачі супорта верстата в залежності від призначених s , n_3 , d_c :

$$S_y = \frac{S \cdot d_0 \cdot n_3}{d_c} \quad (3)$$

Фрагмент процесу обробки сферичної поверхні пальця кульової опори автомобіля з використанням запропонованого пристрою представлено на рис. 9.

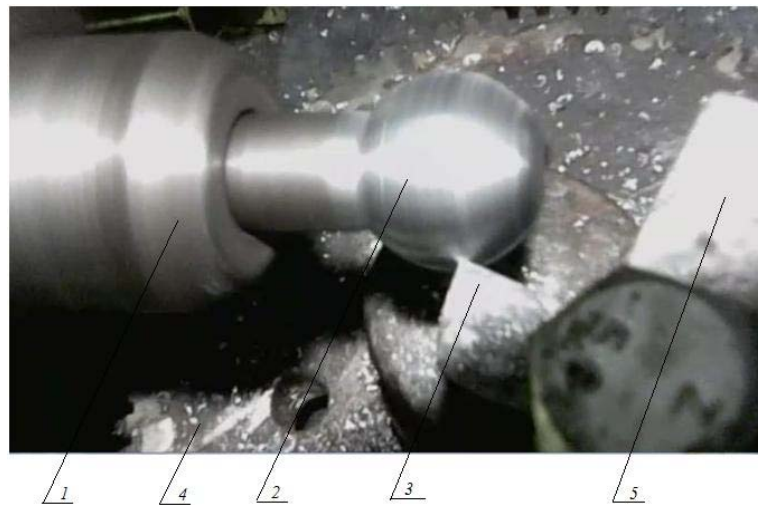


Рис. 9. Фрагмент процесу токарної обробки сфери кульового пальця з використанням поворотного пристрою:
1 – спеціальна оправка; 2 – заготовка; 3 – різець; 4 – поворотний стіл; 5 – різцетримач

Перевагами даного пристрою є:

- при обробці вершина ріжучого інструменту формує твірну сферичної поверхні по заданому радіусу з постійними кінематичними кутами в плані;
- в процесі обробки формується мікрорельєф з стабільною шорсткістю;
- використовуються стандартні різці;
- використовуються універсальні верстати токарної групи малої потужності.
- пристрій встановлюється на напрямні станини токарного верстата без його модернізації та має підвищену жорсткість.

Висновки

Розглянуто методи отримання заготовок з конструктивним елементом у вигляді сферичної поверхні. Проведено аналіз кінематичних схем процесу обробки НСП. Запропоновано пристрій, який дозволяє якісно обточувати неповні сферичні поверхні в широкому розмірному діапазоні ($d_c = 10-110$ мм).

При використанні запропонованого пристрою розширюються технологічні можливості процесу обробки, досягається висока продуктивність оброблення навіть в умовах дрібносерійного та ремонтного виробництва, оскільки на встановлення пристрою витрачається не більше 10 хв.

Література

1. Підгурський М.І. Досліджень формоутворення сферичних поверхонь на верстатах токарної групи [Електронний ресурс] / М.І. Підгурський, М.Г. Левкович, О.М. Лясота // ТНТУ. – 2012. – Режим доступу : <http://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/1795>
2. Гун И.Г. Совершенствование технологической системы изготовления шаровых шарниров / Гун И.Г. – М. : Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2000. – 360 с.
3. Холодная объемная штамповка : справочник / под ред. Г.А. Навроцкого. – М. : Машиностроение, 1973. – С.495.
4. Справочник технолога-машиностроителя : в 2 т. Т. 1 / [под. ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова]. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1985. – 656 с.
5. Пат. 2056976 Российская Федерация, МПК В23В5/36. Обработка фасонных поверхностей на

токарных станках / Лещев В.С. ; заявитель и патентообладатель Акционерное общество открытого типа "Ролтом". – № 93003815/08–93 ; заявл. 25.01.1993 ; опубл. 27.03.1996, Бюл. № 2.

6. Семинский В.К. Приспособления и инструменты для токарных работ / П.Т. Вирченко, С.А. Платонов. – К. : Техника 1977.

7. Декларационный патент на полезную модель 116147 Украина, МПК В23В5/00. Пристрій для точіння зовнішніх сферичних поверхонь / Косіюк М.М, Костюк С.А. ; заявник і власник патенту Хмельницький національний університет ; заявл. 21.11.2016 ; опубл. 10.05.2017, Бюл. № 9.

Отримана/Received : 24.4.2017 р. Надрукована/Printed : 8.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Мазур М.П.

УДК 675.92.027

Н.М. ЗАЩЕПКИНА, Ю.С. ГРЕЧУХА

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

Т.І. КУЛІК, Б.М. ЗЛОТЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

ПРОГНОЗУВАННЯ ЯКОСТІ ТА КОНФІГУРАЦІЇ ЧАСТИН ЛИТИХ КОМБІНОВАНИХ ВИРОБІВ З ПОЛІМЕРНИХ МАТЕРІАЛІВ

Проаналізовано існуючі методи математичного моделювання процесів лиття під тиском. Метою даної роботи є створення методу прогнозування конфігурації частин комбінованих виробів на основі числового моделювання процесу заповнення прес-форми з урахуванням технологічних параметрів різних полімерних матеріалів. Для проведення експериментальних досліджень були вибрані полімерні матеріали, які широко використовуються в сучасному виробництві для лиття деталей низу взуття: термоеластопласт, пластифікована суміш на основі полівінілхлориду, поліетилен і полістирол. Експериментально підтверджена гіпотеза про можливість підвищення експлуатаційних показників комбінованих виробів за рахунок цілеспрямованої зміни фізико-механічних властивостей полімерного матеріалу шляхом керування параметрами технологічного процесу лиття.

Ключові слова: полімерні матеріали, лиття деталей низу взуття, фізико-механічні властивості полімерного матеріалу, параметрами технологічного процесу лиття.

N.N. ZASHCHEPKINA, Y. S. GRECHUKHA

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky"

T. I. KULIK, M. ZLOTENKO

Kyiv National University of Technologies and Design

PREDICTION OF THE QUALITY AND CONFIGURATION OF CAST PARTS, COMPOSITE POLYMER MATERIALS

Analyzed the existing methods of mathematical simulation of processes of casting under pressure. The aim of this work is to create a method of predicting the configuration of the parts of combined products based on numerical modelling of process of filling of the mold based on process parameters of various polymeric materials. For experimental researches were selected polymeric materials, which are widely used in modern manufacturing for molding of Shoe bottom parts: thermoplastic, plasticized mixture based on polyvinyl chloride, polyethylene and polystyrene. Experimentally confirmed the hypothesis about possibility of increase of operational indicators of combined products due to the purposeful change of physical and mechanical properties of the polymer material by controlling the parameters of technological process of casting.

Key words: polymeric materials, molding Shoe bottom parts, physical and mechanical properties of the polymer material, the process parameters of the casting.

Вступ

При литті полімерних виробів виникають відходи у вигляді матеріалу, що затвердіває у ливникових каналах. Особливо значний об'єм таких відходів має місце у взуттєвій промисловості, де при литті підшов використовують прес-форми із розвиненою системою розвідних та тунельних ливникових каналів.

Деяка частина подрібнених відходів може використовуватись як домішки до основного полімерного матеріалу для вторинного використання в процесі лиття під тиском. При цьому фізико-механічні характеристики вилитих виробів дещо погіршуються через часткову термодеструкцію вторинної сировини. Тому такий матеріал доцільно використовувати для виготовлення деталей, або їх частин, які не несуть значних навантажень в процесі експлуатації.

Оскільки в процесі носіння взуття середина і край каблука підшви підлягають інтенсивному зношуванню, доцільно виливати ці частини із первинного полімерного матеріалу, а для виливання решти підшви можна застосувати первинний матеріал із додаванням вторинного.

При цьому, якщо заповнення прес-форми відбувається із двох матеріальних циліндрів з різним складом матеріалу, необхідно забезпечити затікання відповідних розплавів у задані області оформлюючої порожнини.

Аналіз стану проблеми

Відображені в роботах [1–3] існуючі методи математичного моделювання процесів лиття під тиском

не дозволяють визначити конфігурацію часин комбінованих виробів тому, що вони засновані на аналізі одномірної неізотермічної течії не ньютонівської рідини і не враховують зміну форми фронту розплаву в площині роз'єму прес-форми. В роботі [4] було показано, що характер розтікання полімерного матеріалу в процесі заповнення прес-форми досить точно описується числовим моделюванням в ньютонівському ізотермічному наближенні, тобто, при використанні поняття ефективної в'язкості розплаву.

Постановка завдання

Метою даної роботи є створення методу прогнозування конфігурації частин комбінованих виробів на основі числового моделювання процесу заповнення прес-форми з урахуванням технологічних параметрів різних полімерних матеріалів.

Результати дослідження

Основними рівняннями, що описують плоску течію нестиглої ньютонівської в'язкої рідини зі сталими властивостями при відсутності зовнішніх сил, є два рівняння кількості руху (рівняння Нав'є - Стокса) та рівняння нерозривності:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right); \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right); \quad (2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0, \quad (3)$$

де u , v – складові швидкості; P – тиск; ρ – густина розплаву; ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості.

Ведемо нову змінну $\varphi = \frac{P}{\rho}$ і перепишемо рівняння (1) і (2) у вигляді:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{\partial \varphi}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right); \quad (4)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{\partial \varphi}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right); \quad (5)$$

Диференціюючи (4) по y , а (5) по x і додаючи отримані рівняння, отримаємо рівняння Пуассона:

$$\nabla^2 \varphi = \frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = -\frac{\partial D}{\partial t} - u \cdot \frac{\partial D}{\partial x} - v \cdot \frac{\partial D}{\partial y} + \nu \cdot \nabla^2 D, \quad (6)$$

де $D = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}$ – дивергенція швидкості.

Для високов'язких розплавів полімерних матеріалів рівняння (4) і (5) можна представити у вигляді [5]:

$$-\frac{\partial \varphi}{\partial x} + \nu \cdot \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) = 0, \quad (10)$$

$$-\frac{\partial \varphi}{\partial y} + \nu \cdot \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) = 0. \quad (11)$$

Якщо знехтувати стисливістю розплавів полімерних матеріалів, то рівняння (6) можна представити у вигляді рівняння Лапласа:

$$\nabla^2 \varphi = 0. \quad (12)$$

Основні кінцево-різницеві формули для частинних похідних можна отримати за допомогою розкладання в ряди Тейлора. Прямокутна сітка, що використовується представлена на рис. 1.

Нижні індекси i та j відносяться до x та y , а верхній індекс n відповідає часовому шару. Кроки сітки в напрямках i та j позначаються через сталі Δx та Δy відповідно. Змінна f означає деяку функцію.

Форми однобічних різницьових представлень

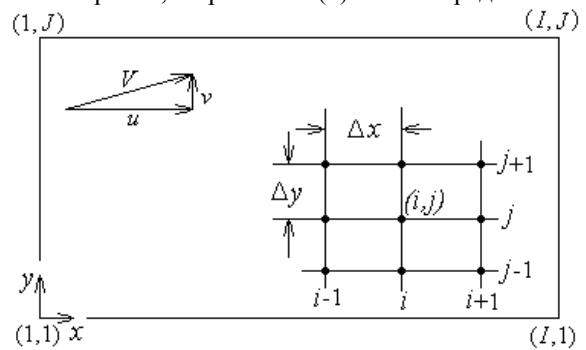


Рис. 1. Прямокутна кінцево-різницьова сітка

для першої похідної $\partial f / \partial x$ можна вивести наступним чином. Враховуючи неперервність похідних, розкладаючи $f_{i+1,j}$ в ряд Тейлора в околі точки (i, j) та опускаючи для спрощення верхній (часовий) індекс, отримуємо:

$$\begin{aligned} f_{i+1,j} &= f_{i,j} + \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{i,j} (x_{i+1,j} - x_{i,j}) + \frac{1}{2} \left. \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|_{i,j} (x_{i+1,j} - x_{i,j})^2 + \dots = \\ &= f_{i,j} + \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{i,j} \Delta x + \frac{1}{2} \left. \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|_{i,j} \Delta x^2 + \text{ЧВП}, \end{aligned} \quad (13)$$

де ЧВП – члени вищих порядків.

Розв'язуючи (13) відносно $\partial f / \partial x$, отримуємо:

$$\left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{i,j} = \frac{f_{i+1,j} - f_{i,j}}{\Delta x} - \frac{1}{2} \left. \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|_{i,j} \Delta x + \text{ЧВП}, \text{ або } \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{i,j} = \frac{f_{i+1,j} - f_{i,j}}{\Delta x} + O(\Delta x), \quad (14)$$

де запис $O(\Delta x)$ – член порядку Δx , який відноситься до членів, що містять множники Δx , Δx^2 тощо.

Позначимо кінцево-різницевий аналог $\partial f / \partial x$ через $\delta f / \delta x$. Тоді для $\delta f / \delta x$ при різницевій апроксимації вперед отримаємо вираз:

$$\left. \frac{\delta f}{\delta x} \right|_{i,j} = \frac{f_{i+1,j} - f_{i,j}}{\Delta x}, \quad (15)$$

з помилкою апроксимації порядку Δx , тобто з першим порядком точності.

Розкладаючи $f_{i-1,j}$ в околі точки (i, j) , отримуємо для $\delta f / \delta x$ вираз при різницевій апроксимації назад:

$$\left. \frac{\delta f}{\delta x} \right|_{i,j} = \frac{f_{i,j} - f_{i-1,j}}{\Delta x}, \quad (16)$$

який також має перший порядок точності. Центральна (симетрична) різницева апроксимація $\delta f / \delta x$ отримується як різниця розкладів:

$$f_{i+1,j} = f_{i,j} + \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{i,j} \Delta x + \frac{1}{2} \left. \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|_{i,j} \Delta x^2 + \frac{1}{6} \left. \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} \right|_{i,j} \Delta x^3 + \frac{1}{24} \left. \frac{\partial^4 f}{\partial x^4} \right|_{i,j} \Delta x^4 + O(\Delta x^5) \quad (17)$$

$$f_{i-1,j} = f_{i,j} - \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{i,j} \Delta x + \frac{1}{2} \left. \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|_{i,j} \Delta x^2 - \frac{1}{6} \left. \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} \right|_{i,j} \Delta x^3 + \frac{1}{24} \left. \frac{\partial^4 f}{\partial x^4} \right|_{i,j} \Delta x^4 + O(\Delta x^5) \quad (18)$$

Віднімаючи (18) із (17), отримуємо:

$$f_{i+1,j} - f_{i-1,j} = 2 \left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{i,j} \Delta x + \frac{1}{3} \left. \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} \right|_{i,j} \Delta x^3 + \text{ЧВП}.$$

Розв'язуючи відносно $\partial f / \partial x$, маємо:

$$\left. \frac{\partial f}{\partial x} \right|_{i,j} = \frac{f_{i+1,j} - f_{i-1,j}}{2\Delta x} - \frac{1}{6} \left. \frac{\partial^3 f}{\partial x^3} \right|_{i,j} \Delta x^2 + \text{ЧВП} = \frac{f_{i+1,j} - f_{i-1,j}}{2\Delta x} + O(\Delta x^2). \quad (19)$$

Таким чином, центральна різницева апроксимація дає вираз

$$\left. \frac{\delta f}{\delta x} \right|_{i,j} = \frac{f_{i+1,j} - f_{i-1,j}}{2\Delta x}. \quad (20)$$

з помилкою апроксимації порядку Δx^2 , тобто з другим порядком точності. Аналогічно можна отримати вирази для похідних по y та t , наприклад центрально-різницевий аналог $\partial f / \partial t$ має вигляд

$$\left. \frac{\delta f}{\delta t} \right|_{i,j}^n = \frac{f_{i,j}^{n+1} - f_{i,j}^{n-1}}{2\Delta t}. \quad (21)$$

Виведемо тепер центрально-різницевий аналог $\partial^2 f / \partial x^2$. Просумувавши (17) та (18), маємо:

$$f_{i+1,j} + f_{i-1,j} = 2f_{i,j} + 2 \left. \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|_{i,j} \Delta x^2 + \frac{1}{2} \left. \frac{\partial^4 f}{\partial x^4} \right|_{i,j} \Delta x^4 + \text{ЧВП}. \quad (22)$$

Розв'язуючи (22) відносно $\partial^2 f / \partial x^2$, отримуємо:

$$\left. \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|_{i,j} = \frac{f_{i+1,j} + f_{i-1,j} - 2f_{i,j}}{\Delta x^2} + O(\Delta x^2). \quad (23)$$

З (23) для $\delta^2 f / \delta x^2$ маємо:

$$\left. \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \right|_{i,j} = \frac{f_{i+1,j} + f_{i-1,j} - 2f_{i,j}}{\Delta x^2} \quad (24)$$

з другим порядком точності.

Для числового моделювання процесу заповнення прес-форми використаємо метод маркерів і комірок (МАК) [4]. Структура комірки в методі МАК представлена на рис. 2.

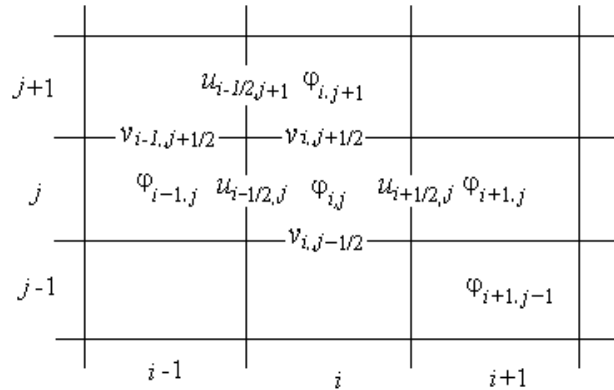


Рис. 2. Система комірок та позиції для розрахунку в методі маркерів та комірок

Тоді різницеві аналоги рівнянь руху (10) і (11), нерозривності (3) і рівняння Лапласа (12) матимуть вигляд [6, 7]:

$$\frac{\phi_{i,j} - \phi_{i+1,j}}{h} + v \cdot \left[\frac{u_{i+1,j} - 2 \cdot u_{i,j} + u_{i-1,j}}{h^2} + \frac{u_{i,j+1} - 2 \cdot u_{i,j} + u_{i,j-1}}{h^2} \right] = 0, \quad (25)$$

$$\frac{\phi_{i,j} - \phi_{i,j+1}}{h} + v \cdot \left[\frac{v_{i+1,j} - 2 \cdot v_{i,j} + v_{i-1,j}}{h^2} + \frac{v_{i,j+1} - 2 \cdot v_{i,j} + v_{i,j-1}}{h^2} \right] = 0, \quad (26)$$

$$\frac{1}{h} \cdot (u_{i,j} - u_{i-1,j} + v_{i,j} - v_{i,j-1}) = 0, \quad (27)$$

$$\frac{\phi_{i+1,j} - 2 \cdot \phi_{i,j} + \phi_{i-1,j}}{h^2} + \frac{\phi_{i,j+1} - 2 \cdot \phi_{i,j} + \phi_{i,j-1}}{h^2} = 0. \quad (28)$$

На рис. 3 наведені результати числового моделювання технологічного процесу заповнення прес-форми при литті під тиском підшов з полівінілхлориду ПЛП – 2 із домішками вторинного матеріалу і без них.

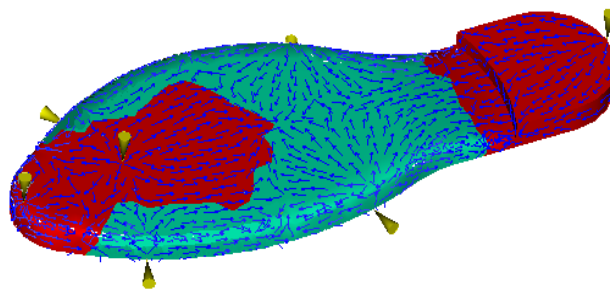


Рис. 3. Розташування частин з різних полімерних матеріалів в підшві

З рисунка видно, що одночасне упорскування в прес-форму забезпечує отримання комбінованої підшви, яка має зносостійкі частини із первинного матеріалу, розташовані в ділянках, що піддаються найінтенсивнішому зношуванню. При цьому решта підшви виготовлена із додаванням вторинного матеріалу. Конфігурація частин таких виробів може змінюватися шляхом визначення місць розташування

впускних отворів за допомогою числового моделювання процесу заповнення прес-форми.

Використання вторинного матеріалу при литті під тиском пов'язано із зменшенням міцності не лише виливка, а й місць спаїв, які виникають в ньому при зустрічі різних потоків розплаву. Для забезпечення заданої міцності спаїв частин із первинного матеріалу та первинного із додаванням 12 % об'єму вторинного проводились експериментальні дослідження за допомогою експериментальної установки (рис. 4), яка дозволяє змінювати в широких межах основні технологічні параметри процесу лиття – тиск лиття, температуру розплаву та температуру прес-форми. Установка складається з литтєвого пресу 1 марки МЛВ-32 та спеціально розробленої прес-форми 2.

Температура розплаву в матеріальному циліндрі 3 преса 1 задається і контролюється за допомогою електронного приладу 4 марки ЭВ 3000К з термопарою 5 типу ТХК. Тиск в циліндрі вузла упорскування задається за допомогою дроселя гідросистеми литтєвого преса 1 і контролюється манометром 6 марки МПЗ-У. Технічна характеристика експериментальної установки наведена в табл. 1.

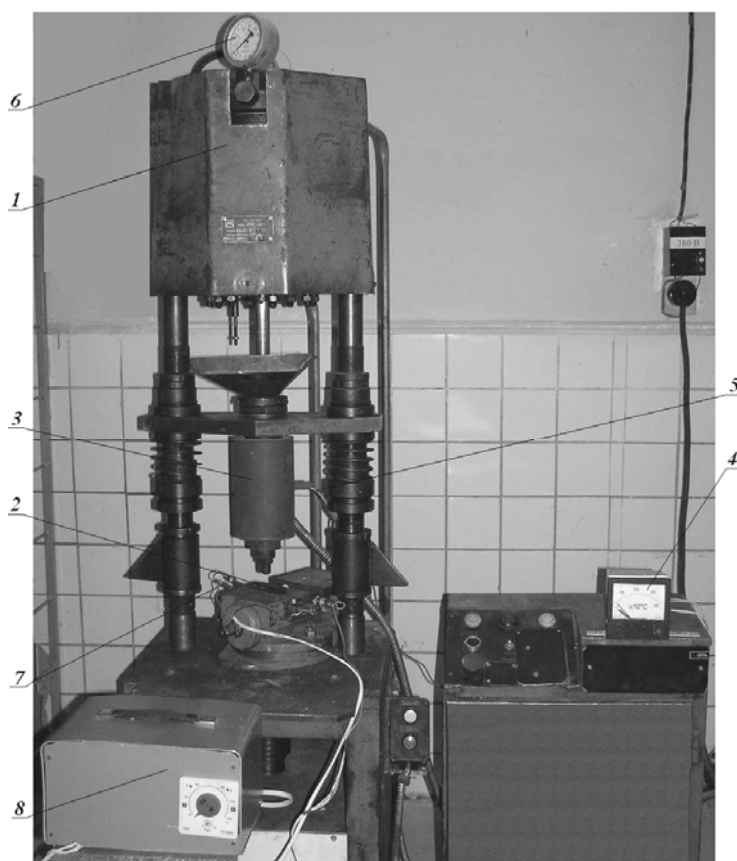


Рис. 4. Експериментальна литтєва установка: 1 – литтєвий прес; 2 – прес-форма; 3 – матеріальний циліндр; 4 – прилад ЭВ для контролю температури; 5 – термопара; 6 – манометр; 7 – електронагрівачі прес-форми; 8 – блок живлення електронагрівачів прес-форми

Таблиця 1

Технічна характеристика експериментальної литтєвої установки

Найменування параметрів	Кількісні показники
1. Температура лиття, °С	до 300
2. Максимальний тиск лиття, МПа	10
3. Максимальний об'єм упорскування, мЗ	6,3·10-5
4. Максимальна об'ємна швидкість, смЗ/с	200

На рис. 5 представлена прес-форма для виготовлення зразків, які відповідають ГОСТ 270-75, призначених для визначення міцності з'єднання частин комбінованих виробів. Експериментальна прес-форма складається з пуансона 1 та кришки 2. Температура прес-форми задається і контролюється системою термостатування, яка містить трубчасті електронагрівачі 3 та термопару платина-платинародій 4 з блоком живлення 5 з приладом ТРЕ-10У.

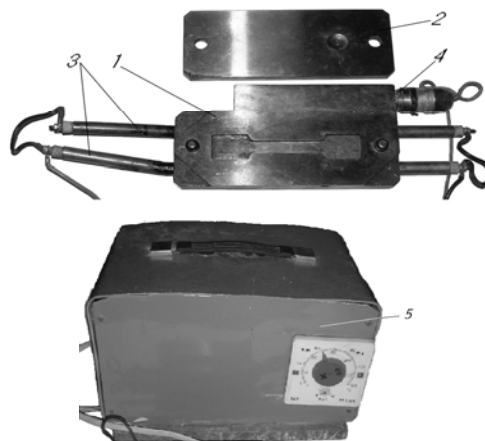


Рис. 5. Експериментальна прес-форма для дослідження міцності з'єднання частин комбінованих виробів: 1 – пуансон; 2 – кришка; 3 – електронагрівачі; 4 – термопара; 5 – блок живлення системи термостатування

Перше упорскування здійснюється в прес-форму зі вставкою, яка забезпечує виливання першої частини зразка (рис. 6). Після цього вставка видаляється, на її місце встановлюється попередньо вилита перша частина, і здійснюється упорскування для виливання другої частини зразка (рис. 7). В результаті отримується зразок з границею розподілу між першою і другою частинами.

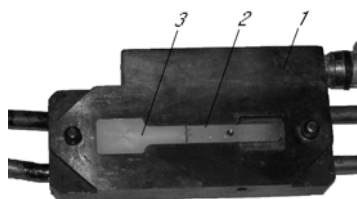


Рис. 6. Прес-форма для дослідження міцності з'єднання частин комбінованих виробів зі вставкою і вилитою першою частиною зразка: 1 – прес-форма; 2 – вставка; 3 – попередньо вилита частина зразка

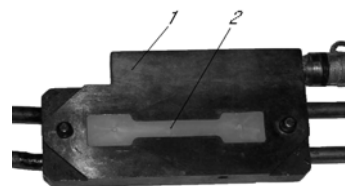


Рис. 7. Прес-форма для дослідження міцності з'єднання частин комбінованих виробів з вилитим зразком: 1 – прес-форма; 2 – комбінований зразок

Для проведення експериментальних досліджень були вибрані полімерні матеріали, які широко використовуються в сучасному виробництві для лиття деталей низу взуття: термоеластоласт, пластифікована суміш на основі полівінілхлориду, поліетилен і полістирол. Характеристики вказаних матеріалів представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Технологічні властивості литтєвих термопластів

Матеріал	Температура розплаву, °С	Температура форми, °С	Тиск лиття, МПа
Термоеластоласт TPR*A*2 UKRAYNA	160 – 200	20 – 75	70 – 95
Полівінілхлорид-пластикат ОПЛП-2	150 – 180	20 – 60	15 – 150
Поліетилен низького тиску ГОСТ 16338 – 77	240 – 270	30 – 70	50 – 140
Полістирол удароміцний ОСТ 6-05-406–75	180 – 230	40 – 70	100 – 150

Дослідження впливу технологічних параметрів лиття на дифузійні явища в зоні контакту комбінованих виробів проводилися за допомогою растрового електронного мікроскопу JSM-840 фірми JEOL, Японія. Цей прилад призначений для вивчення структури та по елементного аналізу металевих та неметалевих матеріалів, а також для отримання в світлі обернено-розсіяних електронів композиційного та топографічного зображення.

Принцип дії приладу як в режимі растрового електронного мікроскопа, так і в режимі рентгенівського мікроаналізатора полягає у взаємодії сфокусованого пучка електронів з атомами

поверхневого шару матеріалів, що досліджуються. Пучок електронів, рухаючись по поверхні зразка, утворює растр, подібний до телевізійного.

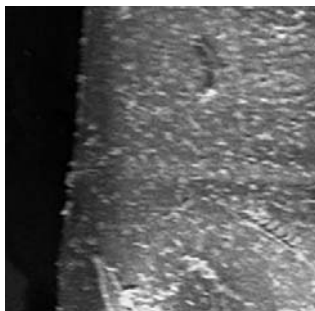
При взаємодії електронного пучка (зонду) зі зразком генеруються сигнали, виявлення та збір яких спеціальними пристроями дозволяють вибрати відповідний режим зображення.

Прилад JSM-840 (рис. 8) складається з власне растрового мікроскопа, енергодисперсійного спектрометра системи "Link" та хвильового спектрометра "Ortec". Прилад оснащений платою захвату відеозображення Micro Capture, яка дозволяє отримувати зображення в відцифрованому вигляді для передачі його на персональний комп'ютер з наступним редагуванням програмою аналізу зображень Image Pro. Дослідження якості виробів також можливо проводити з використання телевізійних засобів вимірювання [8–10].

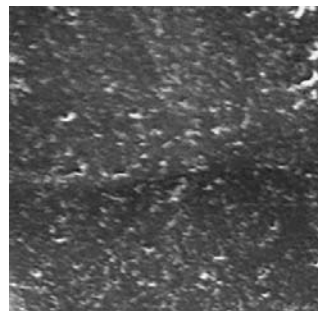


Рис. 8. Прилад JSM-840

На отриманих зображеннях (рис. 9) видно, що границі з'єднання частин комбінованого виробу розмиті. При цьому дослідження показали, що із збільшенням температури прес-форми і розплаву полімерного матеріалу ширина границь збільшується. У зв'язку з цим можна стверджувати, що гіпотеза про дифузійний механізм аутогезійного з'єднання частин отримала експериментальне підтвердження.



а)



б)

Рис. 9. Зображення границі з'єднання частин комбінованого виробу при збільшенні у 200 разів (а) і у 1000 разів (б)

Контакт розплаву з твердим полімерним матеріалом при послідовному литті приводить до зниження температури протікання процесу спаювання частин комбінованих виробів. Збільшення ж температури розплаву вище деякого значення може викликати термічну деструкцію матеріалу, в результаті чого ділянка зі спаєм послаблюється внаслідок руйнування самого матеріалу. Тому важливо знайти якомога вищу температуру розплаву, при якій відбувається утворення міцного спаю. З цією метою були проведені однофакторні експерименти з використанням найпоширеніших взуттєвих полімерних матеріалів: ТЕП, ПВХ, ПЕНТ. При цьому для досягнення найбільшого значення температури в зоні спаю попередньо вилита частина зразка нагрівалась до максимальної температури, при якій зберігалася її зовнішня форма, що складала для ТЕП – $T_w = 80 \pm 2^\circ\text{C}$; ПВХ – $T_w = 120 \pm 2^\circ\text{C}$; ПЕНТ – $T_w = 110 \pm 2^\circ\text{C}$. В результаті статистичної обробки результатів експериментів отримані рівняння регресії, які описують залежності міцності з'єднання частин комбінованого виробу від температури розплаву:

для ТЕП

$$\sigma = -146,0 + 1,461 \cdot T - 3,59 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 \quad (30)$$

для ПВХ

$$\sigma = -156,7 + 1,686 \cdot T - 4,39 \cdot 10^{-3} \cdot T^2; \quad (31)$$

для ПЕНТ

$$\sigma = -593,4 + 4,639 \cdot T - 8,83 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 \quad (32)$$

Графічні залежності, побудовані за рівняннями (30–32), наведені на рис. 10.

Як видно з рис. 10, максимальне значення міцності з'єднання частин комбінованого виробу досягається при температурі розплаву ТЕП – 200–205 °С; ПВХ – 190–195 °С, ПЕНТ – 260–265 °С. Зі збільшенням температури розплаву спостерігається зменшення міцності з'єднання частин виробу, викликане термодеструкцією полімерного матеріалу.

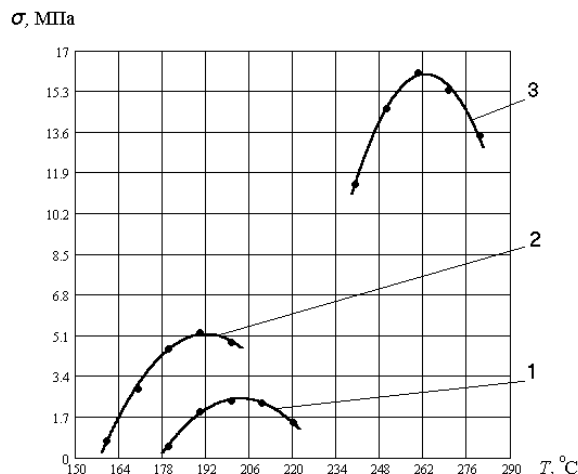


Рис. 10. Залежності міцності з'єднання частин комбінованого виробу від температури розплаву:
1 – ТЕП; 2 – ПВХ; 3 – ПЕНТ

Висновки

Числове моделювання процесу заповнення прес-форми за допомогою методу МАС дозволяє визначити якість та конфігурацію частин комбінованого виробу, якщо відома конфігурація оформлюючої порожнини прес-форми і місця розташування впускних отворів. Задана конфігурації частин з різних полімерних матеріалів може бути забезпечена визначенням відповідної конструкції прес-форми за допомогою числового моделювання процесу її заповнення. Так, розташування у носковій, каблучній і пучковій зонах комбінованих підошов первинного матеріалу, а в решті об'єму – первинного із додаванням вторинного є необхідним для забезпечення високих експлуатаційних показників взуття таких, як зносостійкість і гнучкість в умовах рециклінгу відходів при литті підошов взуття.

Встановлено, що максимальна міцність з'єднання частин комбінованих виробів відповідає температурі попередньо вилитої частини з ТЕП – $T_w = 80 \pm 2^\circ\text{C}$, з ПВХ – $T_w = 120 \pm 2^\circ\text{C}$, з ПЕНТ – $T_w = 110 \pm 2^\circ\text{C}$ і температурі розплаву ТЕП – 200–205 °C, ПВХ – 190–195 °C, ПЕНТ – 260–265 °C.

Експериментально підтверджена гіпотеза про можливість підвищення експлуатаційних показників комбінованих виробів за рахунок цілеспрямованої зміни фізико-механічних властивостей полімерного матеріалу шляхом керування параметрами технологічного процесу лиття.

Література

1. Басов Н. И. Литьевое формование полимеров / Н. И. Басов, Ю. В. Казанков. – М. : Химия, 1984. – 248 с.
2. Тадмор З. Теоретические основы переработки полимеров / Тадмор З., Гогос К. ; пер. с англ. – М. : Химия, 1984. – 632 с.
3. Лапшин В.В. Основы переработки термопластов литьём под давлением / Лапшин В.В. – М. : Химия, 1974. – 271 с.
4. Числові методи математичного моделювання в створенні технологічної оснастки для лиття виробів з полімерних матеріалів / [Бурмістенков О.П., Злотенко Б.М., Скиба М.Є., Синюк О.М.]. – Хмельницький : ПП Ковальський В.В., 2002. – 148 с.
5. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа / Лойцянский Л.Г. – 5-е изд. – М. : Наука, 1978. – 736 с.
6. Самарский А.А. Методы решений сеточных уравнений / Самарский А.А., Николаев Е.С. – М. : Мир, 1981. – 626 с.
7. Самарский А.А. Теория разностных схем / Самарский А.А. – М. : Наука, 1983. – 616 с.
8. Защепкіна Н.М. Застосування телевізійних засобів контролю технологічного обладнання / Н.М. Защепкіна, В.А. Порев // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 5. – С. 37–41.
9. Защепкіна Н.М. Метод контролю пілопроникності матеріалів із застосуванням телевізійно-інформаційної вимірювальної системи / Защепкіна Н.М., Мелконян А.А., Недобойко С.О. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2016. – № 1. – С. 90–92.
10. Защепкіна Н.М. Методика проведення експертизи технологічних процесів легкої промисловості / Н.М. Защепкіна // Вісник КНУТД. – К. : КНУТД, 2015. – 4(88). – С. 126–131.

Отримана/Received : 3.11.2014 р. Надрукована/Printed : 8.6.2017 р.
Статтю представляє д.т.н., проф. Защепкіна Н.М.

О.М. ПИЛИПЕНКО, О.В. БАТРАЧЕНКО

Черкаський державний технологічний університет

І.М. ЛИТОВЧЕНКО

Національний університет харчових технологій

ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗАДНІХ СПОЙЛЕРІВ СІДЕЛЬНИХ АВТОПОТЯГІВ

Високою ефективністю володіють саме спойлери з достатньою довжиною. Спойлери довжиною 1,8 м та 5,45 м дозволяють зменшити турбулентну дисипацію в 3 і 8 разів відповідно, розмір зон пониженого тиску – в 2-30 разів. Зважаючи на значну довжину таких спойлерів актуальною є розробка нового способу зменшення аеродинамічного опору автопотягу, який би не потребував збільшення його довжини.

Ключові слова: сидельний автопотяг, задній спойлер, аеродинаміка, чисельне моделювання.

OLEXANDR MIKHAILOVICH PILIPENKO, OLEXANDR VICTOROVICH BATRACHENKO

Cherkassy State Technological University

IGOR MIKOLAEVYCH LITOVCHENKO

National University of Food Technologies

STUDY OF AERODYNAMIC PROPERTIES REAR SPOILERS SEMI-TRUCKS

One important factor to improve fuel economy Heavy and long vehicles is the reduction of aerodynamic drag. The largest share of the total drag is reduced pressure zone behind the trailer. To improve aerodynamics producers are invited to apply rear spoilers. According to the results of numerical modelling, design rear spoiler materially affect its aerodynamics and the aerodynamic drag truck Heavy and long vehicles. Have high effectiveness that is spoilers with sufficient length. So the spoilers with a length of 1.8 m and 5.45 m reduce turbulent dissipation in 3 and 8 times, respectively, the size of the zones of reduced pressure – in times 2-30. Despite the considerable length of these spoilers is urgent to develop a new method for reducing the aerodynamic drag of the combination, which would not need to increase its length.

Keywords: truck, semi-trailer, aerodynamics, simulation.

Вступ

В сучасних умовах підвищення вартості пального та прийняття більш жорстких екологічних норм в розвинених країнах світу висуває вимогу зменшення споживання пального автотранспортом. Особливо гостро ця проблема постає для автопотягів, яким властиві значні енергоємність та дальність перевезень.

Одним з важливих факторів покращення паливної економічності автопотягів (насамперед, сидельних тягачів з напівпричепами) є зниження їх аеродинамічного опору. Так, згідно з [1] частка аеродинамічного опору в загальних енерговитратах на рух при швидкості автопотягу 70 км/год (20 м/с) сягає 50%, а при швидкості 100 км/год (28 м/с) сягає 2/3. Загальний аеродинамічний опір автопотягу складається з цілої низки чинників [2]. Найбільшу частку загального аеродинамічного опору складають лобовий опір кабіни і напівпричепа, а також зона розрідження (ЗР) позаду напівпричепа. Ефективні рішення зі зменшення ЗР позаду напівпричепа, які придатні до практичного використання, відсутні, хоча їх відомо значну кількість. Технічні рішення, спрямовані на зменшення ЗР, так чи інакше передбачають створення плавної зміни форми напівпричепа в задній його частині з метою зменшення відриву потоку повітря та зменшення утвореної зони турбулентності.

Виробником [3] пропонуються до використання задні спойлери напівпричепів, які виконані у вигляді надувних конструкцій, що розташовані на металевому каркасі. Поверхня спойлера дозволяє забезпечити поступове звуження призматичної поверхні кузова причепа, чим зменшується його аеродинамічний опір. Недоліком такої будови спойлеру є недостатня його ефективність, значна довжина та складність експлуатації. Інші виробники, наприклад [4], пропонують складні спойлери, які виконані у вигляді листів, що утворюють призматичну конструкцію. Такі спойлери мають зменшену довжину і за даними виробників дозволяють економити до 3,5% палива. Схожий підхід, але більш детально технічно опрацьований, представлено Mercedes-Benz Aerodynamics Trucks у будові напівпричепа «Aero trailer». Виробник застосував [5] комплекс заходів зі зменшення аеродинамічного опору, що дало змогу його зменшити на 18%, при цьому досягається 8% економія пального.

Застосування задніх спойлерів має суттєве обмеження. Такі пристрої на даний час можуть бути широко застосовані лише в США, Австралії та інших країнах, устрій доріг яких обумовлює значний вільний простір для маневру. В Європейському ж союзі діють стандарти, які не дозволяють збільшувати довжину автопотягу понад 18 м. При цьому стає неможливим застосування навіть найкоротших спойлерів.

Задні спойлери здатні лише частково вирішити проблему зменшення ЗР позаду напівпричепа. Найбільше зниження аеродинамічного опору, в тому числі і за рахунок зменшення ЗР позаду напівпричепа, досягається в концепт-карі «Krone AeroLiner» німецької фірми MAN [1]. Спеціальним чином модифікована форма кабіни напівпричепа, заміна дзеркал заднього виду на відеокамери та надання кузову напівпричепа яскраво вираженої обтічної форми дозволяє заощаджувати до 25% пального. Однак такий напівпричеп має зменшений корисний об'єм внутрішнього простору при незмінному загальному об'ємі. Це пояснюється тим, що більшість вантажів в сучасних умовах формуються в так звані вантажні одиниці, які мають значний та

незмінний габарит. Об'єм кузова таких напівпричепів може бути повністю використаний лише при завантаженні мілким вантажем із малою питомою вагою. Для такого напівпричепу стає неможливим завантаження і розвантаження автотранспортом з боку дверей, що є необхідним при роботі з рампи.

Як слідує з наведеного вище, задні спойлери мають низку недоліків, в той час як проблема зниження аеродинамічного опору сидельних автопотягів є актуальною. Для обґрунтованої оцінки ефективності застосування задніх спойлерів та доцільності розробки нових пристроїв зі зменшення аеродинамічного опору необхідно дослідити аеродинамічні властивості задніх спойлерів.

Аналіз публікацій

В попередній роботі авторами наведено результати чисельного моделювання аеродинаміки сидельного автопотягу, при чому особливу увагу присвячено зоні позаду напівпричепу. Однак ефективність задніх спойлерів не досліджувалась. В роботі [6] представлено результати експериментальних досліджень аеродинамічних властивостей задніх спойлерів, а в роботі [7] наведено результати їх чисельного моделювання. Автори [8] дослідили вплив використання заднього спойлеру на обтікання повітрям напівпричепу. Однак в роботі наведено лише результати визначення тиску позаду напівпричепу, причому для спойлеру однієї довжини. Це не дозволяє ґрунтовно оцінити аеродинамічні явища, що виникають при використанні задніх спойлерів. Актуальним є дослідження швидкості повітряного потоку, його тиску та інтенсивності турбулентності в зоні позаду напівпричепу при використанні задніх спойлерів.

Метою статті є дослідження аеродинамічних властивостей задніх спойлерів сидельних автопотягів шляхом чисельного моделювання процесу обтікання потоком повітря магістрального автопотягу та визначення особливостей розподілення швидкості, тиску та зон турбулентності повітря навколо них для створення передумов оцінки ефективності відомих та запропонованих технічних рішень зі зниження аеродинамічного опору автопотягів.

Основний розділ

Моделювання проводилось із використанням програмного комплексу FlowVision. Він призначений для розрахунку гідро- та газодинамічних задач (разом зі зв'язаними процесами тепло- і масопереносу) в широкому діапазоні чисел Рейнольдса в довільних тривимірних областях. Базовими в програмі є рівняння Нав'є-Стокса, рівняння нерозривності потоку, рівняння турбулентної в'язкості. Крім того, в модель входять рівняння для турбулентної енергії і швидкості дисипації турбулентної енергії. В даній роботі в ході моделювання була використана k-ε модель турбулентної течії в'язкої рідини з невеликими змінами густини при великих змінах числа Рейнольдса. Чисельне інтегрування рівнянь за просторовими координатами проводилось з використанням прямокутної адаптивної локально подрібненої сітки. Такий підхід забезпечує можливість при вирішенні завдань провести адаптацію сітки до особливостей геометрії поблизу кордонів. У розрахунку були використані наступні параметри: густина повітря $1,2 \text{ кг/м}^3$; температура $t=20^\circ\text{C}$; швидкість набігаючого повітря 25 м/с (даний режим відповідає руху автопотягу зі швидкістю 90 км/год).

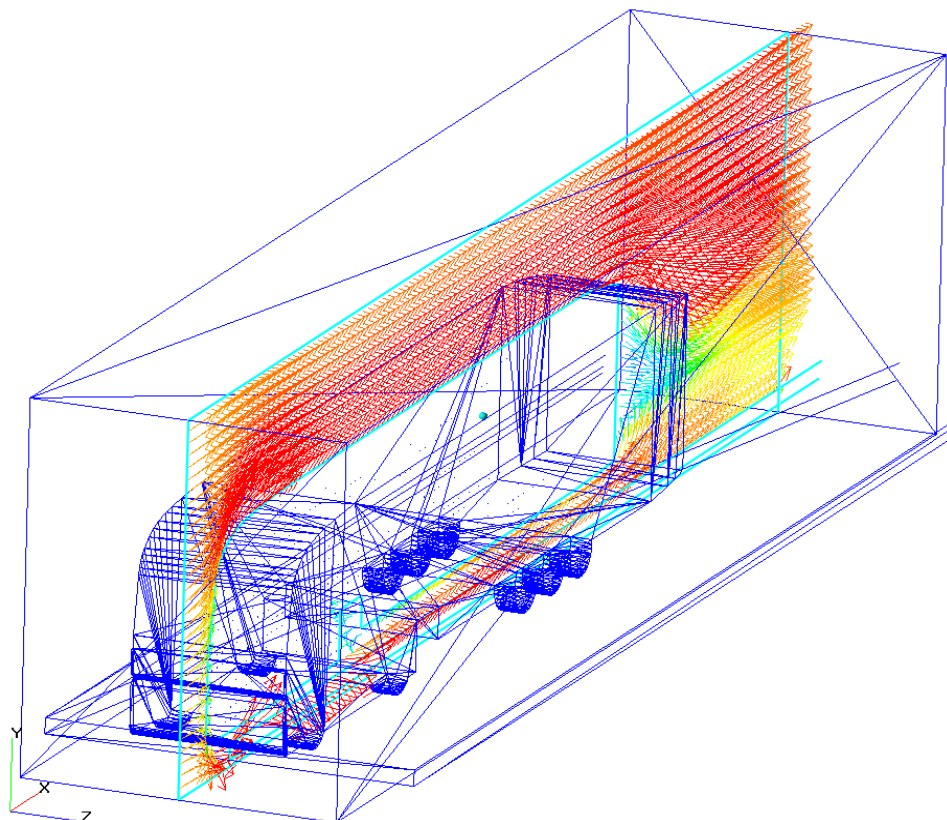


Рис. 1. Розподілення швидкості повітряного потоку (у вигляді векторів) при обтіканні автопотягу

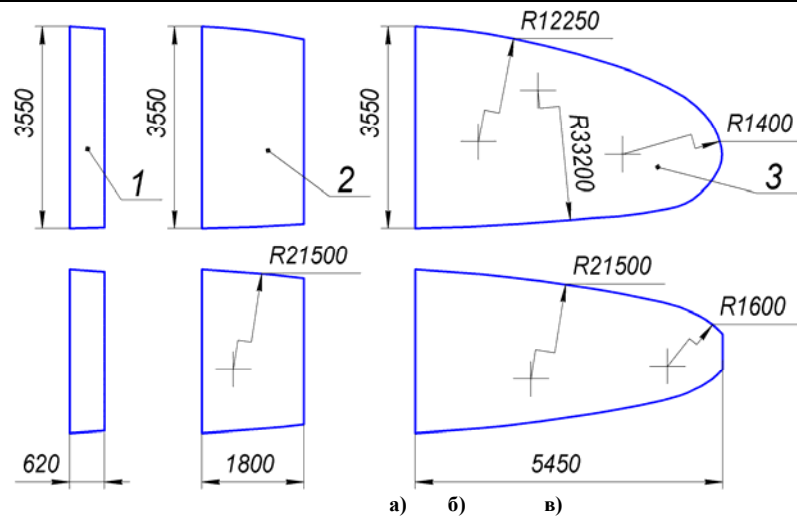


Рис. 2. Види конфігурацій спойлерів (вид збоку та вид зверху, розміри наведено в мм): а) №1; б) №2; в) №3

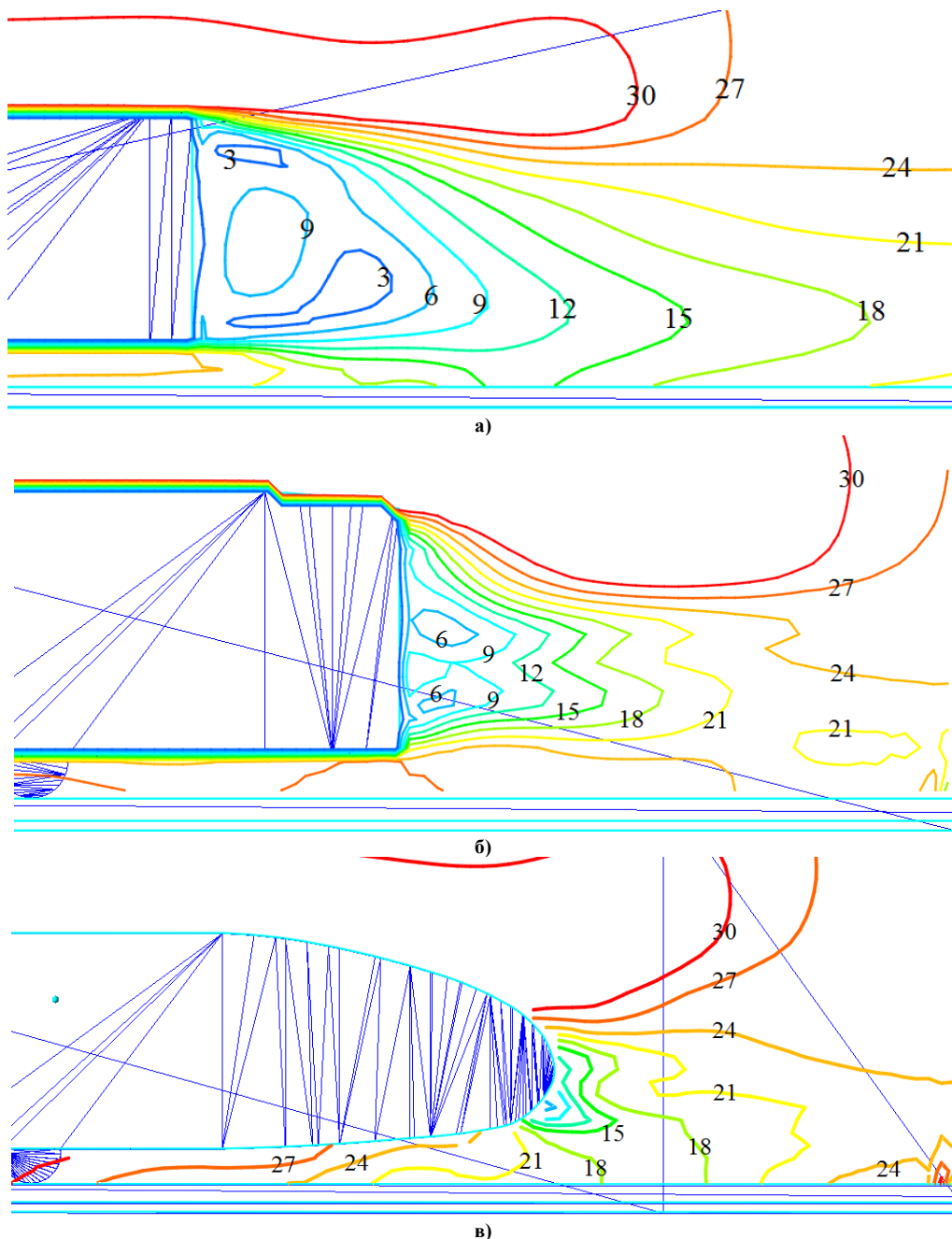


Рис. 3. Розподілення швидкості повітряного потоку у вертикальному середньому повздовжньому перетині позаду напівпричепа, м/с (у вигляді ізоліній): а) для спойлеру №1; б) для спойлеру №2; в) для спойлеру №3

В ході досліджень використана 3D-модель автопотягу марки «IVECO New Stralis XP», який має довжину 17 м (рис. 1). Досліджувались аеродинамічні властивості задніх спойлерів (далі – спойлерів) трьох типів конфігурацій (рис. 2), з яких спойлер №1 відповідає рішенням виробника [5], спойлер №2 – рішенням виробника [4], а спойлер №3 – близький до конструктивного вирішення напівпричепа концепт-кара «Krone AeroLiner» [1]. Візуалізацію результатів моделювання наведено на рис. 3–5, числові данні – в табл. 1.

Як свідчать результати чисельного моделювання, конструкція заднього спойлеру суттєвим чином впливає на його аеродинамічні властивості та на аеродинамічний опір сидельного автопотягу. При використанні спойлеру №1 позаду автопотягу наявні протяжні зони з пониженою швидкістю повітряного потоку (3–9 м/с). По відношенню до напівпричепа стандартної будови (без заднього спойлеру) площа зони зі швидкістю 3 м/с зменшена до 25%, що вказує на зменшення аеродинамічного опору напівпричепа. В той же час зони зі швидкостями 12–24 м/с збільшені на величину від 341% до 187%, що також свідчить про більш поступове огинання повітряним потоком напівпричепа і про зменшення його аеродинамічного опору. При використанні спойлеру №2 зони зі швидкостями повітря 3–12 м/с суттєво зменшені (до 4–51% по відношенню до напівпричепа стандартної будови та в 3–8 разів по відношенню до спойлеру №1). При цьому зони зі швидкістю 21–24 м/с збільшені по відношенню як напівпричепа стандартної будови, так і спойлеру №1. При використанні спойлеру №3 зона зі швидкістю 3 м/с майже відсутня, а зони з швидкістю 6–12 м/с зменшені до 3–18% по відношенню до напівпричепа стандартної будови та в 3–4 рази по відношенню до спойлеру №2.

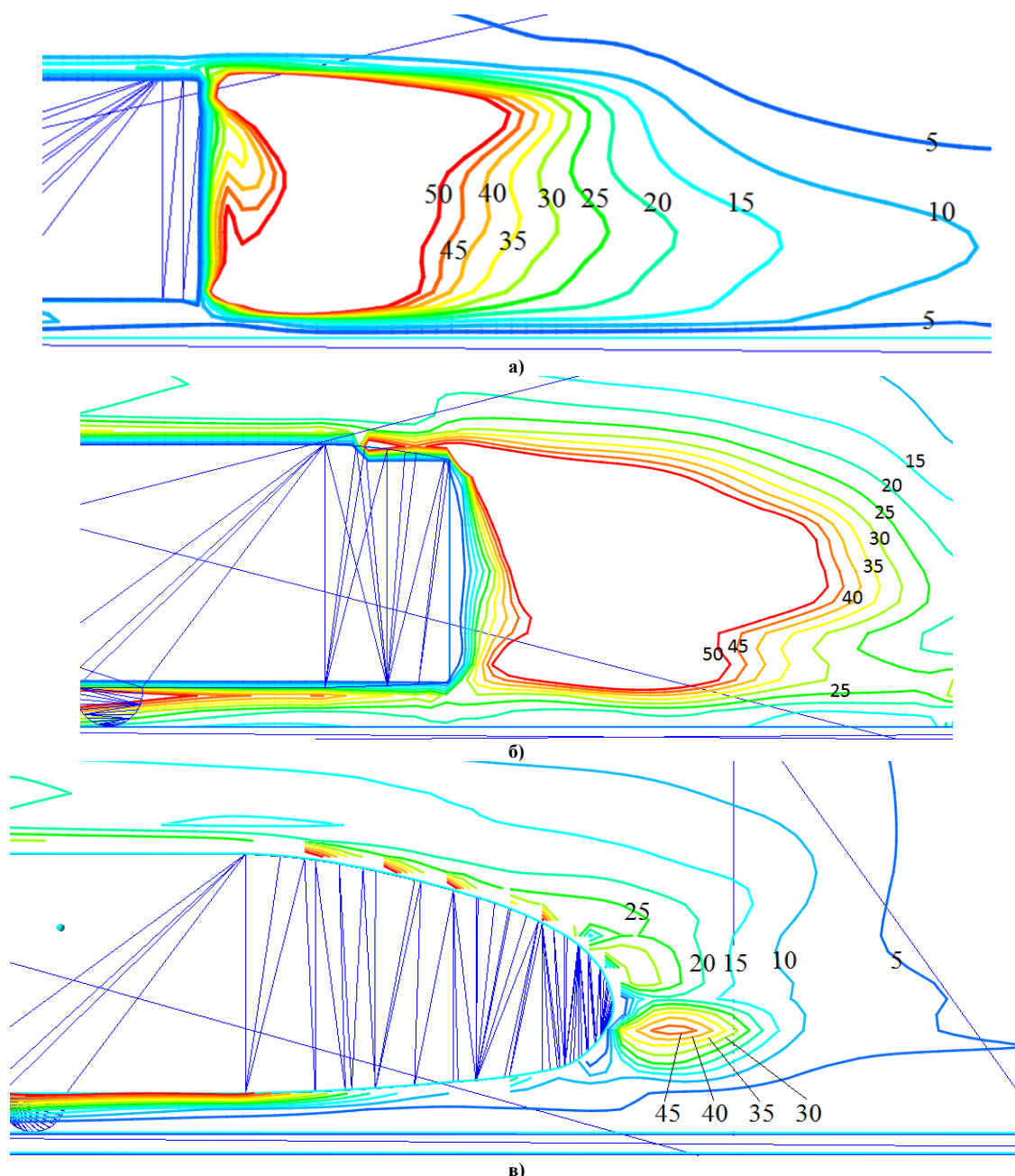


Рис. 4. Розподілення турбулентної дисипації навколо автопотягу, одиниць (у вигляді ізоліній): а) для спойлеру №1; б) для спойлеру №2; в) для спойлеру №3

Аналогічним чином змінюється і турбулентна дисипація. При використанні спойлеру №1 значення турбулентної дисипації зменшуються приблизно у 4 рази по відношенню напівпричепа стандартної будови. При цьому перехід від спойлеру №1 до спойлеру №2 дозволяє зменшити турбулентну дисипацію в 2–4 рази, а перехід до спойлеру №3 додатково її зменшити в 1,5–2 рази. Це свідчить про ефективне зниження енерговитрат на утворення вихрів при русі автопотягу.

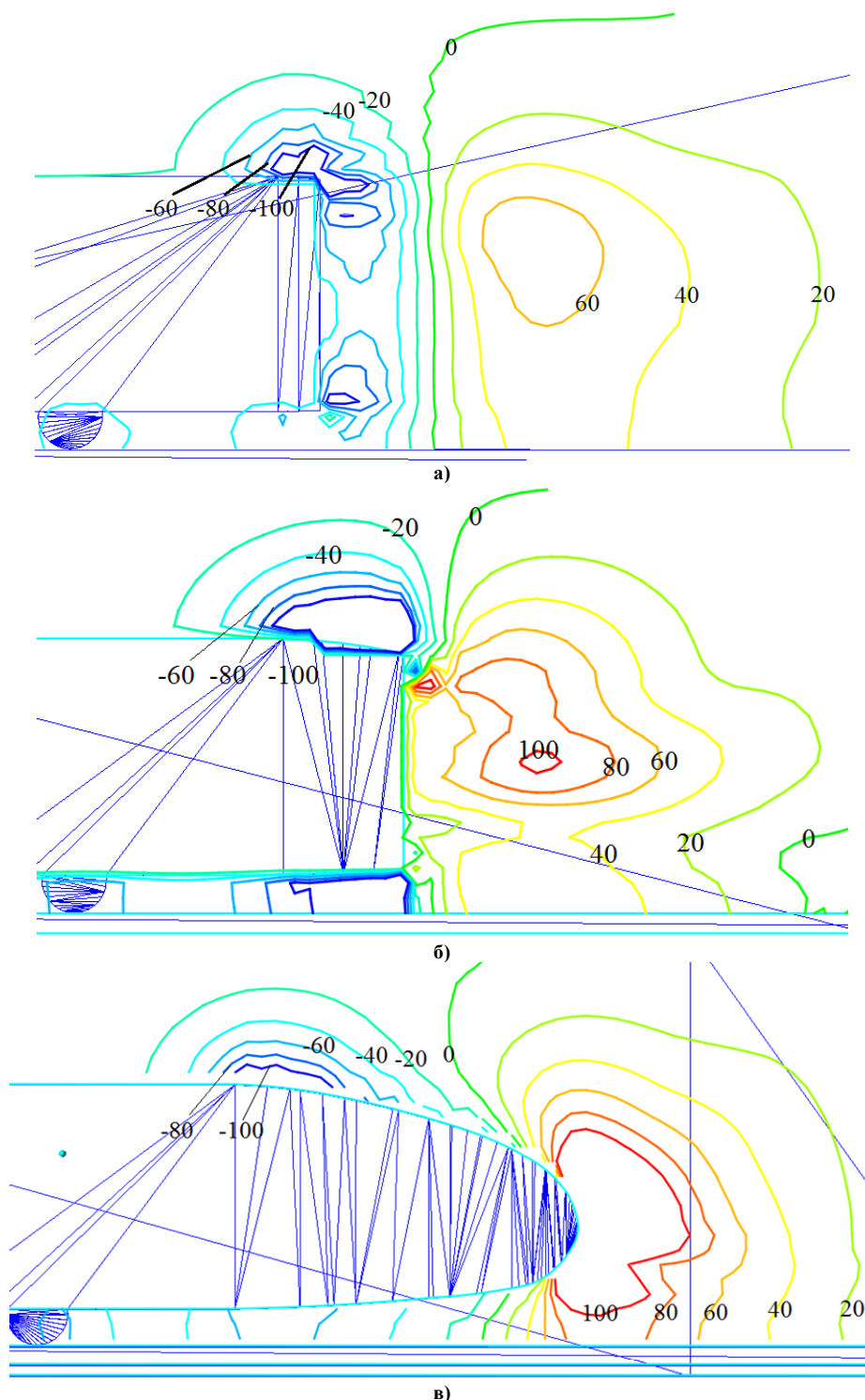


Рис. 5. Тиск повітря на поверхню автопотягу при його обтіканні, Па:
а) для спойлеру №1; б) для спойлеру №2; в) для спойлеру №3

Застосування спойлерів значним чином впливає на тиск повітря позаду напівпричепа. Так при спойлері №1 зони з від'ємним тиском зменшуються до 34–94% по відношенню до напівпричепа стандартної будови. При спойлері №2 розмір таких зон додатково зменшується в 2–22 рази, а при спойлері №3 до 1,5 разів по відношенню до спойлера №2. Натомість розмір зон з додатним тиском повітряного потоку (0–100 Па) суттєвим чином збільшується.

Таблиця 1

Порівняння результатів моделювання аеродинамічних властивостей спойлерів

Вид параметру та його значення		Площа характерної зони (відповідно до рис. 3–5) в порівнянні з напівприцепом стандартної будови, %		
		спойлер №1	спойлер №2	спойлер №3
Швидкість, м/с	3	25	4	1
	6	99	9	3
	9	107	39	9
	12	341	51	18
	15	342	201	81
	18	242	258	182
	21	188	392	145
	24	176	623	67
	27	185	208	76
	30	40	191	151
Турбулентна дисипація, одиниць (в 4 рази менша в порівнянні з напівприцепом стандартної будови)	15	46	11	37
	20	87	9	75
	25	47	12	43
	30	38	12	11
	35	136	64	39
	40	213	137	72
	45	211	111	13
	50	231	382	-
Тиск, Па	-100	34	17	10
	-80	35	6	4
	-60	44	2	3
	-40	94	99	263
	-20	87	10	57
	0	91	468	54
	60	880	16300	2208
	80	117	19716	2517
	100	108	2175	38250

Висновки

Застосування задніх спойлерів дозволяє ефективно зменшити аеродинамічний опір напівприцепу. При цьому найбільшу ефективність показали спойлер №3 та спойлер №2, довжина яких 5,45 м і 1,8 м відповідно. Спойлер №1 (довжиною 0,68 м) дозволяє знизити аеродинамічний опір лише частково.

Високою ефективністю володіють саме спойлери з достатньою довжиною. Спойлери довжиною 1,8 м та 5,45 м дозволяють зменшити турбулентну дисипацію в 3 і 8 разів відповідно, розмір зон пониженого тиску – в 2–30 разів. Зважаючи на значну довжину таких спойлерів актуальною є розробка нового способу зменшення аеродинамічного опору автопотягу, який би не потребував збільшення його довжини.

Література

1. Промисловий каталог фірми «MAN Truck & Bus AG» [Електронний ресурс]. – Німеччина, 2016. – Режим доступу : www.mantruckandbus.com.
2. Евграфов, А.Н. Аэродинамика автомобиля / А. Н. Евграфов. – М. : МГИУ, 2010. – 356 с.
3. Промисловий каталог фірми «AeroVolution» [Електронний ресурс]. – США, 2016. – Режим доступу : www.aerovolution.com.
4. Промисловий каталог фірми «STEMCO Ip» [Електронний ресурс]. – США, 2016. – Режим доступу : www.stemco.com.
5. Промисловий каталог фірми «Mercedes-Benz Daimler AG» [Електронний ресурс]. – Німеччина, 2016. – Режим доступу : www.mercedes-benz.com.
6. Rose McCallen. DOE's Effort to Reduce Truck Aerodynamic Drag through Joint Experiments and Computations / Rose McCallen et al. [Електронний ресурс]. – США, 2006. – Режим доступу : www1.eere.energy.gov.
7. Belzile Marc. Review of Aerodynamic Drag Reduction Devices for Heavy Trucks and Buses. Technical Report / Marc Belzile [Електронний ресурс]. – Канада, 2012. – Режим доступу : www.tc.gc.ca.
8. Андрейчик А. Ф. Влияние заднего спойлера полуприцепа на общее аэродинамическое сопротивление седельного автопоезда / А. Ф. Андрейчик и др. // Механика машин, механизмов и материалов. – 2014. – № 2. – С. 30–33.

Отримана/Received : 27.11.2014 р.

Надрукована/Printed : 8.6.2017 р.

Рецензент: к.т.н., доц. Рубан Д.П.

КАК РАСШИРИТЬ ТЕХНИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН COROCUT-3, MULTICUT 4 И PENTACUT В ОТРЕЗНЫХ РЕЗЦАХ

Анализ многогранных неперетачиваемых пластин CoroCut-3, MultiCut 4 и PentaCut для сборных отрезных резцов показал, что их технические возможности по радиусу отрезки ограничены величиной 6–10 мм, что связано с боковым их креплением винтом к головке державки резца. Для устранения указанного недостатка предложено заменить боковое крепление данных пластин их боковой установкой на базе патента на изобретение РФ № 2366542. При этом достаточно устранить шлифовкой боковой крепежный выступ, что позволяет увеличить радиус отрезки до 24 мм, а производителям данных пластин рекомендуется изготавливать их без бокового крепежного выступа и отверстия, с боковой установкой пластин в адекватной их форме гнезде резца с прижимом ее прихватом сверху или П-образным корпусом.

Ключевые слова: многогранные неперетачиваемые пластины бокового крепления и установки.

V.A. NASTASENKO

Kherson State Maritime Academy, Ukraine

THE WAYS OF IMPROVING TECHNICAL CAPABILITIES OF CUTTING PLATES COROCUT-3, MULTICUT 4 AND PENTACUT IN CUTOFF BLADES

The analysis of multi-faceted disposable cutting plates CoroCut-3, MultiCut 4 and PentaCut for assembled cut-off blades showed that their technical capabilities according to cutting radius are limited by the value of 6 to 10 mm, which is connected with their side screw fastening to the tool holder head. In order to eliminate the above mentioned disadvantage it is proposed to replace the side screw fastening of those plates by their side mounting on the basis of the invention patent RU № 2366542. Herewith it is sufficient to eliminate side fastening bulge by means of grinding, which allows increasing cutting radius to 24 mm, and for the producers of such plates it is recommended to manufacture them without the side fastening bulge and hole, with their side mounting in cut-off blade slot adequate to their shape with their pressing by upper clamping or U-shaped housing.

Key words: multi-faceted disposable cutting plates of side fastening and mounting.

Введение. Связь работы с основными научными направлениями. Работа относится к сфере режущих инструментов, в частности – к сборным отрезным резцам, оснащенным многогранными неперетачиваемыми пластинами (МНП) из твердых сплавов.

Актуальность и практическая значимость работы. В настоящее время твердосплавные инструментальные материалы в виде МНП с механическим креплением на корпусе, относятся к наиболее прогрессивным для оснащения режущих инструментов [1, 2]. Для отрезных резцов МНП широко применяют все известные мировые производители режущего инструмента (фирмы): SANDVIK COROMANT, ISCAR, HORN, TAEGUTEC, MITSUBISHI и др. [3–8]. Ими разработан ряд основных конструкций 3-, 4- и 5-гранных пластин (рис. 1), в которых реализован принцип их бокового крепления винтом к головке резца. При этом используемые варианты крепления пластин ограничивают возможности по радиусу отрезки величиной вылета вершины их рабочей части, которая составляет от 6,5 до 10 мм.

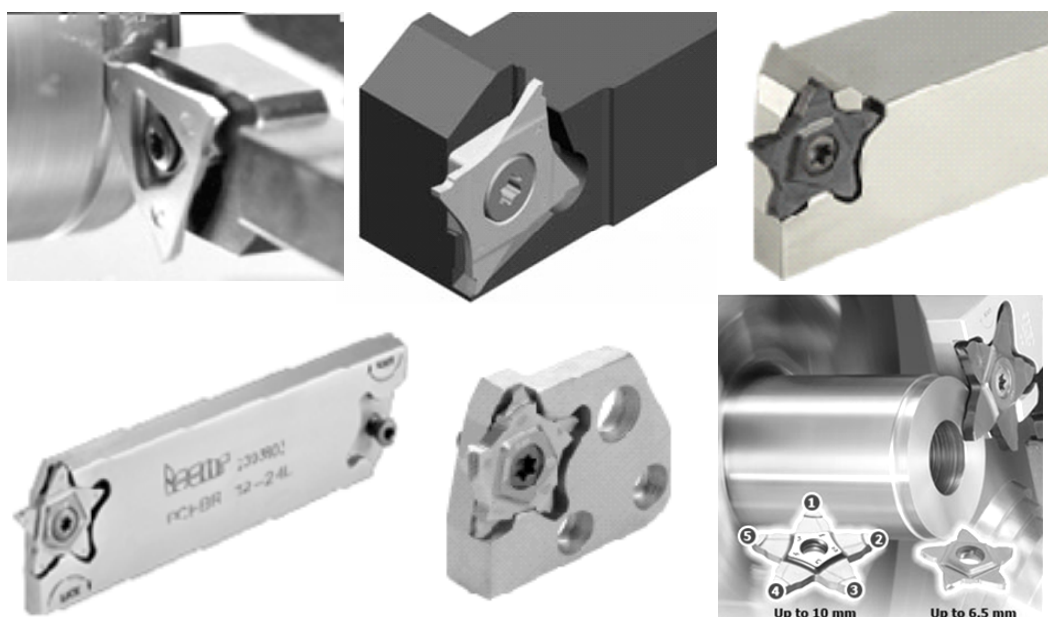
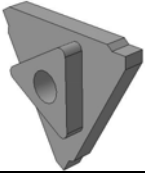
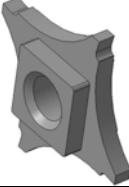


Рис. 1. Основные конструкции сборных отрезных резцов ведущих мировых фирм с механическим боковым креплением многогранных неперетачиваемых пластин и технические возможности их применения

Основные конструктивные и геометрические параметры данных МНП, определяющие технологические возможности их применения по радиусу отрезки, показаны в таблице 1.

Таблица 1

Основные конструкции многогранных неперетачиваемых режущих пластин для сборных отрезных резцов ведущих мировых производителей, фирм SANDVIK COROMANT и ISCAR

Обозначение	Рисунок	Максимальный радиус отрезки, мм	Максимальный размер пластины, мм	Количество режущих кромок	Масса пластины, $\times 10^{-3}$ кг
CoroCut 3 (SANDVIK COROMANT)		6,4	24	3	12,66
MultiCut 4 (ISCAR)		6,5	24	4	15,11
PentaCut (ISCAR)		6,5	24	5	8,59
		10	40	5	14,32

Базовые МНП имеют присоединительный выступ в их центральной части, который используется как установочная и базирующая поверхность, для чего в гнезде резца выполняют выемку, адекватную этому выступу. Незначительный радиус отрезки является существенным недостатком известных МНП и оснащаемых ими отрезных резцов. Устранение этого недостатка для пластин CoroCut 3, MultiCut 4 и PentaCut, принятых базовыми в выполняемой работе, составляет ее *главную цель*.

Научная новизна работы заключается в технико-экономическом обосновании наиболее простого пути совершенствования МНП и оснащаемых ими отрезных резцов, что позволяет расширить их функциональные возможности по радиусу отрезки, с расширением номенклатуры отрезаемых заготовок при токарной обработке.

Решение данной проблемы является актуальным и имеет большое практическое значение для дальнейшего развития отрезных резцов и режущих инструментов в целом.

Разработка простейшего пути совершенствования базовых МНП и оснащаемых ими отрезных резцов и его технико-экономическое обоснование

Исходным для дальнейшего усовершенствования принят путь боковой установки МНП в отрезных резцах, предложенный в патенте на изобретение Российской Федерации № 2366542 [9]. Его главной особенностью является установка пластин на боковую сторону в гнезде, адекватном наружной поверхности МНП и зажим их сверху прихватом, или упругим прижимом, или накладным П-образным корпусом. Основные конструктивные исполнения предлагаемых МНП и оснащаемых ими отрезных резцов показаны на рис. 2.

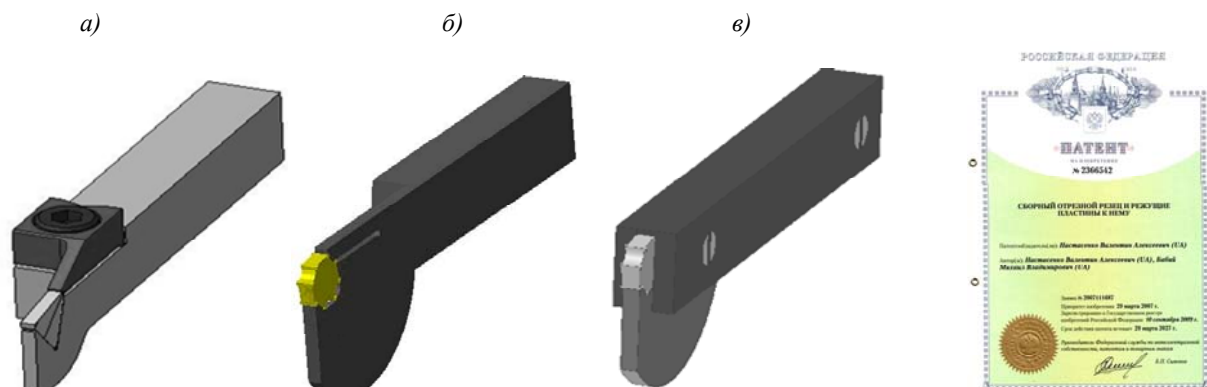


Рис. 2. Основные конструктивные исполнения предлагаемых МНП и оснащаемых ими отрезных резцов по патенту на изобретение РФ № 2366542: а) трехгранная пластина закрепленная прихватом, б) квадратная пластина закрепленная упругим прижимом, в) квадратная пластина закрепленная П-образным корпусом

При этом по боковой схеме [9] в П-образном корпусе возможно также выполнение пятигранной МНП типа PentaCut с установкой ее в гнезде специальной формы на основе исходной опорной планки (рис. 3), если уменьшить ее толщину до толщины пластины и исключить у пластины выступающие участки.

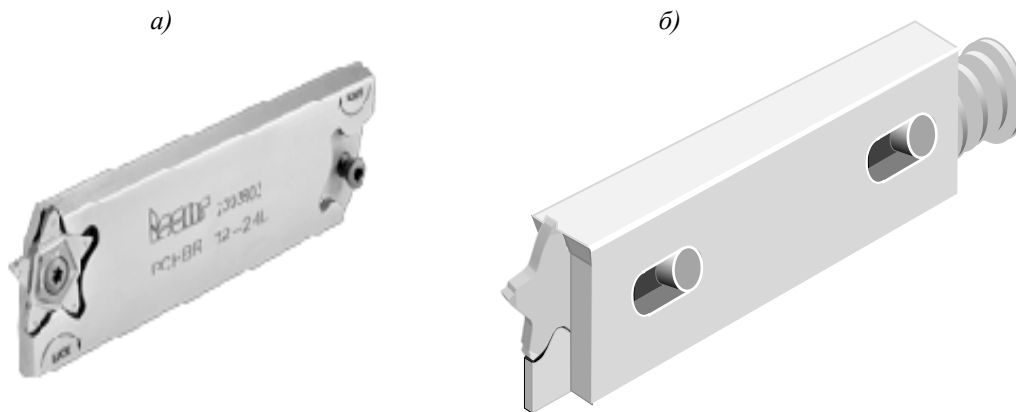


Рис. 3. Создание усовершенствованного отрезного резца (б) на базе исходной конструкции (а) с опорной планкой и пластиной

Выполнение подпружиненной подвижной опорной планки на ее пятке, с фиксацией ее продольного хода штифтами в боковых пазах, позволяет автоматизировать смену МНП в перерывах процесса обработки. Таким образом, простейший вариант усовершенствования базовых МНП возможен при исключении присоединительных выступов в их центральной части и боковой установке их в гнездо на головке резца или в опорной планке, имеющей форму, которая адекватна форме наружной поверхности МНП и служащей установочной и базировочной поверхностью в данных конструкциях. При этом нет необходимости в выполнении отверстия в МНП, что упрощает пресс-формы для их спекания и уменьшает стоимость пластин на 15–20%, поскольку уменьшится масса составляющего их дорогостоящего инструментального материала. Такое же новое исполнение МНП типа CoroCut 3, MultiCut 4 и PentaCut возможно для отрезных резцов с прихватами и упругими прижимами.

Экономическая эффективность предлагаемых конструкций МНП и резцов определяется расширением их функциональных возможностей за счет увеличения радиуса отрезки с 6,5 до 24 мм, а также за счет экономии инструментального материала и упрощения пресс-форм для спекания пластин. При этом затраты на усовершенствования минимальны, по сравнению с базовыми вариантами исполнения МНП CoroCut 3, MultiCut 4 и PentaCut и отрезных резцов для их применения.

Кроме перечисленных пластин в отрезных резцах боковой установки возможно также использование стандартных МНП (ГОСТ 19043-80...ГОСТ 19081-80) широко применяемых для проходных и подрезных токарных резцов, дисковых и торцовых фрез [10–12]. При этом исходный переходный радиусный участок r у вершин данных МНП уменьшается с $r \geq 0,2$ мм до $r' \leq 0,01$ мм за счет дополнительной заточки лысок (рис. 4), что сводит их к новому виду – боковым многогранным неперетачиваемым пластинам (БМНП), отличительной особенностью которых является выполнение режущих кромок на боковых ребрах пластин. При этом у БМНП для отрезных резцов при прессовании дополнительно формируют вогнутости на боковых сторонах, обеспечивающие боковые задние углы (рис. 5).

Дополнительную заточку вершин у пластин типа CoroCut 3, MultiCut 4 и PentaCut для отрезных резцов выполняют все их производители: Sandvik Coromant, Iscar, Horn, Taegutec, Mitsubishi и др. [3–8], поэтому по сравнению с ними трудоемкость и себестоимость изготовления предлагаемых БМНП не повышается. При заточке лысок под углом $\xi = 90^\circ$ ко второй боковой поверхности пластин исключается появление растягивающих напряжений и изгибающих моментов на режущих кромках, что благоприятно для твердых сплавов, но при этом формируется отрицательный передний угол γ , равный величине заднего угла α (рис. 6).

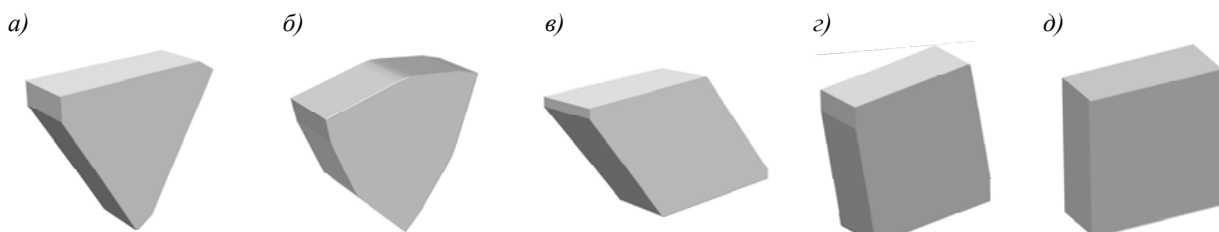


Рис. 4. Заточка лысок на вершинах пластин стандартного типа: а) трехгранных, б) шестигранных неправильной формы, в) ромбических с углом профиля 55° , г) ромбических с углом профиля 80° , д) квадратных

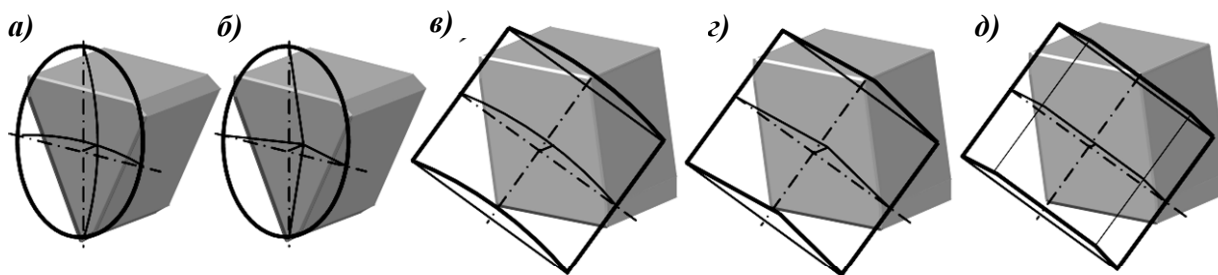


Рис. 5. Конструктивные исполнения боковых сторон БМНП для отрезных резцов с вогнутыми впадинами на боковых сторонах: а) сферическими; б) коническими; в) цилиндрическими; г) угловыми, д) трапециевидальными

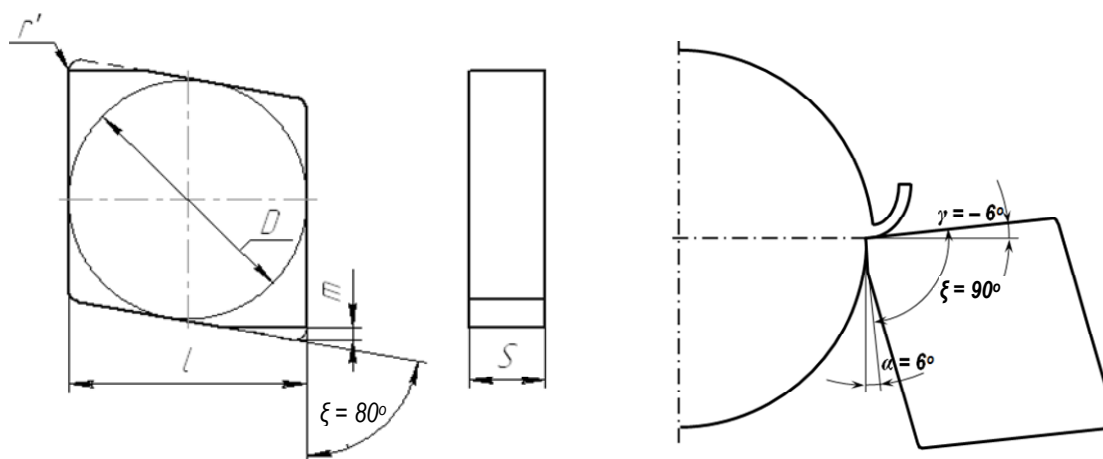


Рис. 6. Схема установки БМНП с лысками на вершинах и срезание стружки

При обработке мягких материалов возможно уменьшение угла сопряжения боковых режущих кромок до $\xi = 80^\circ$, что позволяет выполнить установку БМНП в инструментах с нулевым или незначительным (до 5°) передним углом. При обработке материалов высокой твердости возможно выполнение лысок под углом $\xi = 95 \dots 96^\circ$, но при этом возрастает отрицательный передний угол γ до $-11 \dots -12^\circ$.

Таким образом, предлагаемые БМНП обеспечивают все требуемые условия резания.

Выводы

1. Известные исполнения многогранных неперетачиваемых пластин типа CoroCut 3, MultiCut 4, PentaCut и др., имеют боковое крепление их винтом через центральное отверстие и боковую присоединительную часть к головке отрезного резца, что ограничивает радиус отрезки заготовок до 6,5–10 мм.
2. При устранении боковой присоединительной части у пластин CoroCut 3, MultiCut 4, PentaCut и др. и боковой установке их в гнезде на головке отрезного резца с зажимом сверху прихватом, или упругим прижимом, или П-образным корпусом, радиус отрезки увеличивается до 24 мм, что расширяет технологические возможности их применения.
3. Экономические показатели изготовления предлагаемых пластин повышаются до 20% за счет упрощения пресс-форм для их спекания и уменьшения объема составляющего их инструментального материала.
4. Изготовление БМНП боковой установки возможно на базе стандартных пластин ГОСТ 19043-80...ГОСТ 19081-80 при удалении формируемых при прессовании переходных радиусных участков у вершин на ребрах пластин за счет дополнительной заточки лысок после изготовления их производителем.
5. У БМНП для отрезных резцов необходимо также формирование вогнутых боковых поверхностей для формирования боковых задних углов.

Литература

1. Иванов Ю. И. Оценка эффективности инструментов со сменными многогранными пластинами / Ю. И. Иванов, О. С. Законов // Станки и инструмент. – 2007. – № 6. – С. 7–12.
2. Бабій М. В. Еволюція канавкових та відрізних різців і перспективи їх розвитку / М. В. Бабій // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 5. – С. 120–126.
3. Сменные пластины и инструмент : каталог. – Sandvik Coromant, 2000. – 172 с.
4. Каталог продукции концерна «Sandvik Coromant». – Sandvik Coromant, 2015. – 126 с.
5. Каталог фирмы «ISCAR» [Электронный ресурс]. – 2010. – 29 с. – Режим доступа : <http://www.iscar.com>.
6. Каталог фирмы «HORN» [Электронный ресурс]. – 2010. – 40 с. – Режим доступа :

http://www.phorn.de/fileadmin/user_upload/de/PDF/PDF_DrehKataloge_de_en/KapitelH_312.pdf/

7. METALWORKING CUTTING TOOLS Shop version : katalog. – TaeguTec, 2008. – 188 p.

8. Токарный инструмент, вращающийся инструмент, инструментальные системы : общий каталог. – MITSUBISHI, 2006. – 206 с.

9. Патент Российской Федерации на изобретение № 2318634. Торцовая режущо-деформирующая фреза, способ обработки ими, рабочие пластины к ним и способ их изготовления / Настасенко В.А. Урсал К.Г. ; заявитель и патентообладатель Настасенко В.А. – № 2005110805/02 ; заявл. 13.04.05 ; опубл. 10.03.08, БИ № 7.

10. Настасенко В. А. Боковые многогранные неперетачиваемые пластины, как новый вид для оснащения отрезных резцов и сравнение их с мировыми аналогами / В. А. Настасенко // Резание и инструмент в технологических системах : междунар. науч.-техн. сб. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2016. – Вып. 86. – С. 111–119.

11. Настасенко В. А. Высокотехнологичные сборные отрезные и дисковые фрезы с многогранными неперетачиваемыми пластинами / В. А. Настасенко, В. В. Вирич // Актуальные вопросы и организационно-правовые основы сотрудничества Украины и КНР в сфере высоких технологий : материалы VII Международной научно-практ. конф. – К. : ЦНТЭИ, 2010. – С. 150–154.

12. Настасенко В. А. Торцовые режущие и режущо-деформирующие фрезы с боковыми многогранными неперетачиваемыми пластинами / В. А. Настасенко // Науковий вісник ЛНТУ України. – Львів : Національний лісотехнічний університет України, 2016. – Вип. 26.7 – С. 298–307.

Отримана/Received : 3.5.2017 р. Надрукована/Printed : 8.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Танская М.В.

УДК 621.9.025.6

И.В. БЛАХ

Херсонская государственная морская академия

НОВАЯ РАЗНОВИДНОСТЬ ТРЕХСТОРОННИХ ДИСКОВЫХ СБОРНЫХ ФРЕЗ И ИХ ЭКСПЛУАТАЦИЯ

В работе рассмотрены конструкции дисковых фрез с механическим креплением МНП, спекаемых из мелкозернистых и особо мелкозернистых порошковых материалов. Предложен способ эксплуатации трёхгранных неперетачиваемых пластин в режущем инструменте, в котором за счет технологических особенностей можно уменьшить работу резания и мощности на ее обеспечение.

Ключевые слова: многогранные неперетачиваемые пластины и способ их эксплуатации.

I.V. BLAH

Kherson State Maritime Academy

NEW VARIETY OF THREE-SIDED DISC ASSEMBLIES AND THEIR OPERATION

The work belongs to the area of toolroom production - in particular to interlocking side-and-face milling cutters equipped with multifaceted throw-away plates. It is shown that the known constructions have plates set in staggered order on right and left sides of the frame with a shift in relation to each other on 1...2 mm. In this case, opening width and volume of the metal cut from it is increased and cutting work and wear of plates is increased adequately. The new variant of plates' exploitation is offered with preliminary two times diminishing of their wear and successive transposition of plates with superposition of corners' wear; it allows to eliminate inter se shearing of plates and to decrease cut out width to the width of the plate. In case of billet cutting with such milling cutters, cut material is also saved.

Keywords: multifaceted unresharpenable plates and the way of their operation.

Введение. Анализ сборных фрез с многогранными неперетачиваемыми пластинами (МНП)

В настоящее время наиболее прогрессивным исполнением дисковых фрез из твердых сплавов и быстрорежущих сталей являются конструкции с механическим креплением МНП, спекаемых из мелкозернистых и особо мелкозернистых порошковых материалов, что исключает потребность их переточек [1–3].

Одним из таких исполнений дисковых фрез является конструкция фирмы Sandvik Coromant [4] – с механическим креплением МНП простых форм. Пример конструкция дисковой фрезы с универсальными квадратными МНП с боковыми задними углами и креплением их винтом через центральное отверстие показан на рис. 1.

Их недостатками являются: 1) неудобство крепления и замены пластин; 2) износ резьбовых отверстий в корпусе и возможность их поломок, что увеличивает расход корпусов, затраты на их приобретение и на операцию отрезки в целом; 3) радиальная установка пластин, что сводит ширину распила или формируемого паза к суммарной ширине пластины и ее сдвига (l и Δ на рис. 1) с наклоном в правую и левую сторону для исключения затирания ее боковых сторон в пазу. При использовании таких фрез для отрезки – увеличение ширины прорези ведет к увеличению объема превращаемого в стружку металла и адекватному увеличению работы резания и мощности, затрачиваемой на отрезку. Кроме этого, увеличивается расход металла в заготовках.

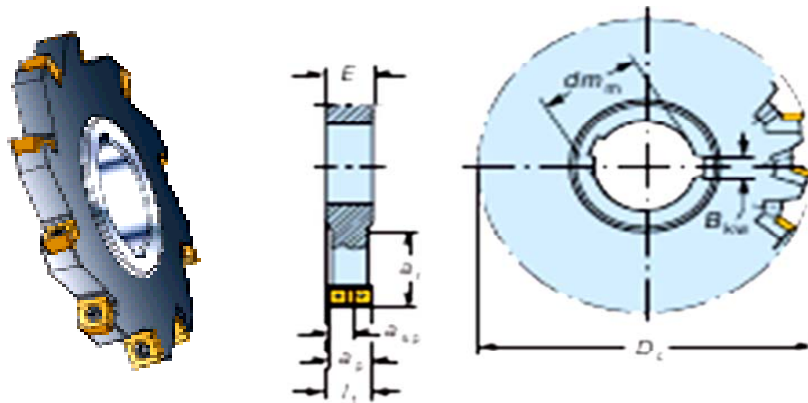


Рис. 1. Простейшая трехсторонняя дисковая фреза фирмы Sandvik Coromant с радиальной установкой универсальных МНП

Замена квадратных пластин треугольными обеспечивает формирование боковых задних углов и исключает их затирание в пазу при установке одной пластины при уменьшении ширины прорези до длины ее режущей кромки. Однако она проблематична, поскольку износ вершин парами – сокращает возможности ее переустановки до одной, а одна из вершин пластины – остается неизношенной, что увеличивает их расход.

Поэтому их также устанавливают попарно на правую и левую стороны с зазором Δ между ними, что ведет к увеличению ширины паза. Такие фрезы широко применяются в промышленном производстве [5], одним из примеров которых является разработанная Немецкой фирмой «Хайнлайн» конструкция трехсторонней фрезы с трехгранными МНП (рис. 2).

Фреза состоит из корпуса 1, на ступицах которого винтом 8 закреплены кольца 7. Конические поверхности колец 7, служащих базами под режущие пластины 2, выполняют с одной установки инструмента второго порядка, что значительно повышает точность их обработки. Введение открытых наклонных пазов в корпусе, служащих базами под МНП, значительно облегчает их обработку и повышает точность выполнения баз. Пластины 2 крепят клиньями 6 и винтами 5. Для устранения повреждений корпуса фрезы в случае поломки МНП, клинья располагают за режущими пластинами, что увеличивает объем стружечных канавок и частично устраняет пакетирование стружки между зубьями.

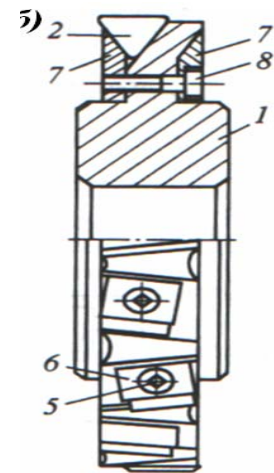


Рис. 2. Сборная дисковая фреза с открытыми базами для крепления МНП фирмы «Хайнлайн»

Главной целью данной работы является уменьшение ширины прорезаемого паза и повышение технико-экономических показателей трехсторонних дисковых фрез.

Научную новизну выполняемой работы составляет обоснование новых принципов уменьшения ширины прорези формируемой дисковыми отрезными фрезами и разработка на его базе наиболее простых конструкций многогранных неперетачиваемых пластин для их оснащения.

Поскольку уменьшение ширины прорезаемого паза при отрезке материалов (например, в каменоломнях) широко применяемыми трехсторонними дисковыми фрезами, ведет к снижению трудоемкости процесса за счет уменьшения работы резания и экономии разрезаемого материала, выполнение данной работы является актуальной и важной задачей, имеющей большое практическое значение.

Решение данной задачи достигается путём создания дисковых фрез, устраняющих необходимость разведения по сторонам трехгранных неперетачиваемых пластин и способа их эксплуатации в режущем инструменте, в котором за счет конструктивных и технологических особенностей можно было бы уменьшить ширину прорези и, соответственно ей, работу резания, затраты на неё электроэнергии и машинного времени, а также расход материала деталей, преобразовывающегося в стружку при резании.

Для решения этой задачи предлагается создание дисковой фрезы с радиальными неперетачиваемыми пластинами, имеющими трёхгранную форму, которые установлены симметрично к оси поперечного сечения фрезы, что обеспечивает возможность резания одновременно обеими вершинами, без сдвига пластин в шахматном порядке.

Основным путём улучшения условий эксплуатации предложенных фрез и пластин является определение общего времени резания до его достижения, или количества обрабатываемых при этом деталей, которые затем уменьшают вдвое, с соответствующим уменьшением реального износа пластин, после чего их последовательно разворачивают на одну грань и достигают полного износа одной из полуизношенных вершин, а затем повторяют этот процесс до полного износа всех вершин.

Последовательность реализации способа рассмотрим на примере дисковых фрез, у которых ширина паза резания равна ширине грани пластины (рис. 3). Пластины трехгранной формы 1 и неправильной шестигранной формы 2 имеет износ 3 по граням и вершинам 4.

На первом этапе определяют максимально допустимый износ пластины по данным их предварительной эксплуатации, или по реальным результатам проведения эксперимента, с соответствующей

фиксацией времени резания T_{max} до его достижения, или количество обрабатываемых при этом деталей. При этом T_{max} будет являться показателем стойкости режущих пластин.

После чего показатели уменьшают вдвое (например, уменьшаем рабочего времени $T_p = 0,5T_{max}$) и работают пластинами до износа двух ее вершин по этим показателям.

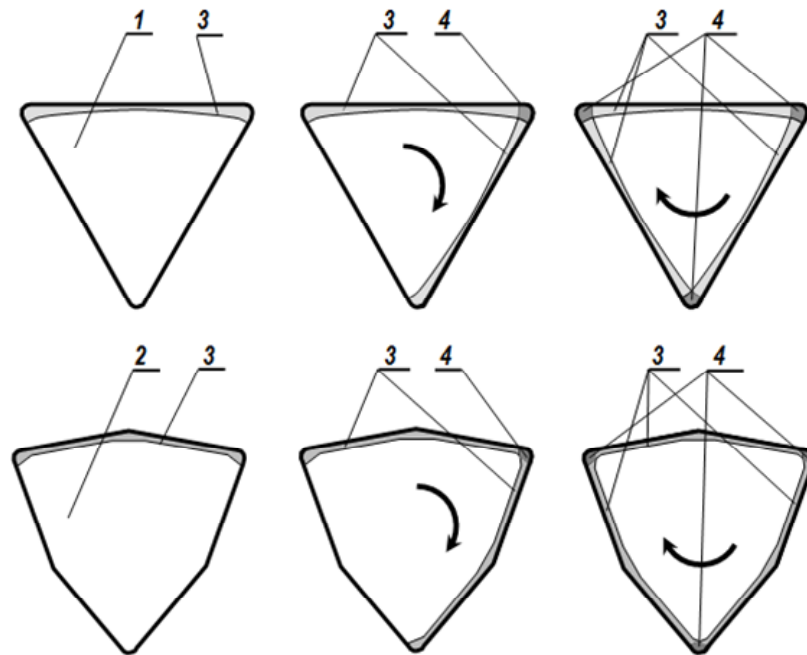


Рис. 3. Схема нового способа эксплуатации пластин

Далее пластинку разворачивают для установки ее на другую грань. При этом одна полуизношенная вершина выводится из работы, а другая остается и к ней добавляется парная ей неизношенная вершина.

В новом варианте установки пластины выполняется резание на протяжении второй половины рабочего времени до полного ее износа $T_p = 0,5T_{max}$, при этом полуизношенная вершина снашивается полностью, а новая – наполовину.

На следующем шаге разворачивают пластину с установкой ее на третью грань. При этом в работу вводятся две полуизношенные вершины, которые работают на протяжении второй половины рабочего времени до полного их износа $T_p = 0,5T_{max}$.

Таким образом, суммарное время полного износа всех вершин пластины за три переустановки составит $\Sigma T_p = 3 \times 0,5T_{max}$, то есть увеличивается в 1,5 раза.

Поскольку для таких дисковых фрез нет необходимости установки режущих пластин в шахматном порядке, то их начальное количество N на одну боковую сторону при формировании режущего паза фактически удваивается и достигает $2N$, с соответствующим уменьшением в 2 раза глубины резания t и толщины стружки, срезаемой вершинами пластин. При этом адекватно возрастет их стойкость T_{max} и суммарная стойкость фрезы.

Выводы

Преимуществом предлагаемых фрез по сравнению с базовыми является уменьшение ширины прорези до размеров грани пластины, что ведет к уменьшению работы резания и мощности на ее обеспечение, а также приводит к увеличению стойкости. Дополнительным преимуществом является упрощение конструкции фрез и технологии их изготовления и эксплуатации, что способствует их широкому внедрению.

Литература

1. Металлообрабатывающий твердосплавный инструмент : справочник / [В. С. Самойлов, Э. Ф. Эйхманс, В. Л. Фялковский и др.] – М. : Машиностроение, 1988. – 368 с.
2. Палей М. М. Технология производства металлорежущих инструментов : [учеб. пособие для студентов втузов, обучающихся по специальности «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты»] / М. М. Палей. – М. : Машиностроение, 1982. – 256 с.
3. Справочник конструктора-инструментальщика / [Баранчиков В. И., Боровский Г. В. и др.]. – М. : Машиностроение, 2006. – 524 с.
4. Каталог продукции концерна «Sandvik Coromant». – Sandvik Coromant, 2015. – 126 с.
5. Вирич В. В. Эволюция и перспективы развития дисковых отрезных фрез / В. В. Вирич // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 5. – С. 126–137.

Отримана/Received : 14.4.2017 р. Надрукована/Printed : 8.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Танская М.В.

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОДАЧІ М'ЯСНОЇ СИРОВИНИ ШНЕКОМ ВОВЧКА

В існуючих конструкціях вовчків наявний резерв підвищення питомої продуктивності. Сировина в кожний момент часу шнеком вовчка подається не по всій площі решітки різального вузла, а лише в межах певного сектору, з кутом менша за 180° . В роботі наведено результати чисельного моделювання гідродинаміки м'ясної сировини при її подачі шнеком вовчка. Встановлено, що тиск в сировині при її русі від бункера вовчка до різального вузла зростає нелінійно, ближчим відстаням до різального вузла відповідають вищі значення тиску в сировині. Шнекам із меншим кутом підйому витків ($4-7^\circ$) властиві більші максимальні значення відносної деформації сировини в зоні перед різальним вузлом та вищі середні значення відносної деформації, які виміряні в площині, перпендикулярній до вісі шнеку. Результати моделювання підтверджують наявність достатньо обмеженого сектору інтенсивної подачі сировини останнім витком шнеку. Розроблену математичну модель вовчка можна використовувати при обґрунтуванні конструктивних параметрів шнеків на етапі їх проектування.

Ключові слова: м'ясорізальний вовчок, шнек, м'ясо, подача, особливості.

VASIL IVANOVYCH OSIPENKO, NADYA VICTORIVNA FILIMONOVA, OLEXANDR VICTOROVICH BATRACHENKO

Cherkassy State Technological University

FEATURES OF FEEDING OF MEAT IN THE LAST TURN OF THE SCREW OF MEAT GRINDER

In existing designs of meat grinders available for improvement in specific productivity. Raw materials at each time point by the screw of meat grinder is not over the entire area of the lattice cutting node, but only within a specific sector with angle less than 180° . The paper presents the results of numerical simulation of hydrodynamics of raw meat in its submission a screw of meat grinder. Found that the pressure in the raw material during its movement from the hopper to the meat grinder of the cutting unit is non-linear, closer distances to the cutting unit correspond to higher pressures in raw materials. Cinemas with a smaller angle of rise of turns ($4-7^\circ$) are characterized by large maximum values of relative deformations of raw materials in the area in front of the cutting unit and the highest average values of relative deformation, measured in the plane perpendicular to the axis of the screw. The simulation results confirm the presence of a fairly limited sector of intensive feed last turn of the screw. The mathematical model of the gyroscope can be used for substantiation of the design parameters of the auger at the design stage.

Key words: meat grinders, screw, meat, feed, features.

Постановка проблеми

Необхідною умовою успішного розвитку харчової промисловості є безупинне вдосконалення технологічного обладнання, з метою підвищення ефективності обробки сировини та зменшення експлуатаційних витрат. Одним із поширених видів технологічного обладнання, яке використовується в м'ясопереробній галузі, є вовчки. В сучасних умовах подальший розвиток цих машин підкоряється загальним тенденціям ринку, тобто йде в напрямках підвищення питомої продуктивності та зменшення експлуатаційних витрат на купівлю різального інструменту. Ріст питомої продуктивності дає можливість підвищити випуск продукції без збільшення капітальних та експлуатаційних витрат на утримання технологічного обладнання.

Проведений авторами аналіз та дослідження [1, 2] показали, що в існуючих конструкціях вовчків наявний резерв збільшення продуктивності. Так згідно відомим теоретичним уявленням, при визначенні продуктивності вовчків береться до уваги коефіцієнт, який знижує вираховане значення на величину до 70%. У відомій літературі відсутні вичерпні відомості з пояснення природи даного коефіцієнту. На думку авторів, істотні розбіжності між дійсними та розрахованими значеннями продуктивності вовчка обумовлені особливістю подачі м'ясної сировини шнеком (рис. 1) – сировина в кожен момент часу інтенсивно подається не по всій робочій площі решіток, а лише в межах деякого сектору з кутом β , величина якого залежить від конструктивних параметрів шнеку та від структурно-механічних властивостей сировини.

Дослідження та належне врахування цього ефекту дасть змогу підвищити продуктивність вовчків без збільшення геометричних розмірів їх основних робочих органів. Актуальним є проведення чисельного моделювання подачі сировини шнеком вовчка для створення передумов обґрунтування раціональних конструктивних параметрів шнеків з підвищеною нагнітальною здатністю.

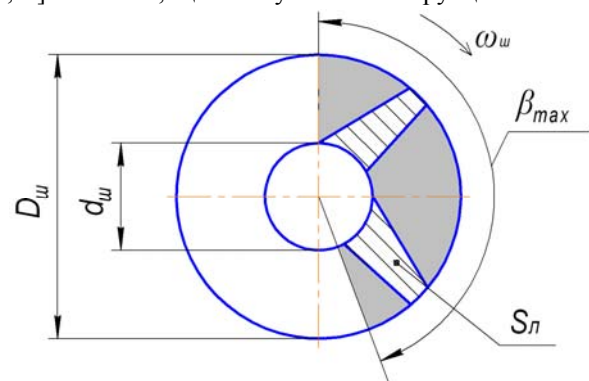


Рис. 1. Схема до визначення сектору інтенсивної подачі сировини останнім витком шнеку вовчка:
 $D_{ш}$ - зовнішній діаметр шнеку; $d_{ш}$ - діаметр валу шнеку; $S_{л}$ - леза ножа (площа); β_{max} - кут сектору інтенсивної подачі сировини

Аналіз останніх джерел

У відомих працях, зокрема в [3–6], відсутні відомості з описаного вище ефекту та відсутні результати досліджень гідродинаміки м'ясної сировини при її подачі шнеком вовчка. Актуальним є проведення таких досліджень.

Метою роботи є чисельне моделювання гідродинаміки м'ясної сировини при її подачі останнім витком шнеку вовчка для створення передумов обґрунтування раціональних конструктивних параметрів шнеків з підвищеною нагнітальною здатністю.

Виклад основного матеріалу

З метою визначення особливостей та параметрів гідродинаміки сировини при її подачі шнеками різного конструктивного виконання до різального вузла вовчка проводилось чисельне моделювання параметрів руху сировини за допомогою програмного комплексу *FlowVision*. Даний програмний комплекс призначений для моделювання трьох-вимірних течій рідин та газів в технічних та природних об'єктах, а також для візуалізації цих течій методами комп'ютерної графіки. Комплекс *FlowVision* заснований на кінцево-об'ємному методі вирішення рівнянь гідродинаміки та використовує прямокутну адаптивну сітку із локальним подібненням. Для апроксимації криволінійної геометрії із підвищеною точністю використовується технологія підсіткового розрішення геометрії.

Моделювання здійснювалось за такими етапами:

- створення області розрахунку (3D-"геометрії" об'єкту, що досліджується) в САПР (система КОМПАС 3D V10) та імпортування її через формат STL у *FlowVision*;
- завдання виду математичної моделі (рідина, яка не стискається, ламінарний потік);
- завдання граничних умов (вказування напрямку потоку рідини та обмежувальних поверхонь);
- завдання кінематичних параметрів обертового шнеку та фізико-механічних параметрів сировини (частота обертання шнеку 5 с^{-1} ; густина рідини 1050 кг/м^3 ; в'язкість рідини $700 \text{ Па}\cdot\text{с}$);
- завдання розрахункової сітки (використовувалась сітка із 2-м рівнем локального подібнення в зонах контакту поверхні шнеку зі сировиною);
- завдання параметрів методів розрахунку (кількість ітерацій 2000, точність 0,01, для швидкості використовувався 2-й порядок точності, для тиску використовувався метод CGM);
- проведення розрахунку;
- огляд результатів розрахунку в графічній формі ("візуалізація" результатів розрахунків) і збереження даних у файли.

Було обрано модель ламінарного руху нестисливої в'язкої рідини, яка базується рівняннях Нав'є-Стокса та суцільності середовища. Використовувались тривимірні моделі шнеків (рис. 2, рис. 3), кути підйому витків яких приймали значення $\alpha=4^\circ; 7^\circ; 10^\circ; 13^\circ; 17^\circ$. Результати моделювання наведені на рис. 4 і 5.

Залежність коефіцієнту стискання сировини в зоні різального вузла від конструктивного виконання шнеку та від точки вимірювання в площині, перпендикулярній всі шнеку, наведена на рис. 6. Зображені на рис. 5 криві з достатньою точністю описуються експоненціальним рівнянням регресії виду:

$$y = a \cdot e^{b \cdot x}, \quad (1)$$

де y – значення відносної деформації сировини ε , %; x – значення кута β , град.; a , b – коефіцієнти (табл. 1).

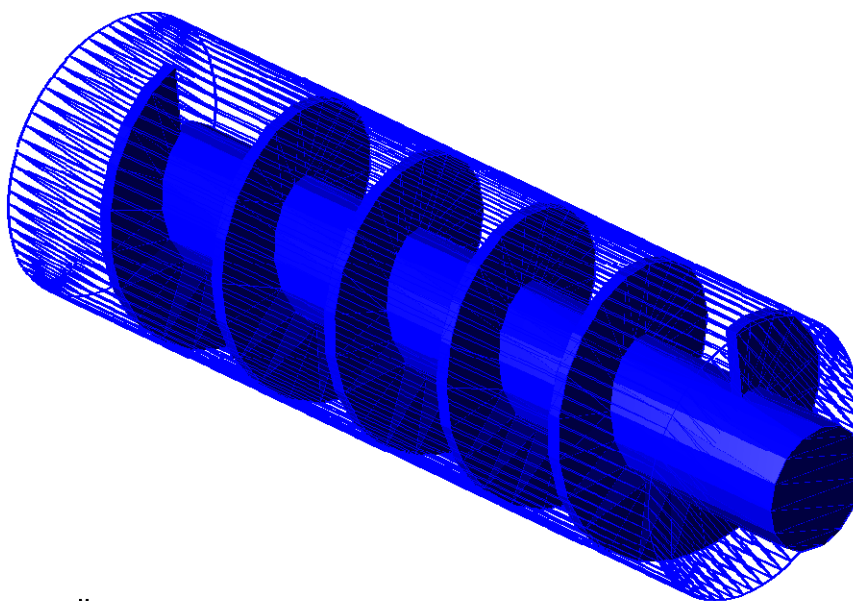


Рис. 2. Загальний вид робочої зони при моделюванні в програмному комплексі *FlowVision*

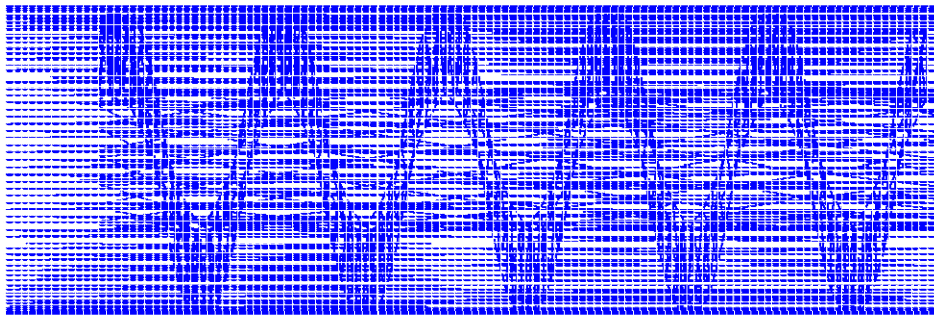


Рис. 3. Розрахункова сітка робочої зони в програмному комплексі FlowVision

Таблиця 1

Коефіцієнти рівняння регресії

Коефіцієнти регресії	Значення кута підйому витків шнеку				
	$\alpha=4^\circ$	$\alpha=7^\circ$	$\alpha=10^\circ$	$\alpha=13^\circ$	$\alpha=17^\circ$
a	0,673	0,605	0,508	0,387	0,251
b	-0,004	-0,006	-0,008	-0,011	-0,012

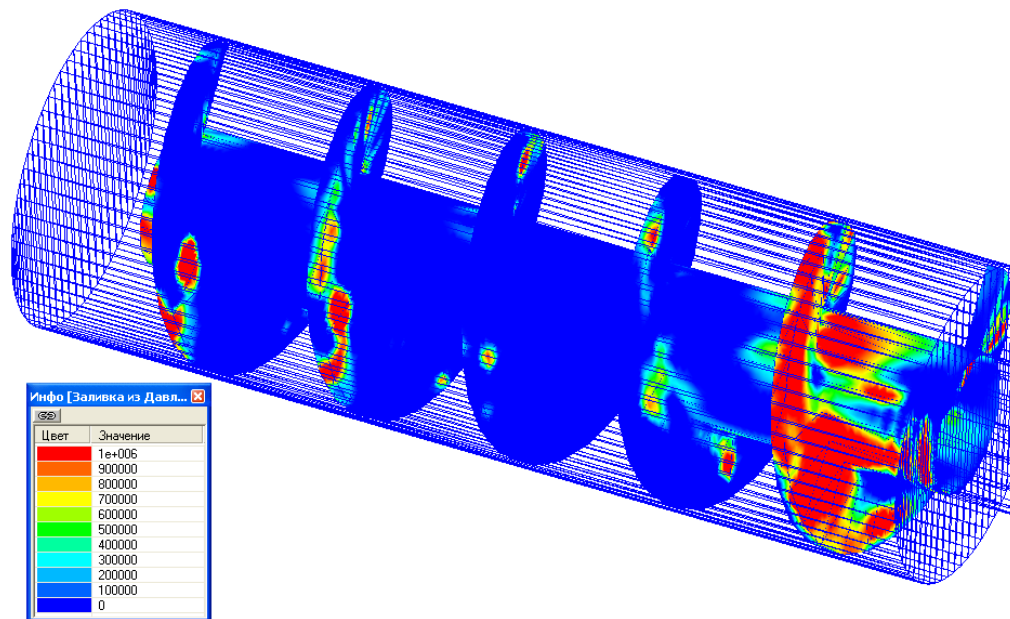


Рис. 4. Візуалізація результатів визначення значень тиску в сировині в зоні останнього витка шнеку вовчка

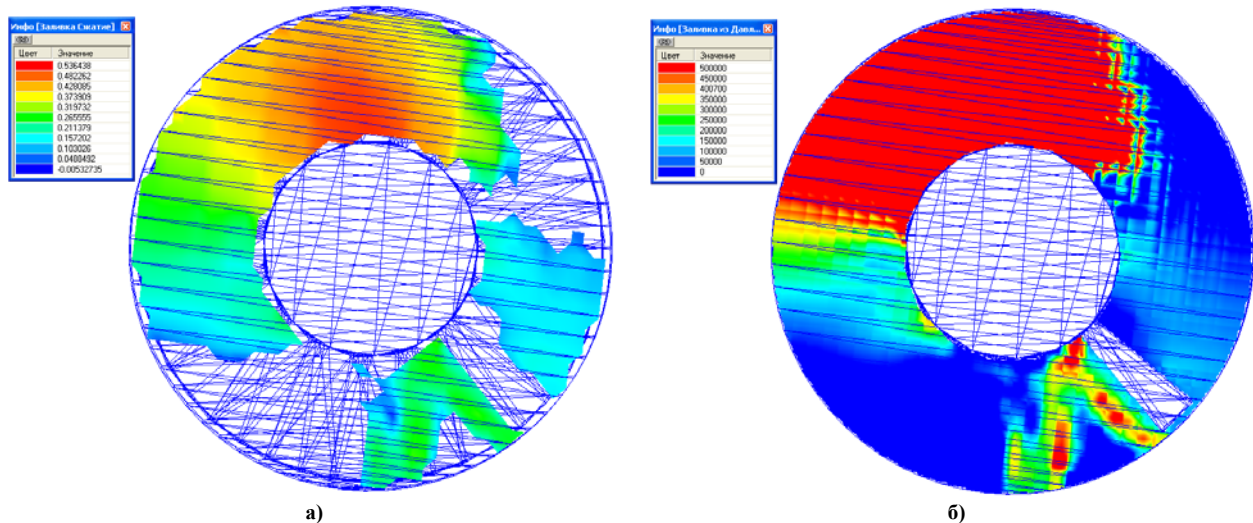


Рис. 5. Візуалізація результатів моделювання гідродинаміки м'ясної сировини в зоні останнього витка шнеку вовчка за допомогою програмного комплексу FlowVision: а) відносна деформація сировини; б) тиск в сировині в зоні останнього витка шнеку вовчка

Встановлено наявність втрат сировини крізь зазор між шнеком та робочим циліндром у напрямі,

зворотному до напрямку подачі. Тиск в сировині при її русі від бункера до різального вузла вовчка зростає нелінійно, ближчим відстаням до різального вузла відповідають вищі значення тиску в сировині. В секторі інтенсивної подачі сировини тиск збільшується від 50 кПа до 0,5 МПа.

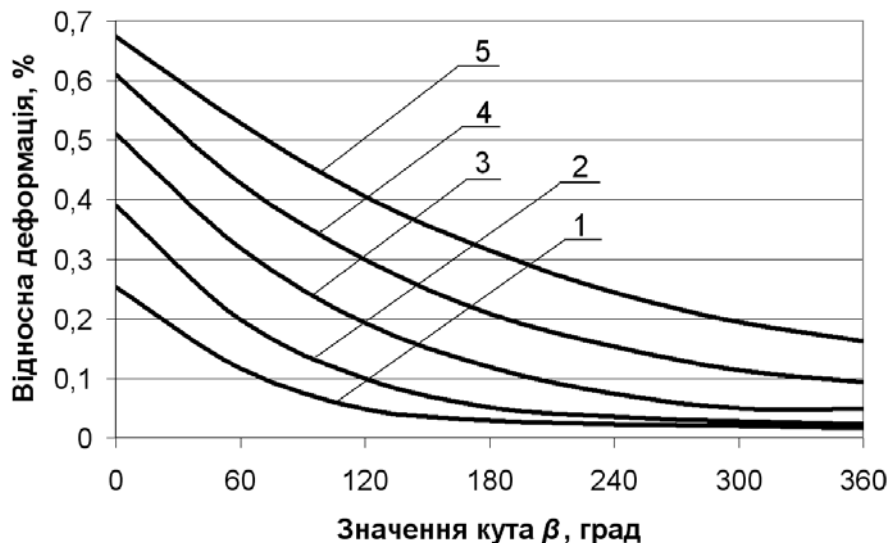


Рис. 6. Залежність відносної деформації сировини ε від значення кута β для шнеків із кутами підйому витків: 1 - $\alpha=17^\circ$; 2 - $\alpha=13^\circ$; 3 - $\alpha=10^\circ$; 4 - $\alpha=7^\circ$; 5 - $\alpha=4^\circ$

Загалом, в результаті моделювання встановлено, що шнекам із меншим кутом підйому витків ($4-7^\circ$) властиві, як більші максимальні значення відносної деформації сировини в зоні перед різальним вузлом, так і вищі середні значення відносної деформації (див. криві 4 і 5 на рис. 6), які виміряні в площині, перпендикулярній до вісі шнеку.

Це можна пояснити тим, що в зоні останнього витка шнеків із меншим кутом підйому витків сировина знаходиться у більш стисненому стані через поступове стискання при русі від бункера вовчка до різального вузла (за рахунок змінного кроку витків). Ще однією причиною є те, що означеним шнекам властиві менші відстані від бокової поверхні останнього витка до входу у різальний вузол. Отримані результати відповідають результатам, наведеним у [1, 2].

Висновки

Проведено чисельне моделювання гідродинаміки м'ясної сировини при її подачі шнеком вовчка. За результатами досліджень виявлено, що тиск в сировині при її русі від бункера вовчка до різального вузла зростає нелінійно, ближчим відстаням до різального вузла відповідають вищі значення тиску в сировині. Шнекам із меншим кутом підйому витків ($4-7^\circ$) властиві більші максимальні значення відносної деформації сировини в зоні перед різальним вузлом та вищі середні значення відносної деформації, які виміряні в площині, перпендикулярній до вісі шнеку. Результати моделювання підтверджують наявність достатньо обмеженого сектору інтенсивної подачі сировини останнім витком шнеку. Розроблену математичну модель вовчка можна використовувати при обґрунтуванні конструктивних параметрів шнеків на етапі їх проектування.

Література

1. Некоз О. І. Дослідження інтенсивності зношування лез ножа вовчка / О. І. Некоз, Н. В. Філімонова, С. О. Філімонов // Вісник Черкаського державного технологічного університету. – 2013. – № 2. – С. 128–132.
2. Теоретичне визначення коефіцієнту продуктивності вовчка / В. І. Осипенко, Н. В. Філімонова, О. В. Батраченко, С. О. Філімонов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 5. – С. 36–43.
3. Некоз С. О. Підвищення ефективності роботи і довговічності різального комплексу м'ясорізальних вовчків : дис. ... канд. техн. наук / С. О. Некоз. – К. : УДУХТ, 2001. – 165 с.
4. Батраченко О. В. Підвищення ефективності роботи та довговічності м'ясорізальних машин : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.12 / Батраченко Олександр Вікторович. – Вінниця, 2014. – 284 с.
5. Максимов Д. А. Конструкции режущих и подающих механизмов современных волчков / Д. А. Максимов, О. И. Якушев // Мясные технологии. – 2008. – №10. – С. 14–17.
6. Вербицкий С. Б. Измельчение мясного сырья / С. Б. Вербицкий, В. В. Шевченко, А. В. Батраченко // Мясной бизнес. – 2010. – № 5. – С. 84–96.

Отримана/Received : 5.4.2017 р. Надрукована/Printed : 8.6.2017 р.
Рецензент: к. т. н., доцент Л. М. Мізнік

УДК 632.382: 620.179.4

С.Л. ГОРЯЩЕНКО, С.В. УСПАЛЕНКО

Хмельницький національний університет

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ТЕПЛО-ХОЛОДОАКУМУЛЮЮЧОЇ СИСТЕМИ

В статті розглядається основні параметри, що необхідні для моделювання потоку полімеру, який розпилюється потоком повітря. Визначені критерії формування краплин. Змодельоване формування краплини полімеру при дії повітря в соплі.

Ключові слова: полімер, сопло, розпилення, моделювання

S.L. HORIASCHENKO, S.V. USPALENKO

Khmelnitsky National University

MODELING DROPS WHEN SPRAYING TWO-PHASE FLOW NOZZLE

In the article, the basic parameters required for modeling the flow of polymer that is sprayed air flow. The criteria forming droplets. Modeled the formation of polymer droplets when exposed to the air nozzle.

Key words: polymer nozzle spray simulation

Постановка завдання дослідження

Система фанкойл - це один з варіантів комплексу кондиціонування повітря в приміщеннях призначених для нагріву або охолодження повітря. На відміну від спліт системи в якій холодна або тепла енергія передається зрідженим газом - фреоном, в системі робочою речовиною є вода, або незамерзаючі розчини на її основі.

Витрата тепла на нагрівання повітря в повітронагрівачі визначають за рівнянням:

$$Q_I = G(I_K - I_H). \quad (1)$$

Витрати тепла на нагрівання повітря в повітронагрівачі визначають за рівнянням:

$$Q_{II} = G(I_{II} - I_O); \quad (2)$$

де Q_I - витрата тепла через повітронагрівач;

I_K, I_H - ентальпія повітря на виході і вході в повітронагрівач;

Q_{II} - витрата тепла через повітронагрівач;

I_{II}, I_O - ентальпія повітря на виході і вході в повітронагрівач.

Визначаємо витрату припливного повітря, виходячи з побудови процесів на I-d- діаграмі вологого повітря:

- за умовою видалення повної теплоти:

$$G = \frac{3,6Q_{\delta}^{TP}}{I_B - I_{II}}; \quad (3)$$

- для видалення надлишкової вологості:

$$G = \frac{W}{d_B - d_{II}}; \quad (4)$$

де G - витрата припливного повітря, кг/г;

Q_{δ}^{TP} - кількість теплоти, що виділяється в приміщенні в теплий період, Вт;

I_B, I_{II} - ентальпія відповідно внутрішнього і припливного повітря;

W - кількість вологості, що виділяється в приміщенні;

d_B, d_{II} - вологовміст відповідно внутрішнього і припливного повітря.

Основна частина

Для визначення дії фанкойла в приміщенні проведено аналітичний експеримент. Для цього розробимо модель фанкойла і приміщення в SolidWorks. Розроблену модель приміщення, що оснащено фанкойлом у Solid Works та проведено моделювання потоку повітря в ньому у CosmosWorks показано на рис.1.

Початкові умови в приміщенні задані і показані на рисунку 2.

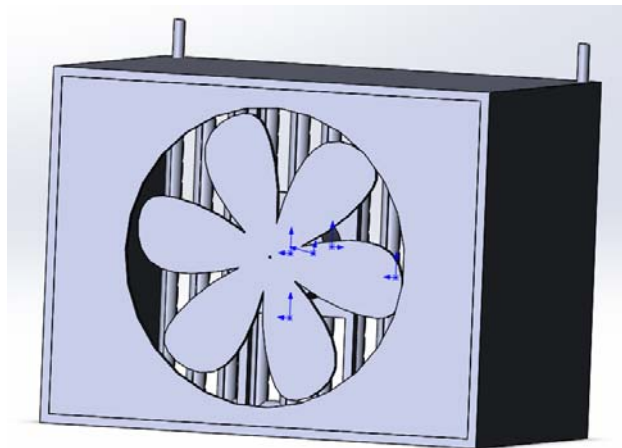


Рис. 1. Модель фанкойла

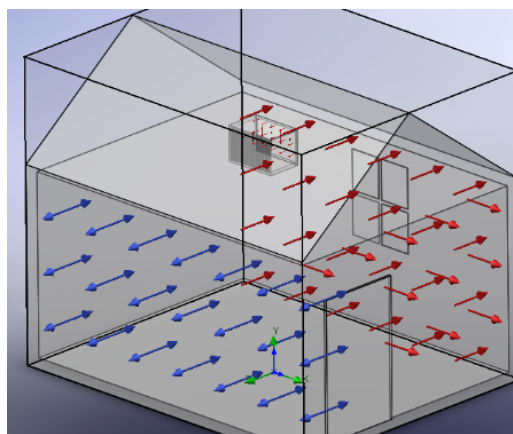


Рис. 2. Початкові умови розрахунку руху повітря в приміщенні: стала температура, швидкість та тиск

Результати експериментального моделювання показані на рисунку 3. і 4.

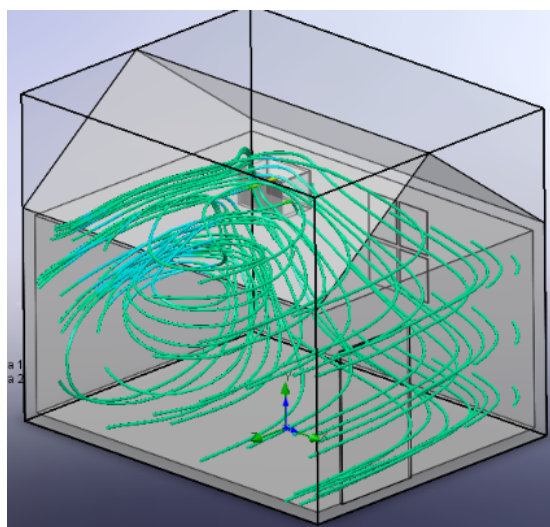


Рис. 3. Рух потоку повітря при охолодженні приміщення в перші хвилини роботи

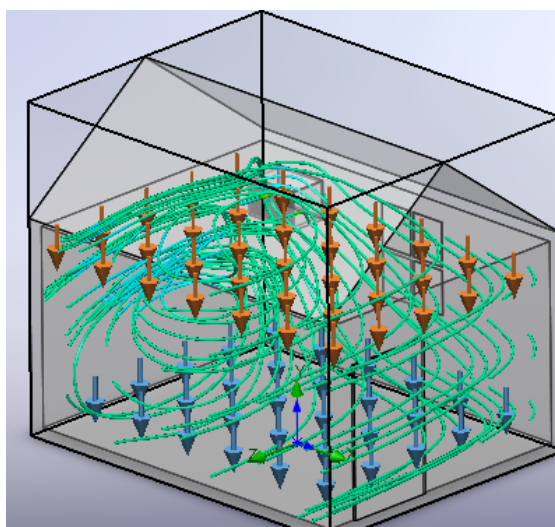


Рис. 4. Напрямок руху повітря в конвекції при охолодженні приміщення

Отримані дані дозволяють проектувати місця розташування фанкойла з урахуванням габаритів приміщення

Розглянемо модель приміщення більшої площі. Моделювання з одним фанкойлом (рис.5) і розповсюдження повітря в приміщенні показано на рис. 6.

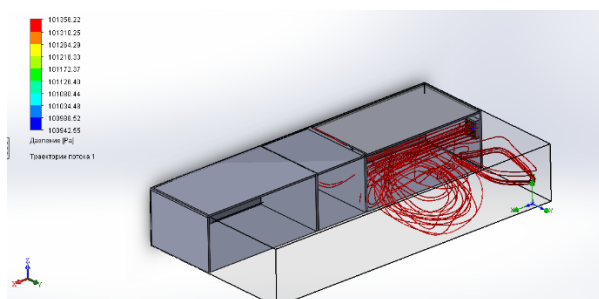


Рис. 5. Початок руху повітря з фанкойла

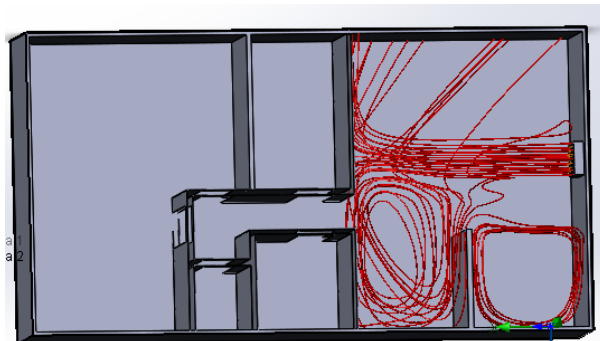


Рис. 6. Моделювання руху потоку повітря в приміщенні з однієї точки

Моделювання руху повітря з двома фанкойлами показано на рис.7. і 8.

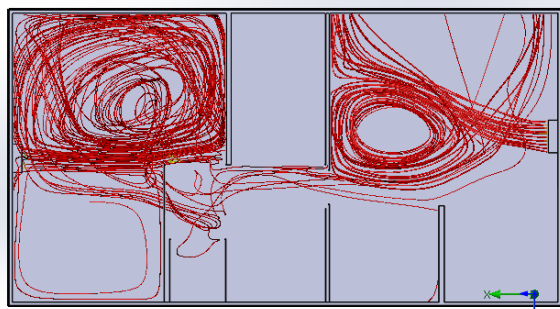


Рис. 7. Моделювання руху потоку повітря в приміщенні с двох точок

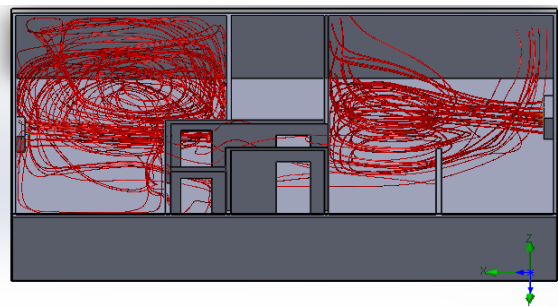


Рис. 8. Моделювання руху потоку повітря в приміщенні с двох точок

Висновки

Розроблена математична модель теплообмінника для фанкойла, та визначена необхідна площа. Було проведено аналітичні розрахунки теплових повітряних потоків. Визначено швидкість та потужність. Розраховано площу теплообмінника.

Визначений ймовірний градієнт температури розподілу при роботі фанкойла. Проведено моделювання роботи нагріву в приміщенні фанкойлом для малих приміщень.

Проведені відповідні розрахунки розподілу температури в стінках теплообмінника. Проведено моделювання нагріву великої площі до 150 м².

Розроблені моделі нагрівання повітря в фанкойлі та в приміщенні. Отримані розрахункові параметри з урахуванням зовнішнього повітря.

Дослідження показало, що для опалення великих приміщень потрібно розташування кількох фанкойлов.

Література

1. Mathisen K. Integrated design and control of heat exchanger networks. Ph.D. Thesis. – University of Trondheim, The Norwegian Institute of Technology, 1994.
2. Bequette W. Process control, modeling, design and simulation. – Prentice Hall, 2003.
3. Smith C., Corripio A. Principles and practice of automatic process control. – John Wiley & Sons, 1997.
4. Romero J.A. Control of a heat exchanger using an iterative design approach // Romero J.A., Campo A., Albertos P. / 16th IFAC World Congress, 2005. – P.1234-1239.
5. Patent №91482, Ukraine, F24D 11/00. Sistema opalennya primischn / Paraska G.B., Lyubchik V.R., Vityuk A.V., Goryaschenko S.L. applicant and patentee Khmeltsky national University; published 10.07.2014, bull. №. 13/2016 – 5 p.
6. Patent № 99525, Ukraine. F24D 15/02, F24D 11/00 the storage tank is filled with baffle / S.L. Goryashchenko, G.B. Paraska, A. V. Vityuk, V. G., Lyubchik; applicant and patentee Khmeltsky national University; published 10.06.2015, bull. №. 11/2015 – 4 p.
7. Експериментальні дослідження параметрів ефективності нагрівання та акумулювання тепла у системі "нагрівач-рідина-бак" С. Л. Горященко, А. І. Гордєєв, Є. О. Голінка, С. В. Упаленко // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016. – № 5. – С. 43-47.

Отримана/Received : 22.5.2017 р. Надрукована/Printed : 11.6.2017 р.

Рецензент: к.т.н., проф. Драпак Г.М.

УДК 685.31

Л.П. ЧЕРТЕНКО, А.В. ГОПЕНКО

Київський національний університет технологій та дизайну

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ 3D САПР ДЛЯ ПРОЕКТУВАННЯ ПОВЕРХНІ ВЗУТТЄВОЇ КОЛОДКИ

В роботі розроблено метод проектування поверхні взуттєвої колодки в середовищі універсального 3d програмного комплексу PowerShape на основі методу зворотного інжинірингу з використанням прогресивного технологічного обладнання. З цією метою запропоновано спосіб інтерполявання складної поверхні колодки на основі сканованого прототипу з використанням каркасу перерізів, адаптованого до традиційних методів побудови тіла колодки. Запропонований спосіб проектування колодки дозволяє реалізувати процес в середовищі універсальних 3d САПР з можливістю передачі інформації до суміжних САМ-систем, що забезпечує швидку та ефективну підготовку до виготовлення виробу на фрезерувальних верстатах з числовим програмним керуванням.

Ключові слова: колодка, дискретний каркас, поверхневе моделювання, інтерполяція, САПР, САМ-системи.

LILIA CHERTENKO, ANNA HOPENKO

Kyiv National University of Technologies and Design

RESEARCH OF 3D CAD POSSIBILITIES FOR SHOE LAST SURFACE DESIGN

The design method of shoe last surface in the universal 3D program complex PowerShape was developed in this work on the basis of reverse engineering with the application of progressive technological equipment. The method of interpolation of last complex surface on the basis of scanned prototype of a last form adapted to the traditional methods of construction with the usage of frames of sections. Suggested method of shoe last design allows to realize the process in the environment of universal 3D CAD with the opportunity of transmission of information to adjacent CAM-systems which provides quick and effective preparation to the last production on the milling machines with computer numerical control.

Key words: shoe last, discrete frame, surface modelling, interpolation, CAD, CAM-system.

Постановка проблеми

Залучення сучасних прогресивних САПР та високотехнологічного обладнання на етапах конструкторської підготовки взуттєвого виробництва висувають ряд вимог щодо можливості спільного їх використання та щодо спадкоємності інформації на різних стадіях автоматизованого процесу. З метою підвищення ефективності проектних процесів в роботі досліджено можливість використання універсального 3d моделювальника PowerShape для вирішення задач розробки складної форми взуттєвої колодки. Даний програмний продукт добре зарекомендував себе в багатьох галузях проектування завдяки широкому діапазону інструментів 3d моделювання, що поєднують функції каркасного, поверхневого та твердотілого моделювання, а також можливість роботи з сітками трикутників. Програмний модуль PowerShape найчастіше використовується у взаємодії із модулем PowerMILL, яка є САМ-системою (Computer Aided Manufacturing) для підготовки управляючих програм обробки складних форм на 3-, 4- та 5-координатних фрезерних верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК) [1]. Таке поєднання програм доцільне та ефективне для застосування у взуттєвій галузі для проектування та виготовлення технологічної оснастки (прес-форм, колодок і моделей підошв).

Аналіз останніх джерел

Тіло колодки представляє собою складну незакономірну поверхню, яку важко проектувати стандартними функціями 3d моделювання. Тому деякі вчені пропонують використовувати для цієї мети метод зворотного інжинірингу, суть якого полягає у використанні в якості вихідної інформації форми сканованого прототипу [2]. Потім, використовуючи спеціальне програмне забезпечення, об'єкт модифікується в тривимірному просторі. Наступний крок – виготовлення прототипу за допомогою ЧПК або прототипуючих пристроїв. Принцип зворотного інжинірингу реалізується в наступних етапах:

- 1) вибір об'єкта, на базі якого відбувається проектування;
- 2) зчитування геометричної інформації про об'єкт за допомогою сучасних безконтактних методів обміру;
- 3) комп'ютерна обробка отриманих даних, перетворення їх в 3d об'єкт;
- 4) модифікація 3d об'єкта за допомогою спеціального програмного забезпечення;
- 5) матеріальне виготовлення нового об'єкта на основі розробленої 3d моделі.

Другий етап процесу представляє собою безконтактне сканування об'єкта за допомогою спеціалізованих пристроїв – 3d сканерів. Зчитувана геометрична інформація, що обробляється спеціальними програмами, представляє собою хмару точок, які далі об'єднуються між собою в множину трикутних поверхонь, кожна з яких будується по трьох суміжних 3d вершинах, – відбувається процес триангуляції [3]. Триангульована поверхня об'єкту представляє собою сітку трикутників, яка є базою для побудови майбутнього віртуального твердотілого об'єкту або форми, описаної сукупністю поверхонь. Складна

просторова форма взуттєвої колодки має описуватися такими поверхнями, які можуть бути модифіковані у спеціальному графічному програмному середовищі.

Найбільш зручним для опису поверхні колодки є точково-лінійний, або каркасний спосіб, що полягає в задаванні послідовних точок, розташованих у певній закономірності. Як правило, ці точки належать перетинам, які утворені січними площинами. Найчастіше застосовується каркас, утворений поздовжньо-осьовим перерізом, деякою кількістю (залежить від необхідної точності завдання поверхні) поперечно-вертикальних перетинів, контурами сліду і установочної площадки, що узгоджується з традиційними методиками проектування колодки. Можна використовувати також каркаси, утворені горизонтальними перерізами або набором горизонтальних і поперечно-вертикальних перерізів [4]. Залежно від розташування параметричних u - та v -кривих змінюється і вид каркаса (рис. 1). Перевагою такого суцільного каркасу є описання всієї поверхні колодки набором чотирикутних ділянок. Недолік – такі каркаси важко модифікувати засобами комп'ютерної графіки згідно з особливостями традиційних методів проектування колодки.

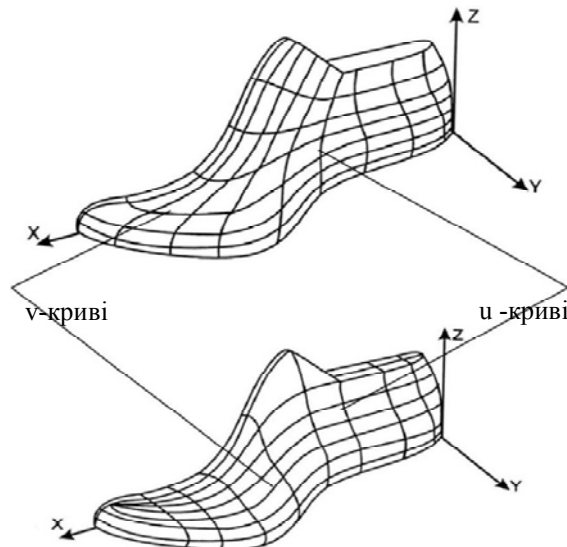


Рис. 1. Види каркасів колодок

Метою роботи є розробка каркасу поверхні взуттєвої колодки, придатного для проектування засобами 3d моделювання універсальних просторових САПР з використанням методу зворотного інжинірингу.

Виклад основного матеріалу

Починаючись із залучення спеціалізованого 3d сканера, на якому відбувається процес зчитування геометричної інформації про вихідний об'єкт, процес проектування нової колодки методом зворотного інжинірингу використовує цілий ряд спеціальних програмних продуктів та високотехнологічного обладнання. При цьому виявляється одна з головних переваг програмного комплексу PowerShape, яка полягає в можливості роботи з різними форматами файлів та взаємообміну інформацією з іншими програмними продуктами, САМ-системами та спеціальним обладнанням (рис. 2), що забезпечує можливість функціонування замкненого циклу **Отримання вихідної інформації – Проектування – Виготовлення**.

Одним з найважливіх для реалізації є етап проектування нової колодки в середовищі універсальних графічних 3d САПР через складність та незакономірність її просторової форми. Вихідна інформація, яка імпортується в середовище PowerShape після обробки даних в програмі сканування InFoot3d, – це форма колодки у вигляді сітки трикутників в форматі .STL. Далі цю сітку необхідно описати поверхнями для можливості подальшого проектування та модифікації форми.

З геометричної точки зору поверхня взуттєвої колодки відноситься до класу складних поверхонь, що не розгортаються. Тож для аналізу досліджуваної поверхні часто використовується розподіл об'єкта на складові характерні ділянки, так звані топографічні елементи: носкова, пучкова, геленочна і п'яtkова частини. З точки зору характеру і форми окремих поверхонь і кривих в колодці можна виділити наступні поверхні, на яких спостерігається плавна зміна кривизни: поверхня сліду, бічна поверхня і поверхня верхньої площадки [5].

Залежно від способів зшивки сегментів, ділянки поверхні колодки можна описати методами Кунса, Безье, Фергюссона та ін. Один із найбільш доцільних способів інтерполювання поверхні – NURBS-поверхні (NURBS – неоднорідний раціональний B-spline) – найчастіше використовується в графічних САПР-системах для побудови криволінійних поверхонь, кривизну яких визначають контрольні точки сплайнів.

Універсальний гібридний моделювальник PowerShape надає можливість побудови поверхні та інтерполяції просторового каркасу багатьма способами:

- 1) Поверхня із сітки кривих – будується по граничним кривим, що перетинаються між собою.
- 2) Поверхня по окремих кривих – будується по ряду поперечних або продольних кривих одного виду.



Рис. 2. Алгоритм процесу проектування та виготовлення форми колодки з використанням сучасних універсальних САПР та високотехнологічного обладнання

3) По напрямній – поверхня будується по двох кривих – формоутворюючій та направляючій.

4) По двох напрямних – поверхня будується від одної до другої формоутворюючої по направляючій.

5) Поверхня із трикутників – будується на основі трикутної сітки та граничних кривих.

При цьому деякі види поверхонь можуть бути описані різними математичними апаратами: NURBS-поверхні або POWER-поверхні, які мають деякі свої особливості математичного описання поверхні.

В роботі порівнювалися результати використання різних способів сегментації поверхні дискретним каркасом та інтерполювання складної поверхні колодки. Виходячи з результатів порівняльного аналізу, дійшли висновку про раціональний дискретний каркас поверхні. Для дослідження було обрано такі каркаси:

1) Контур сліду, контур верхньої поверхні. Даний вид каркасу не дав позитивного результату для описання бічної поверхні.

2) Контур сліду, контур верхньої поверхні, контур поздовжньо-вісьового перерізу. При спробі інтерполювати зовнішню бічну частину колодки отримали в цілому позитивний результат (рис. 3 а), але при цьому в носковій частині спостерігалися відхилення від базової форми сітки (рис. 3 б).

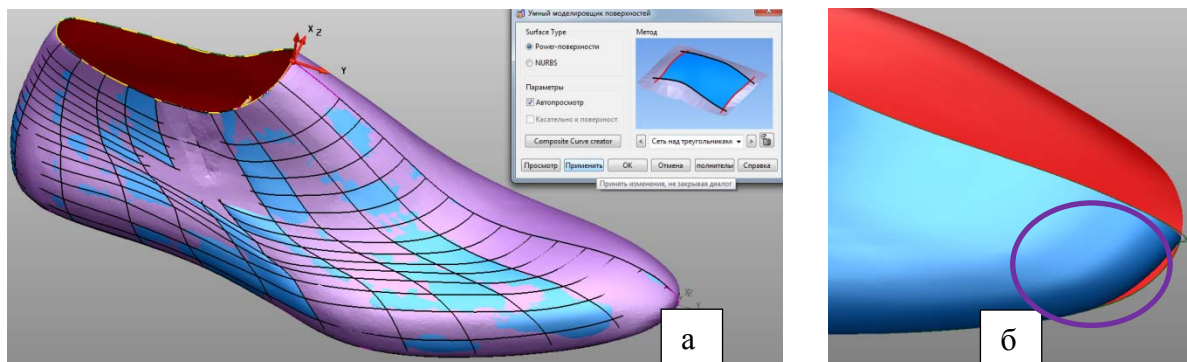


Рис. 3. Інтерполювання поверхні колодки по сітці трикутників сканованої поверхні

3) Контур сліду, контур верхньої поверхні, контур поздовжньо-вісьового перерізу, контур

поперечно-вертикального перерізу на рівні передньої точки верхньої площадки. Інтерполювання п'яткової частини зовнішньої бічної поверхні дало позитивний результат, а в геленково-пучково-носовій спостерігалися деякі відхилення, зокрема на ділянках великої кривизни пучкової частини, а також в місці стиковки з п'ятковою частиною.

При дослідженні описаних каркасів та видів сегментації поверхні колодки було відмічено, що найбільші відхилення при побудові поверхонь на основі сітки спостерігаються в ділянках великої кривизни. А отже, було вирішено представити каркас геленково-пучково-носової частини у вигляді набору поперечно-вертикальних перерізів, побудованих на основі імпортованої сітки трикутників. При обґрунтуванні набору контурів та перерізів каркасу також керувалися численними дослідженнями інших вчених, присвяченими проектуванню параметрів колодки.

4) Отже, виходячи з описаного, поверхню колодки рекомендовано розділити на такі сегменти (рис. 4): поверхня сліду; верхня поверхня колодки; п'яткова частина внутрішня; п'яткова частина зовнішня; геленково-пучкова частина; носкова частина.

При цьому геленково-пучкова та носкова частини для точнішого інтерполювання мають описуватися більшою кількістю додаткових поперечно-вертикальних контурів. Таким чином, процес побудови просторової поверхні колодки можна представити у вигляді такої послідовності етапів:

1) Імпортування сканованої поверхні колодки в середовище PowerShape у вигляді сітки трикутників у форматі .STL.

2) При виникненні так званих «сліпих зон» сканування, тобто ділянок поверхні, в яких при скануванні утворюються отвори (рис. 5), необхідно застосувати відповідний функціонал програмного середовища PowerShape для редагування сіток трикутників. Використовуємо функцію «Исправить незамкнутые границы». Програма автоматично заповнює отвори недостаючими трикутниками поверхні, враховуючи плавність та гладкість загальної форми.

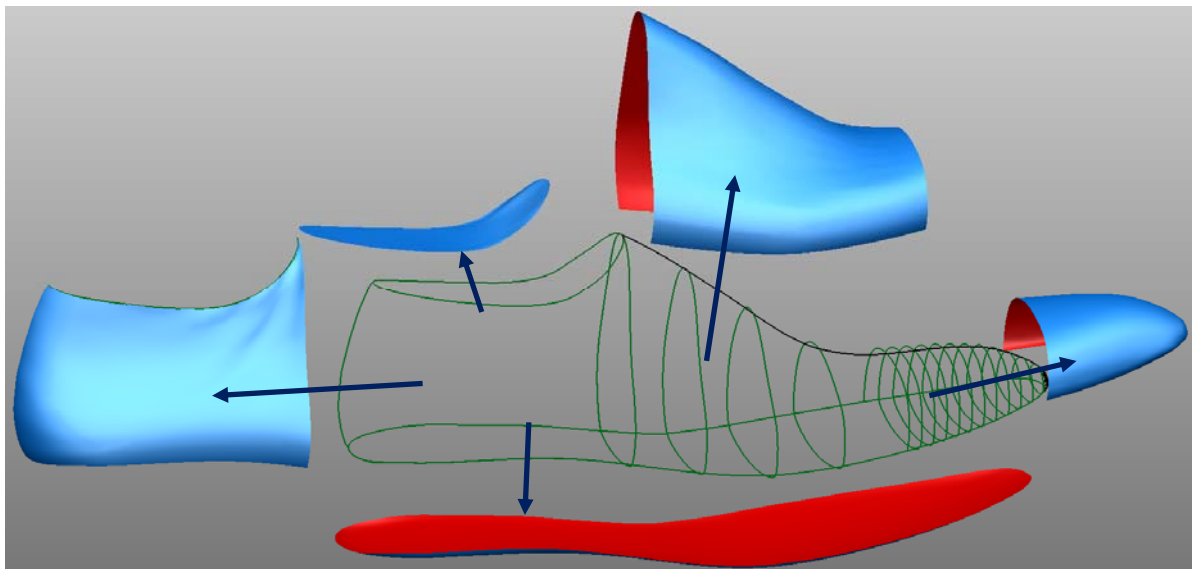


Рис. 4. Сегментація поверхні колодки для подальшого інтерполювання

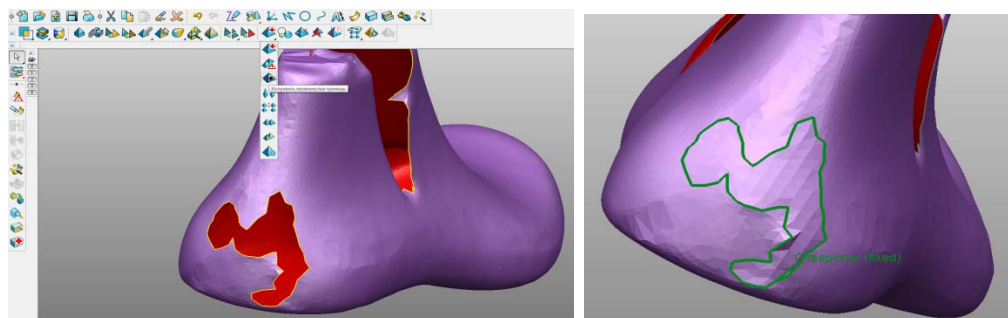


Рис. 5. Ділянки отворів в поверхні колодки та їх виправлення

Часто при скануванні поверхні зчленованої колодки виникають проблеми розпізнавання та модифікації поверхні в верхній частині на рівні замка. Перед скануванням поверхню такої колодки в ділянках порожнини слід заклеїти малярною скотч-стрічкою для уникнення отворів в сканованій поверхні. А при виникненні накладень сітки трикутників, нерівностей та деформацій сканованої поверхні верхню частину слід зрізати та зашити пласкою поверхнею (рис. 6).

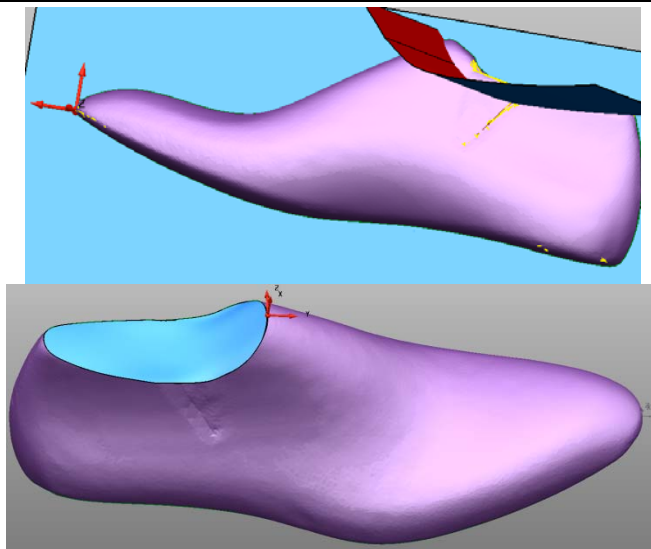


Рис. 6. Коригування дефектів сітки трикутників верхньої поверхні колодки

3) Далі викреслюємо контур сліду по грані сканованої сітки вручну за допомогою функції «Створити криву, що прив'язана до сітки». Контур верхньої площадки будується на основі контуру відсікання верхньої частини або аналогічно сліду (рис. 7).

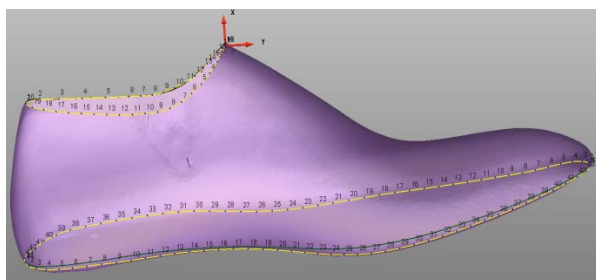


Рис. 7. Проектування контурів граней колодки

4) Будуємо сікучі вертикальні площини вздовж центральної вісі колодки та на рівні потрібних поперечно-вертикальних перетинів. Визначаємо контури пересікання сітки поверхні з площинами (рис. 8).

5) Розсікаємо замкнені контури поперечно-вертикальних контурів по граничних лініях сліду та верхньої площадки, отримаємо окремі контури нижньої та бічної поверхонь колодки.

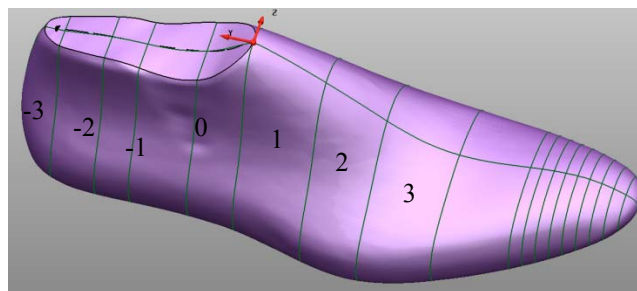


Рис. 8. Побудова продольного та поперечно-вертикальних перерізів колодки

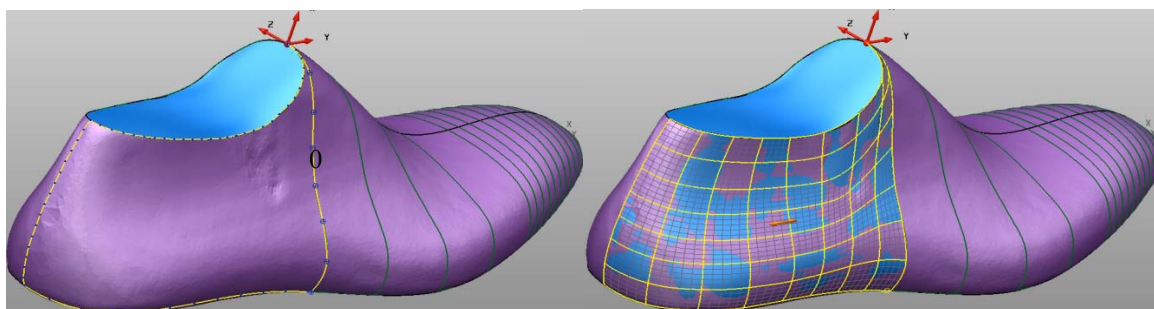


Рис. 9. Інтерполювання зовнішньої поверхні п'яткової частини

6) Інтерполюємо зовнішню та внутрішню поверхні п'яткової частини колодки до перерізу 0 за

допомогою функції «Розумний моделювальник \ Сітка над трикутниками», попередньо виділивши обмежуючі криві сегменту (рис. 9).

7) Аналогічно інтерполюємо нижню поверхню сліду колодки.

8) Будемо геленково-пучкову ділянку бічної поверхні колодки (рис. 10).

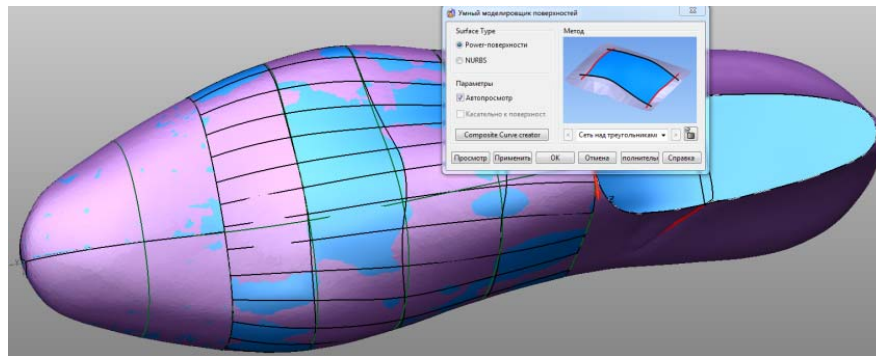
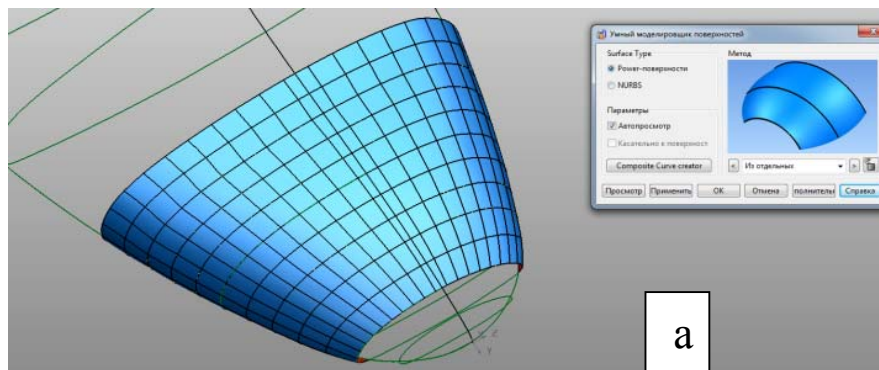


Рис. 10. Інтерполювання геленково-пучкової частини бічної поверхні

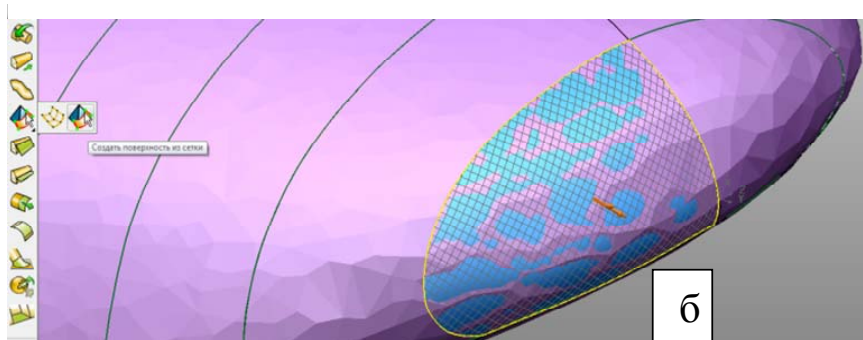
9) Інтерполюємо носкову частину бічної поверхні, використовуючи набір поперечно-вертикальних контурів, розташованих з інтервалом 5–8 мм для досягнення високої точності побудови. Використовуємо функцію «Розумний моделювальник \ Із окремих кривих» (рис. 11 а).

10) Окремо інтерполюємо крайню ділянку заокруглення носкової частини, оскільки тут спостерігається найбільша кількість дефектів та невідповідностей інтерполяції через велику кривизну поверхні. Функція «Створити поверхню із сітки» (рис. 11 б).

Завершивши всі побудови, отримуємо сегментовану поверхню колодки (рис. 12), яка може бути модифікована по окремих ділянках за допомогою функцій поверхневого моделювання PowerShape.



а



б

Рис. 11. Інтерполювання носкової частини поверхні колодки

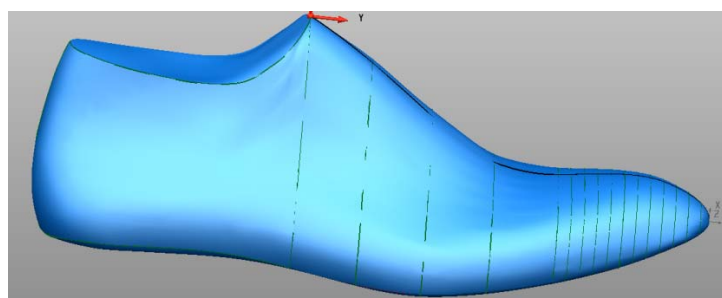


Рис. 12. Побудована поверхня колодки на основі сканованої сітки трикутників

Висновки

Запропонований в роботі спосіб проектування поверхні колодки методом зворотного інжинірингу реалізується за допомогою сучасних прогресивних універсальних 3d САПР та використовує в якості вихідної інформації скановану поверхню колодки-прототипа, яка далі описується та модифікується функціями 3d проектування програмного модулю PowerShare для отримання нової форми. Такий спосіб забезпечує можливість конвертування вихідних даних між різними САПР та передачі інформації до суміжних САМ-систем, що забезпечує швидку та ефективну підготовку до виготовлення виробу на верстатах з ЧПК. Для інтерполювання поверхні колодки запропоновано дискретний каркас, побудований з урахуванням численного наукового та практичного досвіду у проектуванні внутрішньої форми взуття.

Література

1. Орловський Б.В. CALS-технології об'єктно-орієнтованого проектування і виготовлення взуття на засадах програмного комплексу Delcam CRISPIN / Б.В. Орловський. – К. : Вісник КНУТД. – № 1. – 2012. – С. 22–33.
2. Ильющин С.В. Разработка методики проектирования обуви в формате 3d с использованием технологий обратного инжиниринга : автореф. дис. на здобуття вченого ступеня канд. техн. наук / С.В. Ильющин. – М., 2014. – 21 с.
3. Shuping Xiong A computer-aided design system for footfeature - based shoe last customization / Shuping Xiong, Jianhui Zhao, Zuhua Jiang, Ming Dong // International journal of advanced manufacturing technology. – january 2009. – P. 11–19.
4. Фукин В.А. Развитие теории и методологии проектирования внутренней формы обуви / Фукин В.А., Буй В.Х. – М., 2015. – 410 с.
5. Чертенко Л.П. Особенности проектирования рациональной формы обувной колодки с применением САПР / Л.П. Чертенко, В.П. Коновал // Международный сборник научных трудов «Метрология, стандартизация и сертификация изделий сервиса: теория и практика». – Шахты, 2007. – С. 97–107.

Отримана/Received : 22.5.2017 р. Надрукована/Printed : 8.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Злотенко Б.М.

УДК 687.11

Л.В. КРАСНЮК, Л.О. ДЯК

Хмельницький національний університет

ПЕРЕДУМОВИ СТВОРЕННЯ ЧОЛОВІЧОЇ КУРТКИ З РОЗШИРЕНИМИ ФУНКЦІОНАЛЬНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ

В статті розглянуто проблему створення побутового одягу, який, окрім своїх звичайних функцій, здатен виконувати захисну функцію під час пересування на мототранспорті. Розроблено класифікацію видів мотоспорту, у якій виділено дисципліни, у змаганнях з яких можуть брати участь аматори мотоциклетного спорту. Розглянуто умови експлуатації та положення тіла водія під час їзди залежно від виду мототранспорту. За результатами анкетного опитування встановлено перелік найголовніших властивостей, які повинен забезпечувати побутовий одяг для їзди на мотоциклі.

Ключові слова: багатофункціональні швейні вироби, одяг для мотоциклістів, вимоги до одягу.

L.V.KRASNYUK, L.O. DIAK

Khmelnytsky National University

PREREQUISITES OF CREATING A JACKET WITH EXTENDED FUNCTIONALITY

In the article the problem of creation of casual clothing in addition to their normal functions, it performs a protective function during movement on motorcycles. The classification created of types of moto sport, which highlighted discipline in competitions in which amateurs can participate in motorcycle sport. In the article are considered The conditions of use and posture of the driver while driving, depending on the type of motorcycle. The results of a questionnaire established a list of the most important properties that clothes should have for riding a motorcycle.

Keywords: multifunctional garments, clothing for motorcyclists, the requirements for clothing.

Вступ

Мотоциклетний спорт – технічний вид спорту, основу якого складає взаємодія спортсмена з різноманітною мотоциклетною технікою. Саме поняття мотоциклетного спорту є більш широким, ніж просто їзда на мотоциклі; це може бути їзда на час, витривалість, швидкість. Даний вид спорту один із найтравматичніших, який потребує відповідної підготовки із безліччю навантажень.

На сучасному етапі розвитку мотоспорту в Україні, за даними статистики продажів AUTO-Consulting, з 2013 р. спостерігається зростання популяризації мотоциклетного спорту [1]. Для цього існує

багато причин, наприклад, мотоцикл – це компактний та маневрений вид транспорту, що дає змогу вільно та швидко пересуватись по місту, легко долати бездоріжжя та автомобільні затори. Також цьому сприяє популяризація мотофестивалів в Україні, деякі з яких відомі за кордоном.

Актуальність досліджень та постановка мети

Заняття мотоспортом потребує відповідного екіпірування, яке включає одяг і засоби захисту. Найважливіше завдання, яке повинне виконувати одяг мотоцикліста, – підвищення його безпеки на дорозі. Перевагою професійного мотоциклетного одягу є покращення комфорту їзди, захист мотоцикліста від різних факторів навколишнього середовища і травм. Однак, через значну вартість такий одяг недоступний для громадян із середнім та низьким рівнем доходів. Тому зазвичай мотоциклісти-аматори і пересічні громадяни, які придбали мотоцикл для комфортного пересування у межах міста, часто використовують для їзди звичайний побутовий одяг, який, на жаль, не пристосований до подібних умов експлуатації. Тому важливим є дослідження, направлені на розширення можливостей побутового одягу, зокрема куртки, для використання її під час їзди на мототранспорті. У напрямку створення спортивного одягу працювали науковці Є.А. Розанова, Н.Г. Москаленко, Н.Н. Номоконова, які розробили структуру показників якості одягу для занять екстремальними видами спорту [2]. Анісімова Н.В. розробила аналіз вимог та рекомендацій для проектування одягу для гірськолижного спорту [3]. В дослідженнях [4] вирішувались проблеми підбору пакетів матеріалів та покращення динамічної відповідності спортивного одягу для гірських туристів. Удосконаленню процесу проектування жіночих утеплених курток для занять зимовими видами спорту присвячені дослідження [5]. Науковці: Т.О. Полька, О.С. Назарова, М.В. Колосніченко [6], – удосконалили процес проектування комбінезонів для занять автомобільним спортом та розробили колекцію одягу для занять картинговим спортом з урахуванням ергономічних та естетичних вимог споживачів.

У світовій практиці відомо ряд розробок, які направлені на покращення захисних функцій одягу для мотоциклістів. Наприклад, для захисту від травм під час падіння розроблено конструкцію комбінезону з інтегрованим шоломом, що покращує захист голови та шиї водія, також відома конструкція куртки з надувними елементами, які спрацьовують в момент падіння [7, 8]. У винаході [9] запропоновано конструкцію куртки мотоцикліста, що захищає від ударів за допомогою вкладених у кишені знімних протекторів. Для зручності користування та захисту від погодних умов розроблено комбінезон, що складається з куртки та штанів, які можуть з'єднуватись між собою [10,11], а також утеплену куртку із прикріпленими до неї знімними наколінниками [12]. Для захисту мотоцикліста на дорозі використовують різноманітні сигнальні елементи, які розташовують на деталях одягу [13–15].

Однак, дослідження, які були б направлені на вдосконалення процесу проектування одягу з розширеними функціональними можливостями, який можна використовувати як у побутових умовах, так і під час керування мототранспортом, на сьогодні відсутні. Тому дане питання є актуальним, так як на мототранспорт пересідає дедалі більше людей, серед яких є аматори та початківці мотоспорту, що використовують в якості екіпірування звичайний побутовий одяг, тим самим наражаючи себе на небезпеку.

Щоб ефективно вирішити дане питання необхідно проаналізувати вихідну інформацію для проектування одягу для їзди на мотоциклі, а саме умови експлуатації, види рухів та пози водія під час водіння, та провести опитування експертів щодо одягу, який вони експлуатують.

Виклад основного матеріалу статті

Виникнення мотоспорту тісно пов'язане з винаходом самого мотоцикла. 1885 р. визнаний роком створення мотоцикла, коли Готліб Даймлер у Німеччині побудував машину для верхової їзди, що представляла собою велосипед з дерев'яною рамою і ремінною передачею, масою 50 кг, з 1-циліндровим бензиновим двигуном робочим об'ємом 264 см³, що дозволило досягати швидкості 12 км/год. На початку чіткого поділу між автомобілем і мотоциклом не було, до кінця XIX ст. проходили загальні змагання «механічних екіпажів». Так в 1894 р., тобто через 9 років після винаходу першого мотоцикла і автомобіля, в Парижі, з ініціативи редактора журналу «Ле Пті Журналь» організовуються перші змагання механічних екіпажів за маршрутом Париж-Руан на дистанцію 126 км. У змаганнях могли брати участь екіпажі будь-яких систем і конструкцій з механічним приводом на колесах. Це і було початком сучасного автомотоспорту. У 1913 р. в англійському місті Карліслі вперше пройшли міжнародні мотоциклетні шестиденні змагання, в яких взяли участь 162 гонщика. Найзначнішим кросовим змаганням до проведення чемпіонатів світу був «Мотокрос націй», який вперше вдалося організувати в 1947 р., переможцем тоді стала команда Великобританії. У 1955 р. з ініціативи Міжнародної мотоциклетної федерації відбувся, перший чемпіонат Європи, де розгорнулася гостра конкуренція, як між мотоциклетними фірмами, так і серед гонщиків. 1957 р. став роком першого чемпіонату світу, що складався з серії змагань, які проходили поетапно в дев'яти європейських країнах. На кожному етапі переможцю розігрувався і вручався приз тієї країни, де проводилися змагання.

Українські спортсмени з мотоциклетного спорту неодноразово здобували перемоги ще у той час, коли Україна була у складі Радянського Союзу. У той період в Україні починали формуватись перші організації любителів мотоциклетного спорту. Після здобуття незалежності у 1992 р. в Україні створена громадська організація – Федерація мотоциклетного спорту України (ФМСУ). На даний час з Україною підписано ряд угод про співпрацю з різними країнами. Україна – член Міжнародної мотоциклетної федерації, до складу якої входять 104 країни. ФМСУ регулярно проводить міжнародні змагання в Україні та володіє п'ятьма ліцензіями на право проведення змагань міжнародного рівня [16].

Мотоциклетні змагання за час їх існування зазнали ряд змін, які були наслідком технічного прогресу, а також вдосконалення техніки їзди. З технічним удосконаленням мотоциклів підвищувалась їх швидкість, ускладнювались маршрути. На рис.1 наведено розроблену авторами класифікацію основних видів сучасного мотоспорту, яка узагальнює види мотоциклетних дисциплін та дає поняття, у яких із них можуть брати участь аматори мотоциклетного спорту.

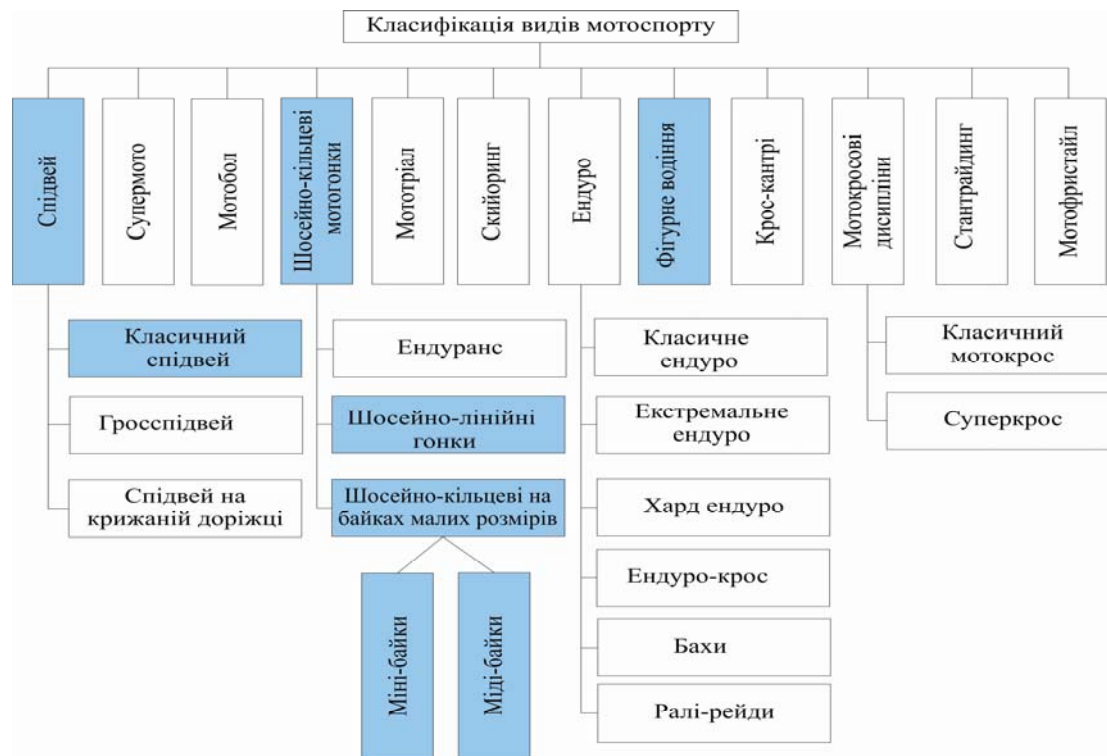


Рис. 1. Класифікація видів мотоциклетного спорту:

- дисципліни, у змаганнях з яких, беруть участь професійні спортсмени мотоциклетного спорту;
- дисципліни, у змаганнях з яких можуть брати участь аматори мотоциклетного спорту

Аналізуючи класифікацію, можна побачити, що у таких дисциплінах як: спідвей, шосейно-кільцеві мотогонки, фігурне водіння можуть брати участь як і професійні мотогогонщики, так і аматори.

Про високий рівень розвитку мотоциклетного спорту у світі свідчать сучасні види мотоциклів та постійне удосконалення спорядження спортсменів, де застосовуються інноваційні технології, матеріали, способи з'єднань, останні досягнення з ергономіки та дизайну. Однак, це стосується занять професійними видами мотоспорту. Зазвичай спортсмени-аматори використовують для їзди на мотоциклі повсякденний одяг, який за своїми характеристиками не відповідає умовам експлуатації та потребує удосконалення процесу його проектування. На вибір одягу для занять мотоциклетним спортом впливають наступні фактори: погодні умови та їх вплив на стан водія мототранспорту, вид мототранспорту, характер рухів водія.

Не існує загальноприйнятої норми, за якої температури повітря припиняється чи розпочинається сезон катання на мототранспорті. Зазвичай сезон занять мотоспортом триває від квітня до жовтня. Початок сезону мотоциклістів вважається середина квітня або початок травня, коли середня температура повітря сягає +14°...16°C. За нормальних умов у вказану пору року дорожнє покриття сухе та чисте, що створює стабільність керування транспортом. При температурі -5°C не рекомендується виїжджати на дорогу навіть при сухому покритті. При високій вологості та опадах необхідно мати добрі навички їзди (відчувати мотоцикл та вміти вчасно приймати рішення) та відповідний захист від опадів. Відомо, що метеозалежні люди страждають від тих чи інших змін у погодних умовах. Тому рекомендовано не керувати транспортним засобом при найменших проявах поганого самопочуття.

Рівень комфорту та специфіка експлуатації одягу мотоциклістів значною мірою залежить від пози під час водіння мототранспорту, що в свою чергу залежить від виду мотоцикла та необхідності маневрувати для подолання перешкод. Положення тіла, яке приймає водій під час керування різними видами мототранспорту, представлено у табл. 1.

Аналіз табл. 1 показує, поза, яку приймає водій під час керування мотоциклом, залежить від виду мототранспорту. У більшості поз кут нахилу тулуба тупий (кросовий мотоцикл і скутер – 100°, мототріал – 170°), на круїзері та чоппері – майже прямий кут нахилу тулуба (95°), а на спортбайку гострий (80°). Кут згину рук у ліктьовому суглобі майже у всіх позах тупий (110°, 145°, 150°, 155°, 165°), лише на спортбайку він гострий (80°). Положення ніг дещо відрізняється, наприклад на кросовому мотоциклі та спортбайку кут згину ніг у колінному суглобі гострий (50°, 70°), на чоппері та скутері – прямий кут, на мототріалі – кут

розгорнутий (180°), на круїзері кут тупий (110°), тому даний вид транспорту призначений для подорожей, з мінімальним навантаженням на тіло водія.

Таблиця 1

Положення тіла водія під час їзди в залежності від виду мотоцикла

№ п/п	Вид мототранспорту	Ескіз мототранспорту	Поза водія мотоцикла	Кути нахилу тіла і кінцівок водія під час керування мототранспортом, град.		
				тулуба, α	згину рук в ліктьовому суглобі, β	згину ніг в колінному суглобі, γ
1	Круїзер			95	145	110
2	Кросовий мотоцикл (Ендуро)			100	110	70
3	Чоппер			95	155	90
4	Скутер			100	140	90
5	Спортбайк			80	80	50
6	Мототріал			170	165	180

Проаналізувавши умови експлуатації можна зробити висновок, що одяг мотоцикліста повинен захищати тіло водія від опадів, вітру максимально довгий час та забезпечувати надійність, комфорт та зручність під час керування мотоциклом.

Для визначення напрямків удосконалення процесу проектування мотоциклетного одягу, проведено опитування споживачів щодо якості одягу, який вони використовують під час їзди на мотоциклі. Експертами виступили приватні підприємці, інженерно-технічні працівники, студенти віком від 18 до 35 років, що є водіями мототранспорту. Дані щодо структурного складу експертів приведені в табл. 2.

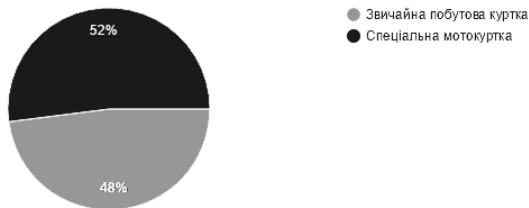
Анкетування 25 експертів проводилось у Google Формах, в яких результати опитування автоматично сформовані у вигляді діаграм. В результаті анкетного опитування встановлено, що до звичайної екіпіровки опитаних мотоциклістів входять куртка, штани, моторукавиці, мотошолом та взуття. Основним із цих видів одягу є плечовий – куртка, яка здійснює основний захист мотоцикліста.

За результатами анкетування 48% експертів вказали, що під час їзди на мототранспорті вони використовують звичайну побутову куртку, а 52 % – користуються спеціальною (рис. 2).

Структурний склад експертів

Категорія експертів	Кількість експертів, які займаються мотоциклетним спортом протягом:			Всього	
	2–5 років	6–10 років	11–20 років	чол.	%
Приватні підприємці	1	3	2	6	25
Інженерно-технічні працівники	3	3	2	8	30
Студенти	6	3	-	9	35
Інші	2	-	-	2	10
Всього експертів	12	9	4	25	100

Вкажіть призначення куртки, яку Ви зазвичай використовуєте для їзди на мотоциклі?



Як часто Ви використовуєте куртку для пересування на мотоциклі в межах міста?

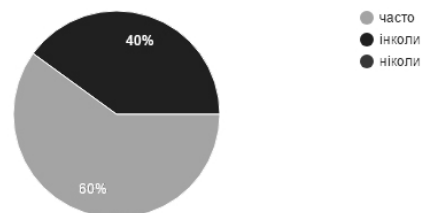


Рис. 2. Результати опитування експертів щодо призначення куртки

За результатами опитування виявлено, що 60% опитаних споживачів постійно використовують куртку для їзди на мотоциклі, а 40% – лише іноколи. У 72% експертів мотоцикл є єдиним видом особистого транспорту, який використовують для пересування по місту. Щодо матеріалів, то 70,8% експертів вказали, що зовнішнім шаром куртки є текстиль, 29,2% – шкіра. Більшість експертів не задоволені захисними властивостями куртки, яку вони експлуатують під час їзди на мототранспорті. Зокрема, 60% опитаних відповіли, що їх куртка не захищає від травм. Слід відмітити, що до їх числа увійшли 48% опитаних, що користуються звичайною побутовою курткою під час їзди на мотоциклі, та 12% – спеціальною. При складних погодних умовах, таких як вітер та дощ, третина опитаних відповіли, що куртка не захищає їх від дії вітру, а 56% експертів вказали, що їхня куртка не захищає від дії атмосферних опадів. Варто зазначити, що ефективніший захист від дії атмосферних опадів та вітру забезпечує спеціальна куртка для мотоциклістів, а споживачі, що використовують при їзді на мотоциклі побутову куртку, не задоволені її захистом від дії метеофакторів.

У 52% експертів куртка не завжди забезпечує зручність рухів під час керування мототранспортом. Більшість споживачів (72%) задовольняє маса куртки, однак 28% споживачів вказали незадоволення масою куртки. Посадка куртки на фігурі не задовольняє 32% опитаних експертів. Зручність у користуванні певними елементами (кишенями, застібками, тощо) підтвердили 44% опитаних споживачів, тоді як 56% споживачів вказали на незручність користування ними. 24% опитаних вважають, що їхня куртка не відповідає сучасному стилю та напрямку моди. Кольорове вирішення куртки не задовольняє 20% споживачів. Стійкість матеріалів та швів одягу до пошкодження не задовольняє 56% опитаних. Найбільш типовим зношенням курток є фізичне у 68% опитаних, у 16% – моральне зношення та у 16% – передчасне, внаслідок ДТП. Вартістю куртки не задоволені 93,3%.

Таким чином, в результаті анкетного опитування встановлено, що існуючий побутовий одяг, який використовують для їзди на мототранспорті, не задовольняє споживачів за своїми властивостями і не забезпечує ефективного захисту під час експлуатації. Тому формування науково обґрунтованих вимог є обов'язковою передумовою створення ефективного одягу для занять мотоспортом. Споживчі вимоги до мотоциклетного одягу залежать від функцій, які він виконує і визначають його властивості.

Аналіз умов експлуатації дозволив встановити, що основною функцією мотоциклетного одягу є захисна. Тобто даний вид одягу покликаний, перш за все, захищати організм людини від негативної дії кліматичних факторів навколишнього середовища (понижених температур, вітру, опадів) та механічних ушкоджень, крім того, бути довговічним та надійним в експлуатації. Фізіолого-гігієнічна функція полягає в забезпеченні зручності користування одягом в статичній і динамічній та у створенні комфортного мікроклімату підодягового простору. Естетична функція полягає у художній виразності та відповідності одягу сучасному стилю та моді. У відповідності із вищезазначеним, розроблено структуру споживчих вимог до мотоциклетного одягу, визначені його властивості та основні засоби, за допомогою яких забезпечують реалізацію властивостей (табл. 3).

Методом експертної оцінки з переліку зазначених властивостей відібрано ті, що найбільше визначають відповідність одягу його призначенню та реальним умовам експлуатації, які він повинен задовольняти.

Таблиця 3

Структура споживчих вимог до одягу для мотоциклістів

Функції одягу	Вимоги до одягу	Властивості одягу	Основні засоби реалізації властивостей одягу
Захисні	захисні	вітрозахисні (x_1);	пакет матеріалів, конструкція одягу
		водозахисні (x_2);	матеріали верху, конструкція
		теплозахисні (x_3);	матеріали верху
		травмозахисні (x_8);	накладки, протектори
	експлуатаційні	стійкість матеріалів та швів до розривальних навантажень (x_4);	матеріали верху, методи обробки
		стійкість матеріалів до стирання (x_5);	матеріали верху
		стійкість одягу до прання та до хімічної чистки (x_6);	матеріали пакета
		ремонтпридатність одягу (x_7);	матеріали пакета, конструкція одягу, методи обробки
Фізіолого-гігієнічні	гігієнічні	гігроскопічність, паропроникність (x_9);	матеріали пакета
	ергономічні	статична відповідність (x_{12});	конструкція одягу
		динамічна відповідність, зручність під час одягання скидання (x_{13});	конструкція одягу
		зручність користування окремими елементами одягу (x_{14});	конструкція одягу
		маса одягу (x_{15});	матеріали пакета, конструкція
Естетичні	художньо-естетичні	художня виразність одягу (x_{11});	матеріали верху та підкладки, конструкція
		відповідність одягу сучасному стилю та моді (x_{10});	матеріали пакета, конструкція

Експертам, якими виступили 10 викладачів кафедри технологій та конструювання швейних виробів Хмельницького національного університету та 25 водіїв мотоциклів (склад яких наведений в табл. 2), було запропоновано визначити, яке місце, на їх думку, займає певна властивість мотоциклетної куртки у загальному переліку. На основі результатів опитування на ПК за спеціальною програмою StartPlus виконано апріорне ранжування властивостей одягу, результати якого приведені на рис. 3.

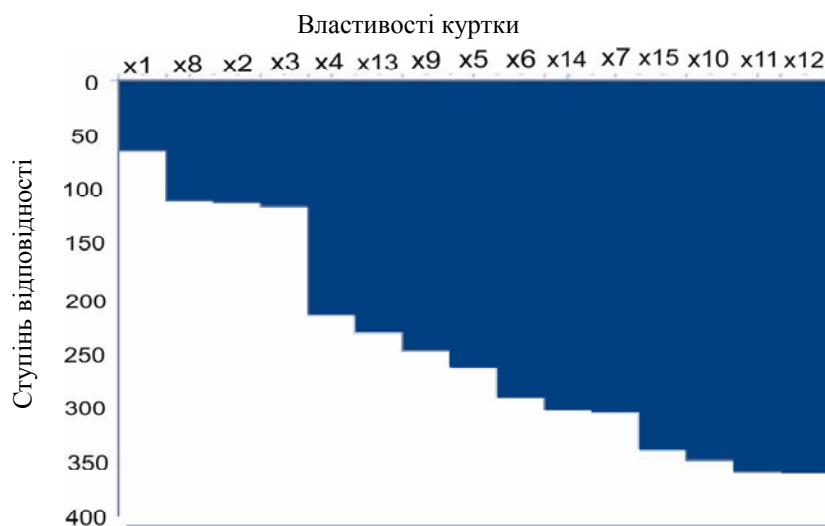


Рис. 3. Середня апріорна діаграма рангів

Як видно з гістограми, найвищий ранг більшість експертів віддали вітрозахисним властивостям (x_1), на другому місці – захист від травматизму (x_8), на третьому – водозахисні властивості (x_2), четверте місце отримали теплозахисні властивості (x_3), п'яте – стійкість матеріалів та швів до роздирання (x_4), шосте – динамічна відповідність (x_{13}), сьоме – гігієнічні властивості куртки (x_9).

Розрахунок коефіцієнта конкордації ($W = 0,540687$) і критерію Пірсона ($\chi^2_{\text{Пірсона}} = 227 > \chi^2_{\text{кр}} = 23,42$) доводять, що між думками експертів є узгодженість.

Отже, за результатами анкетування сформовано масив вихідної інформації та визначено найбільш значущі показники властивостей мотоциклетної куртки, що дозволяє виявити шляхи удосконалення процесу її проектування та розробити раціональну конструкцію виробу.

Висновки

Як видно із вище викладеного, популяризація мотоспорту в Україні призвела до збільшення кількості громадян, які використовують мототранспорт як зручний засіб пересування по місту та за його межами та аматорів, що займаються деякими видами мотоспорту. Однак через значну вартість не всі власники мототранспорту мають можливість користуватися спеціальним одягом для занять мотоспортом, який забезпечує ефективний захист водія.

Встановлено, що значна частина мотоциклістів використовують під час їзди звичайний побутовий одяг, який не забезпечує достатню зручність рухів, захист від можливих травм та складних метеорологічних умов і тим самим наражаються на небезпеку. Результати експертного опитування щодо властивостей, які повинен забезпечувати одяг, показали, що найважливішими повинні бути вітро-, травмо-, водо-, теплозахисні властивості, стійкість матеріалів й швів до роздирання, та динамічна відповідність.

Тому дослідження щодо вдосконалення побутового одягу з можливістю використання під час їзди на мотоциклі повинні бути направлені на підвищення його захисних, ергономічних властивостей.

Література

1. Украинский моторынок почти сравнялся по объемам с российским [Електронний ресурс] // Информационно-аналитическая группа Auto Consulting. – 2017. – Режим доступа : <http://autoconsulting.com.ua/article.php?sid=38039>.
2. Розанова Е.А. Разработка структуры показателей качества одежды для занятий экстремальными видами спорта / Е.А. Розанова, Н.Г. Москаленко, Н.Н. Номоконова // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6.
3. Анисимова Н. В. Анализ требований и разработка рекомендаций по проектированию одежды для горнолыжного спорта / Н.В. Анисимова // ЛегПромБизнес. – 2008. – № 9. – С. 157.
4. Краснюк Л.В. Особливості проектування спортивного теплозахисного одягу для гірських туристів / Л.В. Краснюк, О.М. Троян // Вісник ХНУ. – 2010. – № 5. – С. 7–12.
5. Краснюк Л.В. Дослідження споживчих властивостей жіночих утеплених курток / Л.В. Краснюк, О.В. Чорна, О.М. Троян // Вісник ХНУ. – 2010. – № 5. – С. 7–2.
6. Полька Т. О. Удосконалення процесу створення індивідуального дизайну комбінезонів для занять картинговим спортом / Т.О. Полька, О.С. Назарова, М.В. Колосніченко // Теорія та практика дизайну. – 2015. – № 8. – С. 226–232.
7. Пат. DE000003901191, Нідерланди, МКИ A41D 13/A41H 43/A42B 3. Protective suit for motorcyclists, having an integrated helmet / BLUEMEL KURT DIPL ING. – № 3901191 ; заявл. 17.01.89 ; опубл. 24.08.89.
8. Пат. EP3127756, МКТ B60R 21/013, B60C 23/00, B60C 23/04. Impact detection device/Silani Enorico, Ronco LuigiI. – №16182836 ; заявл. 04.08.2016 ; опубл. 08.02.2017.
9. Пат. US20080040832, США, МКИ A41D 1/00, A41D 3/02. Ventilated garment / Bay Marc A., Cesari and McKenna. – № 11504522 ; заявл. 15.08.06 ; опубл. 21.02.08.
10. Пат. DE000019640626, Нідерланди, МКИ A41D 13/A41F 9/A44B 19. Protective clothing for motorcyclists / Schwarz Thomas Theodor, Steffens Joern Peter. – № 19640626 ; заявл. 01.10.96 ; опубл. 16.04.98.
11. Пат. DE000003228720, Нідерланди, МКИ A41D13, A41F5. Weather-proof suit. Especially for motorcyclists / Kalambach Karl, Spitzenberger Erwin. – № 3228720 ; заявл. 31.07.97 ; опубл. 02.02.99.
12. Пат. CN101467796, Китай, МКИ A41D 13/00, B62J 33/00. Anti-cold clothing / Sun Chengmeng. – № 101467796 ; заявл. 26.12.07 ; опубл. 01.07.09.
13. Пат. EP0339000, МКИ A41D, A41D 1/04, A41D 13/00. A motorcyclis's jaket with a rear helmet-carrying / Bombrini Carlo. – № 89830164 ; заявл. 18.04.89 ; опубл. 25.10.89.
14. Пат. GB2484399, МКИ A41D 15/00, A41D 3/00, A41D 13/01. Improved jacket / Hutcheon Morag Fiona. – № 201117176 ; заявл. 05.10.11 ; опубл. 16.11.11.
15. Пат. US20090134992, США, МКИ A41D 13/01, B60Q 5/00, B60Q 1/54. Motorcycle safety brake and running light for jaket or vest / Pacheco Victor Manuel, Kim Chong Hui. – № 12290182 ; заявл. 28.10.08 ; опубл. 28.05.09.
16. Чех А. Історія мотоспорту в Україні / Артем Чех. – Київ : Основи, 2012. – 256 с.

Отримана/Received : 21.4.2017 р. Надрукована/Printed : 8.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Потапчук Є.М.

ЗАСТОСУВАННЯ КЛЕЙОВИХ З'ЄДНАНЬ ДЕТАЛЕЙ ОДЯГУ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЙОГО КОМФОРТНОСТІ

В даній статті показана можливість застосування клейових з'єднань деталей одягу швейних виробів для забезпечення їх комфортності. Обґрунтовано та експериментально доведено, що використання клеїв дає можливість замінити ручні операції машинними, підвищити виробництво одягу та продуктивність праці, покращити зовнішній вигляд і якість швейних виробів при невеликій вартості обробки. Авторами визначено фізико-механічні властивості досліджуваних тканин. Дослідні роботи виконувались при нормальних умовах, передбачених стандартами. Показано, що на основі аналізу структури, властивостей та показників якостей матеріалів можливий їх раціональний вибір для застосування клейових з'єднань деталей виробів. Авторами виконані експериментальні дослідження міцності клейових з'єднань тканин, які дозволили визначити найбільш стійкі матеріали до зношування. Встановлено, що тканини, які містять синтетичні волокна, володіють кращими механічними характеристиками. Представлені результати досліджень можуть бути основою методики вибору матеріалів тканин для клейових з'єднань, що значно спростить ряд технологічних операцій виготовлення виробів легкої промисловості.

Ключові слова: клейові з'єднання, комфортність, деталі одягу, швейні вироби, тканина.

O.V. NAKHAYCHUK, O.S. ZAKHAROV, A.A. MIZRAH

Vinnitsia Institute of designing of clothes and Entrepreneurship

APPLICATION OF GLUE JOINTS DETAILS OF CLOTHING TO PROVIDING ITS COMFORT

This article shows the possibility of applying the glue joints parts of wear garments, to provide their comfort. Grounded and experimentally proved that the use of glues makes it possible to replace manual operations machine to increase production of clothes and productivity, improve the appearance and quality garments at low cost processing. The authors defined physical and mechanical properties of investigated fabrics. Research work carried out under normal conditions stipulated standards. It is shown that by analyzing the structure, properties and indicators of quality materials it is possible to make their rational choice for applying the glue joints parts of a product. The authors performed experimental research of strength of the glue joints of fabrics, which allowed identifying the most resistant materials to wear. Found that fabrics that contain synthetic fibers have better mechanical properties. The results of the research can be based on the methodology of choice material for tissue adhesive joints, which greatly simplify the number of technological operations of manufacturing products of light industry.

Keywords: glue joints, comfort, details of clothing, garments, fabric.

Вступ

Під час виготовлення швейних виробів використовують різноманітні матеріали: тканини, трикотажні і неткані полотна, дубльовані матеріали, натуральне та штучне хутро, клейові матеріали, фурнітуру, підкладкові матеріали та інші. Кожний з цих матеріалів володіє комплексом своїх властивостей, які в асортиментній групі змінюються в широкому діапазоні.

В процесі виробництва та експлуатації швейних виробів тканини піддаються різноманітним механічним діям, які спричиняють деформації розтягу, стиснення, згину і т.д. Показники цих механічних властивостей мають велике значення для оцінки якості матеріалу, обґрунтування вибору для виробів різного призначення, а також розробки конструкції виробу та технологічного процесу його виготовлення. Механічні властивості визначають здатність матеріалу набувати і стійко зберігати форму виробу, зносостійкість та довговічність.

Зовнішній вигляд одягу залежить, перш за все, від якості тканин, які зумовлюють їх фізико-механічні властивості, стабільність структури.

Деталі одягу з'єднують різними способами: нитковим, клейовим, зварним, комбінованим, заклепочним. Використання того чи іншого способу з'єднання у кожному випадку залежить від експлуатаційних вимог, сучасних тенденцій моди, комфортності та інших факторів. Використання клеїв дає можливість замінити ручні операції машинними, підвищити виробництво одягу та продуктивність праці, покращити зовнішній вигляд і якість швейних виробів при невеликій вартості обробки. За допомогою клеїв з'єднують деталі виробу по контурам і по поверхні, забезпечуючи герметичність, еластичність, міцність швів, а також комфортність виробу в цілому.

Метою роботи є дослідження зносостійкості клейових з'єднань деталей одягу для забезпечення його комфортності.

Експериментальна частина

Оцінка поведінки клеїв та клейових з'єднань в умовах експлуатації є досить складною. Вирішити поставлене завдання, а саме застосування клейових з'єднань деталей одягу, можливо лише дослідним шляхом з використанням розрахунково-експериментальних методів досліджень в лабораторних умовах. При цьому із різноманітного комплексу факторів, які мають місце в умовах експлуатації тканин, необхідно врахувати найбільш вагомі.

Клеї мають здатність під впливом підвищених температур та тиску міцно з'єднувати поверхні різних текстильних матеріалів. Для склеювання тканини використовують наступні види клеїв: ПА 6/66 (Клей №1, ПА 6/66/610), Клей №2, ПА 12/6/66 (П12АКР), ПВБ, ПСВО. Вони застосовуються у вигляді клейових плівок шириною 3-6 мм для утворення клейових швів. Склеювання виконується на пресі при

температурі 150–180 °С, тиску від 0,1 до 0,5 кгс/см², протягом 20–90 секунд залежно від виду тканини.

Завдяки проведеним дослідом клеї переважно застосовують у вигляді моновиток товщиною від 0,1 до 0,5 мм. При використанні клейових ниток шви в декілька разів міцніші, ніж клейові шви інших видів.

Аналіз структури і оцінка властивостей матеріалів, які використовуються, дозволяють оптимально підібрати матеріали для виробу. Для цього необхідно визначити характеристики якості тканин, які визначаються в залежності від і показників фізико-механічних властивостей для виробів в різного призначення (табл. 1).

Таблиця 1

Показники фізико-механічних властивостей дослідних тканин

Властивість	Значення тканин			Методи досліджень
	“Абелла”	“Флок”	“Сіра костюмна”	
Товщина, мм	0,60	0,80	0,62	По ГОСТ 3811-72
Маса 1 м ² , г	229,17	352,1	254,17	По ГОСТ 3811-72
Розривальне навантаження, даН				
за основою	10,6	17,2	56	По ГОСТ 3812-72
за утком	15,8	2,8	54	По ГОСТ 3812-72
Розривне видовження, даН				
за основою	166	17	74	По ГОСТ 3812-72
за утком	126	30	55	По ГОСТ 3812-72
Незмінання, %				
за основою	66,66	30,55	22,22	По ГОСТ 19204-73
за утком	16,66	13,88	14,44	По ГОСТ 19204-73
Жорсткість при згині, мкН см ²				
за основою	80296,18	2298,11	2542,12	По ГОСТ 10550-75
за утком	80296,18	3477,77	3695,68	По ГОСТ 10550-75
Драпірувальність, %				
за основою	80,18	63,48	55,62	По методиці ЦНДІШП
за утком	80,18	59,75	56,16	По методиці ЦНДІШП
Стійкість до тертя, цикли	2349	7967	19176	По методиці ЦНДІШП

Дослідні роботи виконувались при нормальних умовах, передбачених стандартом (ГОСТ 10681-75) [1]. Використано зразки трьох видів тканин різного волокнистого складу (“Абелла”, “Флок”, “Сіра костюмна”). Тканини досліджено на розривне навантаження та розривне видовження, згідно ГОСТ 17922-72 «Ткани штучные и изделия текстильные. Метод определения раздирающей загрузки» на розривній машині РТ-250М. Для дослідних робіт було використано метод малих смужок, призначений для випробування на розривання зразків пробних смужок шириною 25 мм при затискній довжині 200 мм (ГОСТ 3812-72) [2]. Цей метод застосовують при випробуванні тканин і трикотажних полотен.

Важливе значення для одягу має жорсткість тканини. Жорсткість при згині матеріалів для одягу визначається методом консолі. Цей метод визначення жорсткості матеріалів під дією власної маси, без примусової деформації. За методом консолі визначення жорсткості виконували на приладі ПТ-2 (ГОСТ 10550-75). За кінцевий прогин зразка було прийнято середнє арифметичне значення результатів десяти вимірів з точністю до 0,1 мм.

Тертя є однією з основних причин зносу одягу, тому стійкість до тертя внесена для ряду матеріалів в номенклатурі стандартних показників. Значно впливають на результати досліджень вид абразивного матеріалу, величина тиску абразиву на зразок та сила натягу матеріалу, який випробують. Оцінювати стійкість матеріалу до тертя можна на різних стадіях випробування. Для отримання відповідних результатів необхідно, щоб для всіх порівнювальних матеріалів був єдиний критерій оцінки. Таким критерієм вибрано стирання до повного зносу (до дірки) – число циклів приладу, яке характеризує витривалість матеріалу, або час випробування до руйнування зразка, яким визначається довговічність. Для визначення стійкості клейових з’єднань до тертя застосовано прилад марки ДІТ, який виконує тертя по площі. За критерій оцінки було вибрано стійкість тканини до тертя за методикою ЦНДІШП [2].

Встановлено, що показники фізико-механічних властивостей дослідних тканин “Абелла”, “Флок” та “Сіра костюмна” відповідають нормативним показникам (ГОСТ 3810-72) [2]. Тканини, що містять синтетичні волокна, володіють кращими характеристиками (міцні, пружні, зносостійкі, малоусадочні).

В сучасних умовах виробництва недостатньо широко використовують клейовий метод з’єднання деталей одягу. Використання клеїв дає можливість замінити ручні операції машинними, підвищити продуктивність праці, покращити зовнішній вигляд і якість швейних виробів при невеликій вартості обробки. За допомогою клеїв можливо з’єднувати деталі виробу як по їх контурам, так і по великим площам, забезпечуючи герметичність, еластичність і міцність швів без деформації з’єднаних матеріалів.

Клеї-розплави володіють здатністю під впливом підвищених температур під тиском міцно з’єднувати поверхні різних текстильних матеріалів. У процесі склеювання клейова речовина переходить у

термопластичний стан та в результаті зовнішнього зусилля пресування у розплавленому вигляді проникає у товщину матеріалів, що з'єднуються. Після охолодження деталей, клейова речовина переходить у твердий стан, що забезпечує міцність з'єднаних матеріалів.

Клеї-розплави застосовують для формування пакету одягу. Вони повинні забезпечувати міцні, еластичні, стійкі до вологи, світлопогоди та тертя шви. Клеї мають зберігати свої властивості під час експлуатації виробу та догляду за ними, не містити і не виділяти речовин, шкідливо діючих на організм людини [3]. За критерій оцінки клейових з'єднань вибрано:

- стійкість клейових з'єднань до тертя;
- розривне навантаження.

Для вивчення закономірностей зношування клейових з'єднань тканини від дії тертя в лабораторних умовах було проведено ряд випробувань зразків трьох видів тканин "Абелла", "Флок" та "Сіра костюмна" [4].

За результатами випробувань побудовано діаграму оцінки тертя клейових з'єднань (рис. 1).

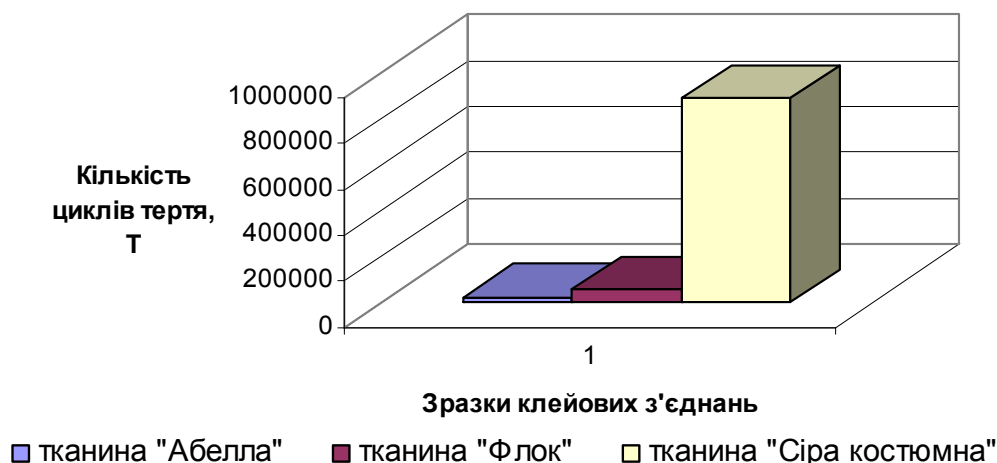


Рис. 1. Діаграма оцінки тертя клейових з'єднань (клей UM-32)

В результаті аналізу даних діаграми встановлено, що тканина "Сіра костюмна", більш стійка до дії факторів зносу, оскільки в ній зменшується кількість циклів тертя.

Якщо проаналізувати результати випробувань, то слід зазначити, що зношування текстильних матеріалів, насамперед, відбувається в місцях контакту тканини з іншою поверхнею. Характер руйнування залежить від структури матеріалу, волокнистого складу тощо. Дія руйнуючих зусиль під час тертя починається з деформації матеріалу без його руйнування. Потім сили тертя починають діяти в різних напрямках, що призводить до багаторазових розтягнень та стиснень інших мікроділянок. В місцях дотику з поверхнею відбувається перенапруження волокон і ниток, в результаті чого виникають мікротріщини, що призводять до локального витирання.

Для визначення розривного навантаження використано тканину "Сіра костюмна" та клей UM-32. Тканину вибрано з врахуванням оцінки стійкості до тертя.

Дослідження виконували на розривній машині РТ-250М з постійною швидкістю опускання нижнього зажиму 150 мм/хв. За стандартною методикою, згідно ГОСТ 3811-72, використано 3 смужки тканини за основою і 3 за утком, розміром 25×200 мм, за якими визначено міцність на розрив.

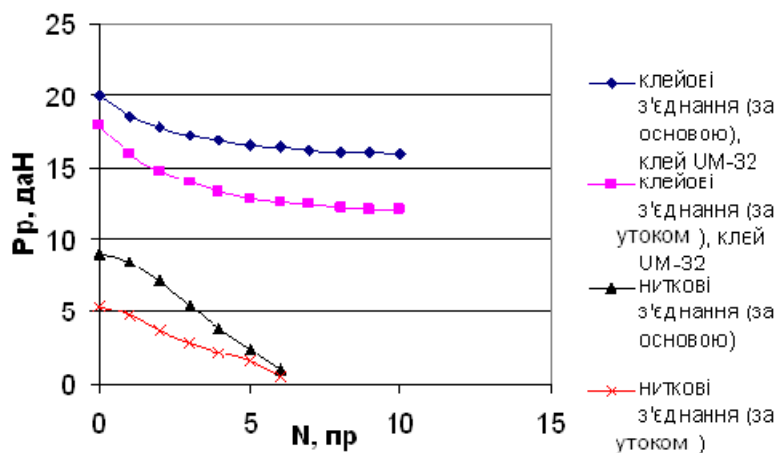


Рис. 2. Залежність розривного навантаження (Pr) тканини "Сіра костюмна" від кількості циклів прання (N)

За результатами випробувань було побудовано графік залежності зміни розривного навантаження

від кількості циклів прання (рис. 2).

Експерименти показали, що міцність клейових з'єднань в ряді випадків значно перевищують ниткові шви, але після десятикратного прання характеристики міцності поступово зменшують свої значення. Ниткові шви втрачають свої властивості та розшаровуються вже після шестиразового прання. В деяких випадках виникає руйнування не клейового шва, а самого матеріалу.

Встановлено, що міцність клейового шва залишається на рівні 85% від вихідної після 10 циклів прання для клею UM-32. При використанні даного клею можна спостерігати, що шви міцні, еластичні та стійкі до дії прання. При статичній обробці результатів досліджень використовувались прикладні програми.

Висновки

В даній роботі показано, що на основі аналізу структури, властивостей та показників якостей матеріалів тканин можливий їх раціональний вибір для застосування в клейових з'єднаннях виробів. Виконані експериментальні дослідження виявили закономірності руйнування клейових з'єднань тканин, дозволили визначити найбільш стійкі матеріали до зношування. Представлені результати досліджень можуть бути основою методики вибору матеріалів тканин для клейових з'єднань, що значно спростить ряд технологічних операцій виготовлення виробів легкої промисловості.

Література

1. Лабораторний практикум по матеріалознавству швейного виробництва / [Бузов Б. А., Пожидаєв Н. Н., Павлов А. І., Адіменкова Н. Д.].- М.: Легка індустрія, 1979.
2. Эксплуатационные свойства материалов для одежды и методы оценки их качества: Справочник/ [Гушина К.Г., Беляева С.А., Командрикова Е.Я. и др.].- М.: Легкая и пищевая про-сть, 1984.-312л., ил.
3. З. Кардашов Д.А. Синтетические клеи.- М.: Химия, 1965.- 494с.
4. Прошина Н.В. Матеріалознавство: [Лабораторний практикум для студ. спец. "Швейні вироби"]/ Укл.: Н.В. Прошина, Л.В. Кравцова.- Хмельницький: ТУП, 2003.- 56с.

Отримана/Received : 18.5.2017 р. Надрукована/Printed :9.6.2017 р.

Рецензент: к.ф.-м.н., доцент Шньорко В.М.

УДК 677. 712

Г.С. ОЛІЙНИК

Хмельницький національний університет

І.О. КОЛОС

Львівський національний університет імені Івана Франка

Н.В. НАШИЛОВА

Тернопільський національний економічний університет

ГЕОТЕКСТИЛЬ: ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ У ЛАНДШАФТНОМУ ДИЗАЙНІ

На вітчизняному ринку все більшим попитом користується геотекстиль, що використовується в контакт з ґрунтом або іншими матеріалами у різних галузях господарювання. В статті викладено особливості використання геотекстилю, завдяки якому можна створювати нові дизайнерські композиції у ландшафтному дизайні. Створено класифікацію геотекстиль, яку можна вдосконалювати відповідно до споживчого попиту. Сформульовано висновки стосовно перспективності приведеної класифікації.

Ключові слова: геотекстиль, ландшафтний дизайн, класифікація.

G.S. OLIJNUK

Khmelnitsky National University

I.O. KOLOS

Ivan Franko National University of Lviv

N.V. NASHYLOWA

Terнопil National Economic University

GEOTEXTILE: PECULIARITIES OF USAGE IN THE LANDSCAPE DESIGN

In the domestic market the demand for geotextiles that is used in contact with soil or other materials in various fields of home keeping is increasing. In the article the peculiarities of geotextiles, through which you can create new design compositions in landscape design are shown. A classification of geotextiles which can be improved according to consumer demand is created. The conclusions are made regarding the prospects of classification.

Keywords: geotextile, landscape design, classification.

Вступ

Геотекстиль на сучасному ринку є конкурентоспроможною продукцією, попит на яку збільшується з кожним роком. Геотекстиль представляє собою плоский матеріал із волокон (ниток), що використовується в контакт з ґрунтом або іншими матеріалами у різних галузях господарювання [1]. Особливий інтерес

вітчизняних споживачів спостерігається в останні роки до використання геотекстилю в ландшафтному дизайні.

Головними виробниками геотекстилю є Північна Америка, Європа та Японія. На вітчизняному ринку переважає імпортована продукція, що становить 60% продукції на ринку. Вітчизняні виробники геотекстилю задовольняють потреби лише частково, що пов'язано, передусім, з відсутністю власної сировинної бази.

Геотекстильні матеріали, як правило, виготовляють із хімічних волокон (віскозних, поліефірних, поліамідних, поліпропіленових та інших). Частка натуральних волокон (ляних, джутових, кокосових, бавовняних, вовняних), що використовується під час виготовлення цих матеріалів становить лише 5% від сировини для основного асортименту геотекстилю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Провідними вітчизняними та закордонними науковцями: В.В. Живетіним, Л.Н. Гінзбургом (Росія), Л.А. Чурсіною, Г.А. Тіхосовою, С.В. Бобирь (Україна), Л. Мурфі, Х. Берінгом (Німеччина), Р. Козловським (Польща), П.Л. Каполетто (Італія) доведено, що геотекстиль можна виробляти з целюлозовмісної сировини. В Україні є потенційні можливості для виробництва органічного геотекстилю із волокон льону олійного.

Зокрема, С.В. Бобирь разом з іншими вітчизняними науковцями розробили технології поглибленої переробки стебел льону олійного для виготовлення органічного геотекстилю різного цільового призначення [2]. Це дозволить суттєво здешевити продукцію для споживача.

О.В. Кириченко досліджував властивості геотекстилю нетканого та ним була сформована ієрархічна структура показників якості геотекстильних нетканних матеріалів (ГНМ) із застосуванням аналітичних та кваліметричних методів для ландшафтного призначення. Встановлена номенклатура показників підтверджує вимоги спеціалістів та споживачів до ГНМ ландшафтної сфери та дозволяє визначати якість цих матеріалів [3]. Функція фільтрування є досить важливою для ГНМ. Л. В. Пелик та О.В. Кириченко звернули увагу на особливості ГНМ під час їх використання у якості фільтрувального шару [4]. Зокрема, ними були проведені дослідження пористості та діаметру фільтраційного ходу ГНМ, які забезпечать можливість вибрати такі зразки, які будуть менше піддаватися кольматації під час контакту із ґрунтом та проходження води у системі «ГНМ - ґрунт». Дослідження, проведені російськими науковцями А.В. Демкиной, А.В. Курденковой, Ю.С. Шустовым [4] свідчать про те, що холод має менш згубну дію на геотекстиль ніж ґрунт, так як земля забиває пори геотекстильного полотна та приводить до його швидкого ущільнення та зниження міцності при цьому. Вважаємо, що можливості ГНМ у ландшафтному дизайні є величезними та потребують подальших досліджень.

Метою статті є виділення особливостей застосування геотекстилю у ландшафтному дизайні та визначення класифікації геотекстилю для ландшафтного дизайну.

Виклад основного матеріалу

Геотекстиль (Рис.1) вперше появився в середині 60-х років 20-го століття в США і в Європі (Франції). В 70-і роки 20-го століття нетканий голкопробивний текстиль стали виробляти в Росії.



Рис. 1. Геотекстиль

Завдяки використанню в ландшафтному дизайні геотекстилю можна створювати нові дизайнерські композиції.

При покращенні якості садових та під'їзних доріжок доцільність використання геотекстилю в тому, що проложений між засипним матеріалом та ґрунтом він оптимізує ущільнення таким чином, що насипний матеріал практично не буде проникати в ґрунт. Це буде сприяти зниженню розходу насипного матеріалу. Крім того, геотекстиль має сприяти швидкому відтоку води і перешкоджати росту бур'янів та трави. На заболочених участках ґрунту він буде виконувати функцію міцного армування.

Особливістю застосування геотекстилю для таких робіт є використання геотекстилю, що є, стійким до дії ультрафіолету та не деформується в процесі експлуатації.

При гідроізоляції декоративних водойм геотекстиль має забезпечити міцність ізоляції та захист від

зовнішніх пошкоджень спеціальної гідроізоляційної чаші.

Особливістю застосування геотекстилю для таких робіт є використання геотекстилю, що має високу розтягуючу здатність, еластичного та міцного.

При облаштуванні опорних насипних стінок та фундаментів геотекстиль має забезпечити ефективний дренаж та розділення шарів, мінімізуючи при цьому контакт поверхні бетонної основи з вологою.

Особливістю застосування геотекстилю для таких робіт є використання геотекстилю, що має низький ступінь поглинання води, стійкий до дії грибка та плісняви; який запобігає зміщенню та просіданню конструкції, вимиванню та ерозії ґрунту, здійснює дренаж зайвої води.

При оформленні альпійських гірок та створення відкритих площадок геотекстиль використовують для знешкодження можливого проростання трави та бур'янів, захищають корені рослин від спекотного сонця або ж, навпаки, від холоду, укріплення поверхні тощо.

Особливістю застосування геотекстилю для таких робіт є використання геотекстилю, що укріпить поверхню схилу ґрунту, нерівної поверхні чи насипу, забезпечивши при цьому потрібну фільтрацію та вчасне відведення води.

При використанні в садівництві, відновленні родючості ґрунтів та рослинного покриву геотекстиль використовують для того, щоб зменшити ймовірність розростання коріння дерев, вимивання родючого шару ґрунту і зростання бур'янів. Даний матеріал з успіхом використовується для зонування під час висаджування різноманітних декоративних рослин, влаштування квітників, обмеження зростання коренів дерев і чагарників.

Особливістю застосування геотекстилю для таких робіт є використання такого матеріалу, який би забезпечив добру фільтрацію та дренаж.

При використанні в озелененні даху геотекстиль вкладають поверх шару утеплювача. Він має попередити потрапляння між плитами утеплювача непотрібного матеріалу та одночасно забезпечити захист від зовнішніх пошкоджень та гарний вигляд ззовні.

Особливістю застосування геотекстилю для таких робіт є використання такого який забезпечить захисту гідроізоляції, розділення і фільтрації, дренажу, посилення, а також рівномірного розподілу навантажень на поверхню.

Таким чином, геотекстиль ефективно використовують для оформлення ландшафтного дизайну, розмежування архітектурних споруд, зон відпочинку, зміцнення рухомих ґрунтових покривів і бетонних перекриттів. Крім того, використання геотекстилю не потребує спеціальних навиків, а такі його властивості як стійкість до ультрафіолету, водонепроникність, відмінні дренажні та фільтруючі можливості дозволяють використовувати його в ландшафтному дизайні.

Геотекстиль, що використовується в ландшафтному дизайні відрізняється за хімічною будовою, властивостями, виконуваними функціями тощо. Пропонуємо класифікувати його наступним чином.

Класифікація за технологією виготовлення: нетканий (термоскріплений та голкопробивний); тканий

Нетканий геотекстиль виготовляють з нескінченних полімерних волокон або розплавленої полімерної маси, скріплених термічним або механічним (голкопробивним) способом. Він характеризується високою міцністю, підвищеною еластичністю та водонепроникністю, а також має високу розтягуючу здатність: подовження при розриві складає до 70%. Термоскріплений геотекстиль виготовляють шляхом фіксування волокон при високій температурі. В ландшафтному дизайні його не рекомендується вибирати для дренажу, проте він підходить для облаштування садових доріжок, укладання тротуарної плитки та захисту від бур'янів. Голкопробивний геотекстиль містить в своєму складі волокна полієфіру і поліпропілену, може мати 100% склад одного волокна, які під час виготовлення протягуються за допомогою зазублених голок через шари основи. Голкопробивний геотекстиль називають ще фільц, повсть тощо. Матеріал добре пропускає вологу, але тільки в поздовжньому та в поперечному напрямку. Такий геотекстиль є міцним та не деформується при експлуатації впродовж довгого часу. Голкопробивний геотекстиль є екологічно чистим продуктом, нейтральним до агресивного середовища (тобто не змінює своїх властивостей при контакті з вологою чи хімічними сполуками), нетоксичний, стійкий до дії ультрафіолетового випромінювання, температурних перепадів, не піддається процесу гниття, пошкодження мікроорганізмами, бактеріями чи грибами. Окрім вище перерахованих переваг геотекстиль є стійким до механічних пошкоджень, міцний в порівнянні з тканим, має високий рівень зносостійкості.

Геотекстиль голкопробивний використовується в ландшафтному дизайні при будівництві фундаментів будівель, покрівель, укладається під тротуарну плитку або бруківку. В залежності від складу, щільності та товщини геотекстильного полотна в ландшафтному дизайні можна застосовувати для фільтрації та дренажу; для ущільнення, підвищення міцності будівельних конструкцій.

Тканий геотекстиль виготовляють як і тканину на виробництві. Він може містити в своєму складі волокна 100% полієфіру, або ж волокна пропілену та полієфіру які прошивають нитками, додатково просочують, формують щільну поверхню. Такий вид геотекстилю називають ще в'язально-прошивним. Тканий геотекстиль є менш стійкий вид матеріалу, в порівнянні з нетканим геотекстилем. Крім того, тканий геотекстиль не стійкий до розривів і розтягувань. Особливістю цього геотекстилю є пористість, завдяки якій він широко застосовується в гідродренажних системах.

Класифікація по вихідному матеріалу: полієфірний; поліпропіленовий; поліамідний; поліетиленовий.

Полієфірний геотекстиль завдяки своїй структурі виконує армуючу функцію, має низький ступінь

поглинання води; не є токсичним, антиалергенний. виготовляється зі 100-відсоткової первинної сировини. Має такі властивості як висока міцність; стійкість до дії грибка і плісняви, до гниття та лужного середовища.

Поліпропіленовий геотекстиль застосовують для підсилення ґрунту, поділ шарів ґрунту, фільтрації, відведення ґрунтових і стічних вод.

Поліамідний геотекстиль представляє собою матеріал з поліамідних ниток, термічно скріплених між собою у місцях перетинів. Завдяки тому, що 90% об'єму матеріалу складають порожнини, цей матеріал здатен утримувати дрібні часточки ґрунту та насіння рослин. Матеріал ефективний для армування кореневої системи та захисту поверхні від водяної та повітряної ерозії.

Поліетиленовий геотекстиль найчастіше застосовується у формі решіток, що представляють собою конструкцію з скріплених між собою у вигляді сот поліетиленових стрічок товщиною 1,5 мм. Поліетилен, з якого виготовлена георешітка нейтральний до агресивного середовища, нетоксичний, стійкий до ультрафіолетового випромінювання, масло-лугостійкий, стійкий до прісної і солоної води, що зберігає його характеристики протягом багатьох років експлуатації. Георешітка може використовуватись самостійно в ландшафтному дизайні. Георешітка в комплексі з геотекстилем (рис. 2) запобігає зміщенню, просіданню, розтріскуванню конструкції, вимиванню і ерозії ґрунту, здійснює дренаж зайвої води. Застосування георешітки дозволяє значно зменшити товщину насипу шляхом її армування, а також активно використовувати навіть відходи будівельних матеріалів і ґрунт.

Георешітка застосовується для протиерозійного захисту схилів, зведення підпірних стін різної висоти і з будь-яким кутом закладення, перешкоджає вимиванню ґрунту і зберігає, таким чином, рослинність. Георешітка дозволяє виконувати роботи з монтажу в діапазоні температур від -40°C до $+60^{\circ}\text{C}$, матеріал нейтральний до агресивних середовищ, екологічно безпечний. Після завершення розвитку рослинного покриву георешітка стає практично невидима.



Рис. 2. Використання георешітки разом з геотекстилем

Класифікація за просоченням: без антисептика; з латексною просоченням; з пластифікаторами та пластмасовими просоченнями.

При виборі геотекстилю для ландшафтного дизайну варто пам'ятати, що просочений геотекстиль практично позбавлений фільтруючої функції.

Класифікація за призначенням: фільтруючий геотекстиль; армуючий з низькою розтяжністю; універсальний геотекстиль; з високою розтяжністю.

Класифікація за щільністю полотна: низької; середньої; високої.

Щільність полотна представляє собою вагу одного квадратного метра покриття. Саме від цього показника залежать всі основні експлуатаційні властивості матеріалу. Зі збільшенням щільності істотно зростає механічна міцність, але знижується коефіцієнт фільтрації води. Тому щільність геотекстилю для дренажу не повинна мати високих значень, зазвичай використовується матеріал з показником $100\text{--}150\text{ г/м}^2$. Покриття з більшою щільністю застосовують при зведенні фундаментних конструкцій і виконанні дорожніх робіт. Матеріал щільністю $100\text{--}150\text{ г/м}^2$ використовується для облаштування декоративних ставків, газонів, насипів, захисту від коренів, щільністю $180\text{--}200\text{ г/м}^2$ – для будівництва доріжок, як основа під тротуарну плитку, фундамент, для розділення шарів ґрунту, захисту від коренів; щільністю 250 г/м^2 – для будівництва доріг, які рідко експлуатуються, а також поділу ґрунту. Геотекстиль зі щільністю понад 300 г/м^2 не використовують в ландшафтному дизайні.

Класифікація за водопроникністю: водопроникний; водонепроникний; середньої проникності. Сформована класифікація геотекстилю для ландшафтного дизайну представлена на рис. 3.



Рис. 3. Класифікація геотекстилю для ландшафтного дизайну

Висновки

Вимоги споживачів до геотекстилю, що використовується в ландшафтному дизайні, зростають. Запропонована в статті класифікація геотекстилю для ландшафтного дизайну вперше поєднала різні характеристики геотекстилю, що мають забезпечити певне функціональне призначення його в залежності від особливостей дизайнерської композиції. Класифікація має забезпечити ширше використання геотекстилю відповідно до споживчих потреб.

Література

1. Мануйленко В.Г. Геосинтетические материалы: классификация, свойства, область применения / В.Г. Мануйленко, Е.Ф. Орел, Е.О. Кабернюк, О.В. Слотюк // Збірник наукових праць Української державної академії залізничного транспорту. – 2011. – № 126. – С. 23–238.
2. Бобирь С. В. Розроблення технології переробки стебел льону олійного з метою одержання органічного геотекстилю : дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук : 05.18.02 / Бобирь Сніжана Вітадіївна. – Херсон., 2015. – 267 с.
3. Кириченко О.В. Геотекстиль нетканый: вибір показників властивостей для оцінки рівня якості та формування асортименту / О.В. Кириченко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 4. – С. 67–73.
4. Пелик Л.В. Особливості застосування геотекстильних нетканых матеріалів у якості фільтрувального шару / Л.В. Пелик, О.В. Кириченко // Вісник Хмельницького національного університету. – 2016. – № 1. – С. 207–211.
5. Демкина А.В. Влияние воздействия природной среды на механические характеристики геотекстильных нетканых полотен / А.В. Демкина, А.В. Курденкова, Ю.С. Шустов // Научные труды молодых ученых Костромского государственного технологического университета. – 2014. – Вып. 15. – С. 20–22.

Отримана/Received : 9.4.2017 р. Надрукована/Printed : 9.6.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Карван С.А.

УДК: 54.001

НЕВЗАТ А. ГЮНДЖЕГОРЮ НЕВЗАТ
Институт проблем образования Азербайджанской Республики

ПРИНЦИПЫ ОБЩЕГО РЕШЕНИЯ СТАНДАРТНЫХ ЗАДАЧ ПО ХИМИИ

Во многих случаях в целях определения единственного решения задачи по химии в условиях задачи указываются все сведения. Для определения искомой величины сведений в условиях приводятся не противоречащие решению задачи дополнительные сведения. В решении такого рода задач всегда получается одинаковый результат, не зависимо от используемых материалов. В решении многих стандартных решений все необходимые сведения приводятся в условиях задачи. Поэтому, в решении таких задач нет необходимости поиска специальных методов. Можно провести расчеты с использованием известных формул, простых пропорций и тривиальных методов.

Ключевые слова: задача, уравнение, решение проблем, математический расчет, молекулярная масса.

NEVZAT A. GYUNDZHEGORU NEVZAT
Institute of Educational Problems of Azerbaijan Republic

PRINCIPLES OF THE GENERAL SOLUTION OF STANDARD TASKS OF CHEMISTRY

The only solution to the research problem in many cases is accurate information. In order to determine the amount of information required, it is sometimes referred to additional information. Regardless of the data used to solve these problems, the same result is always obtained. Many standard methods of solving problems in chemistry provide all the necessary coefficients of the equation in the condition of the problems. Thus, there is no need to create special methods for solving such problems. Famous formulas by using simple relationships help you go through all the stages of calculation.

Key words: problem, equation, solution of problems, mathematical calculation, molecular weight.

Постановка проблемы в общем виде. Единственное решение проблемы исследования во многих случаях – достаточно точная информация. В целях определения количества необходимой информации иногда речь идет о дополнительных сведениях. Независимо от использованных данных в решении этих проблем, всегда получается одинаковый результат. Многие стандартные методы решения задач в химии предусматривают все необходимые коэффициенты уравнения в условии задач. Таким образом, нет никакой необходимости в создании специальных методов для решения таких проблем. Известные формулы за счет использования простых соотношений помогают пройти все этапы расчета.

Анализ последних исследований и публикаций известных ученых в области новых методов решения стандартных задач по химии в данной статье представлен работами следующих авторов: Вагиф Аббасов, Муталлим Аббасов, Насим Абышов, Вели Алиев [1], Лидин Р.А., Молочко В.А., Андреева Л.Л. [2],

Ахметов Н.С. [3], Шрайвер Э. [4], Жамбулова М. Ш. [5].

Целью статьи является изучение новых методов поэтапного решения стандартных задач по химии.

Метод решения задачи. Метод поэтапного решения является одним из самых простых методов решения задачи. Например, в задаче, где требуется вычислить появившуюся в конечном итоге массу вещества, в схеме ряда последовательных химических трансформаций применяется указанный метод. В самом упрощенном случае нам не требуется обозначать переменную знаком «X», можно сразу проводить расчеты и найти ответ в числах. Решая задачи такого типа (табл. 1) целесообразно использовать количество молей. В таком случае можно даже пропустить некоторые алгоритмы.

Таблица 1

Задача 1. Смешанные растворы

раствор CaCl_2			раствор Na_3PO_4		
ω (%)	$\rho_{\text{рас}} (\text{г/мл})$	$V_{\text{рас}} (\text{мл})$	ω (%)	$\rho_{\text{рас}} (\text{г/мл})$	$V_{\text{рас}} (\text{мл})$
10	1,089	100	4	1,04	150

Полученный после реакции осадок отделяется путем процеживания. Вычислите массовую долю соли в полученном растворе (в %). Решение задачи необходимо разделить на несколько этапов:

I этап: вычисление массы начальных растворов – используется формула:

$$M_{\text{рас}} = \rho_{\text{рас}} \cdot V_{\text{рас}}, \quad (1)$$

$$m(\text{CaCl}_2) = 1,083 \cdot 100 = 108,3 \text{ гр.}; m_{\text{рас}}(\text{Na}_3\text{PO}_4) = 1,04 \cdot 150 = 156 \text{ гр.}$$

II этап: вычисление массы солей в смешанных растворах – используется формула:

$$m_{\text{соль}} = \omega_{\text{соляной раствор}} / 100, \quad (2)$$

$$m(\text{CaCl}_2) = \frac{10 \cdot 108,3}{100} = 10,83 \text{ гр.}; m(\text{Na}_3\text{PO}_4) = \frac{4 \cdot 156}{100} = 6,24 \text{ гр.}$$

III этап: моль количество солей в смешанных растворах вычисляется формулой:

$$\nu = m/M, \quad (3)$$

$$\nu(\text{CaCl}_2) = \frac{10,83}{111} = 0,09757 \text{ mol}; \nu(\text{Na}_3\text{PO}_4) = \frac{6,24}{164} = 0,038 \text{ mol.}$$

Записываем уравнение реакции: $3\text{CaCl}_2 + 2\text{Na}_3\text{PO}_4 \rightarrow 2\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 + 6\text{NaCl}$. В данной задаче моль количество двух взаимодействующих веществ нам известно. Если соотношение молей начальных веществ выглядит как соотношение стехиометрических коэффициентов в уравнении (т. е. нет лишнего вещества), то соотношение их молей выглядит как 3:2. Если одно из веществ в избыточном количестве, то вещество с наименьшим количеством молей полностью входит в реакцию и задача решается на данной основе. Для определения излишества определенного вещества, найденное моль количество солей делится на стехиометрический коэффициент.

$$\frac{0,09757}{3} \square \frac{0,038}{2}$$

CaCl_2 остается в избытке, так как его моль количества больше. Следовательно, задачу нужно решить по Na_3PO_4 .

IV этап: моль количество вступающих по указанному уравнению в реакцию и полученных веществ определяется с помощью ниже указанного соотношения:

$$\frac{\nu_a}{a} = \frac{\nu_b}{b} = \frac{\nu_c}{c} = \frac{\nu_d}{d}; \quad \frac{\nu(\text{CaCl}_2)}{3} = \frac{0,038}{2} = \frac{\nu[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]}{2} = \frac{\nu\text{NaCl}}{6}.$$

0,038 mol – это количество вступающего в реакцию Na_3PO_4 . Из этого: $\nu(\text{CaCl}_2) = 0,057 \text{ mol}$ вступает в реакцию. $\nu[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2] = 0,038 \text{ mol}$. Получается $\nu(\text{NaCl}) = 0,114 \text{ mol}$.

V этап: вычисляем массу, вступающую в реакцию и получаемых в ходе реакции веществ с помощью формулы:

$$m = \nu \cdot M. \quad (4)$$

Вступает в реакцию $m(\text{CaCl}_2) = 0,057 \cdot 111 = 6,33 \text{ гр}$. Получается $m[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2] = 0,038 \cdot 310 = 11,78 \text{ гр.}$; получается $m(\text{NaCl}) = 0,114 \cdot 58,5 = 6,67 \text{ гр.}$

VI этап: масса полученного конечного раствора равна разнице суммы массы смешанных растворов с массой выделяемого осадка.

$$m_{\text{рас(конечный)}} = 156 + 108,3 - 11,78 = 252,2 \text{ гр.}$$

VII этап: в полученном конечном растворе имеется излишнее количество находящегося в растворимом состоянии CaCl_2 и NaCl . Вычислим их массовую долю формулой

$$\omega = m_{\text{соль}} / m_{\text{соль}}, \quad (5)$$

$$\omega(\text{CaCl}_2) = \frac{10,83 - 6,33}{252,2} = \frac{4,5}{252,2} = 0,017; \quad \omega(\text{NaCl}) = \frac{6,67}{252,2} = 0,026.$$

В решении данных задач использованы зависимость массы от плотности, зависимость массы от количества молей, зависимость массы компонента от массы системы, формула вычисления массовой доли

компонента в растворе и закон сохранения массы вещества.

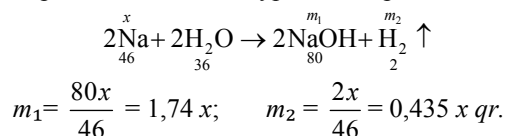
Метод прямого математического расчета. Часто попадаются такие задачи, которые не нуждаются в решении поэтапным расчетом. Например, зная массу вещества в конце трансформационной цепи, требуется вычислить массу вещества в начале цепи. В таких случаях мы отмечаем неизвестную величину знаком x . Далее последовательным поэтапным вычислением доходим до известной массы.

Задача 1. Какое количество Na требуется добавить в 100 г воды для получения 7,8-процентного раствора NaOH?

Решение: Отметим массу Na знаком x . В этом случае масса конечного раствора будет такой:

$$m_{\text{рас}} = m_{(\text{Na})} + m_{(\text{H}_2\text{O})} - m_{(\text{H}_2)};$$

Вычислим массу NaOH и водорода на основании уравнения реакции:



Согласно условию $\omega(\text{Na}) = 7,8\%$.

$$0,078 = m(\text{NaOH})/m(\text{раствор}) = \frac{1,74x}{100 + x - 0,435x} = \square 1,74x = 7,8 + 0,078 - 0,034x. \text{ Отсюда: } x = 4,6 \text{ gr Na.}$$

Таблица 2

Задача 2. Вещества для изготовления раствора

$m_{\text{вода}}$ (в граммах)	$m_{\text{соль}}$ (в граммах)
20	5

При проведении каких опытов при температуре 50°C получится $K_h=400$ г/л?

1. Добавить на вещество 3 г соли. 2. Выпарить из вещества 7,5 г воды. 3. Добавить в раствор 5 г соли и 100 г воды.

Решение: Если при температуре 50°C $K_h=400$ г/л, следовательно, в 1000 г воды можно растворить 400 г соли. В таком случае в 1000 г воды $\rightarrow$ можно растворить 400 г соли; в 20 г воды $\rightarrow$ растворится x г соли. $x = 8$ г.

Следовательно, для получения насыщенного раствора при температуре 20°C , требуется добавление $8-5=3$ г (задача 1 верна). При выпаривании 765 г из 20 г воды получается насыщенный раствор. Если в 20 г воды $\rightarrow$ растворить 8 г соли. В 12,5 г воды $\rightarrow$ растворяется 7,5 г соли. $Y = 5$ г соли. Следовательно, при выпаривании из 20 г воды 7,5 г получается насыщенный раствор. $K_h = \frac{5}{12,5} \cdot 1000 = 400$ г/л (задача 2 верна).

При добавлении в раствор 5 г соли, получается $5+5=10$ г соли. При добавлении 10 г воды, получается $20+10=30$ г воды. $K_h = \frac{10}{30} \cdot 1000 \approx \frac{333}{1}$.

Получается меньше 400. Следовательно, нельзя проводить 3-й опыт. Тогда ответ: задачи 1 и 2.

Вычисление массовой доли элемента по химической формуле или определение формулы по массовой доле элемента. При решении такого рода задач необходимо знать следующее. Умножение относительной атомной массы элемента на его индекс по соотношению к относительной молекулярной массы, рассчитанной по формуле вещества, называется доля массы элемента, которая отображается буквой омега (ω). Доля массы получает величину между 0–1. В случае применения процентов – умножается на 100 %.

$$\omega = n \times \text{Ar}(\text{El}) / \text{Mr}(\text{масса}) \text{ получает величину между } 0-1.$$

$$\omega = n \times \text{Ar}(\text{El}) / \text{Mr}(\text{масса}) \times 100\% \text{ получает величину между } 0-100\%.$$

Таблица 3

Задача 3. Соединения

Соединения	В соединении
	$\omega(\text{H})$
XH_4	25 %

Рассчитайте относительную молекулярную массу XO_2 $\text{Ar}(\text{O})=16$.

Решение: В XH_4 имеется 4H. Требуется отображать долю массы каждого элемента сверху, а относительную атомную массу – умножить на индекс и отобразить снизу. $\begin{array}{c} 75 \\ \text{X} \end{array} \begin{array}{c} 25 \\ 4,1 \end{array} \text{XH}_4$. $\text{X} \cdot 4 = 1$. $\text{X}=12$.

Следовательно, $\text{Mr}(\text{XO}_2) = 12 + 2 \cdot 16 = 44$

Задача 4. В смеси из купороса меди ($\text{CuSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) и кристаллической соды ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) имеется вода массой 38 %. Вычислите массу каждого вещества в смеси.

Решение: Отметим долю купороса меди в смеси знаком x . Тогда, в соответствие с формулой

$$\omega = m(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}) / m(\text{масса})$$

в m грамме смеси получится mx граммов купороса меди и $(m-mx)$ граммов кристаллической соды: $\text{Mr}(\text{H}_2\text{O})=18$; $\text{Mr}(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})=250$; $\text{Mr}(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O})=286$.

В таком случае, масса воды в mx граммах $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ составит $\frac{(m-mx) \cdot 10 \cdot 18}{286}$ грам.

Масса воды в смеси по доле массы воды составит $0,38m$. В таком случае

$$0,38m = \frac{5 \cdot 18 \cdot m}{250} + \frac{10 \cdot 18 \cdot (m-mx)}{286};$$

$$0,38m = 0,36mx + 0,63m - 0,63mx \rightarrow 0,63mx - 0,36mx = 0,63m - 0,38m;$$

$$0,27mx = 0,25m;$$

$$x = \frac{0,25m}{0,27m} = 0,925.$$

Следовательно, в m граммах смеси $\omega(\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O})=0,925$ или 92,5%. В этом случае получается: $\omega(\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O})=100-92,5=7,5\%$.

Выводы. Способ прямого расчета имеет некоторые преимущества в сравнении с другими способами. Но на самом деле, это вовсе не так. Способ решения задачи зависит от условий данной задачи.

Литература

1. Аббасов В. Учебник по химии / Вагиф Аббасов, Муталлим Аббасов, Насим Абышов, Вели Алиев. – Баку : Азполиграф, 2004. – С. 86–89.
2. Лидин Р.А. Неорганическая химия в реакциях : справочник / Лидин Р.А., Молочко В.А., Андреева Л.Л. – 2-е изд., перераб. и доп. – М., 2007. – 637 с.
3. Ахметов Н.С. Общая и неорганическая химия / Ахметов Н.С. – 4 изд., испр. – М. : Высшая школа, Издательский центр «Академия», 2001. – С. 253–269.
4. Шрайвер Э. Неорганическая химия : т. 1 / Шрайвер Э. – М. : Мир, 2004. – 679 с.
5. Жамбулова М.Ш. Развитие неорганической химии (Историко-методологический аспект) / Жамбулова М.Ш. – Алма-Ата, 1981. – 187 с.

Отримана/Received : 3.4.2017 р. Надрукована/Printed : 9.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Карван С.А.

УДК 677.014.2

Є.М. ЗАВЕРАЧ, А.Я. ГАНЗЮК, З.М. ПОБУТА

Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СУЧАСНИХ АНТИСТАТИЧНИХ ПРЕПАРАТІВ ПРИ ОБРОБЦІ БЕЗВОРСОВИХ КИЛИМОВИХ ПОКРИТТІВ

Вивчено вплив обробки антистатичними препаратами на основі оксиетильованих сполук на характеристики безворсового килимового покриття. Визначено найбільш ефективний антистатичний препарат та його оптимальну концентрацію. Досліджено повітропроникність, жорсткість та забруднюваність безворсових килимових покриттів після обробки антистатичними препаратами.

Ключові слова: безворсове килимове покриття, антистатичні препарати, питомий опір, повітропроникність, забруднюваність.

YE.M. ZAVERACH, A.YA. HANZIUK, Z.M. POBUTA

Khmelnytskyi National University

INVESTIGATION OF EFFICIENCY OF MODERN ANTISTATIC COMPOSITIONS FOR TREATMENT OF LINT-FREE CARPETS

The influence of treatment of antistatic compositions based on ethylene oxide compounds on characteristics of lint-free carpets was studied. The most effective antistatic composition and its optimal concentration were determined. Breathability, stiffness and soiling ability of lint-free carpets after treatment of antistatic compositions was investigated.

Key words: lint-free carpet, antistatic compositions, specific resistance, breathability, soiling ability.

Вступ

Килими і килимові покриття є невід'ємною складовою частиною інтер'єрів як особистих приміщень, так і офісів, закладів культури тощо. Більша частина килимових покриттів виготовляється з синтетичних ниток, зокрема поліефірних. Однією з важливих ергономічних характеристик синтетичних килимових виробів є ступінь статичної електризації. Накопичення статичної електрики на виробках може мати негативний біологічний вплив на організм людини та знижувати продуктивність праці [1, 2].

Вважається, що накопичення електростатичних зарядів не відбувається у тому випадку, коли електричний опір поверхні килимового виробу не перевищує $5 \cdot 10^{11}$ Ом [3].

Найбільш розповсюдженим та ефективним методом зниження статичної електризації синтетичних текстильних матеріалів є застосування антистатиків з різними хімічним складом [2, 4]. Широкого застосування набули препарати на основі оксиетильованих амінів та амідів. Антистатичний ефект цих препаратів залежить від довжини і ступеня розгалуженості вуглеводневого радикалу та ступеня оксиетильовання [2]. В останній час активно розвивається перспективний спосіб введення антистатиків у вигляді мікрокапсул. Використання мікрокапсульованих антистатиків дозволяє запобігти прояву таких небажаних властивостей, як летючість, хімічна активність, погана сумісність з полімером. Використання наночастинок на основі шаруватих силікатів призводить до зниження статичної електрики на поверхні текстильних матеріалів [4]. Слід зазначити, що використання мікрокапсул та наночастинок для попередньої обробки текстильних матеріалів суттєвим чином відобразиться на вартості готових виробів.

Дослідження [5] присвячене встановленню впливу різних чинників на питомий електричний опір матеріалів для взуття і одягу та визначенню найбільш ефективних препаратів для їх антистатичної обробки. Для покращення антистатичних характеристик поліефірних текстильних матеріалів з різним видом переплетення рекомендується застосовувати препарат на основі поліетиленгліколю ПЕГ-4000 з концентрацією 10 г/л. Це дає можливість знизити питомий поверхневий опір поліефірних матеріалів на 2 – 3 порядки. Наголошується на тому, що при розробці ефективних антистатичних препаратів необхідно враховувати не тільки різновид обробки та волокнистий склад досліджуваних матеріалів, а і вид ткацького переплетення. У роботі [6] проведено оцінку дії антистатичної обробки поліетиленгліколями (ПЕГ-600, ПЕГ-1500, ПЕГ-2000) на характеристики вовняних та напіввовняних текстильних матеріалів. Встановлено, що при використанні препарату ПЕГ-600 з концентрацією 5 г/л питомий поверхневий опір текстильних матеріалів знижується на два порядки, при цьому антистатичний ефект зберігається навіть після шостого циклу прання. Досліджувані поліетиленгліколі рекомендовані для застосування в якості добавок до синтетичних миючих засобів, ополіскувачів тканин, засобів для чищення.

Результати вище наведених робіт чітко вказують, що вибір ефективного антистатичного препарату для кожного різновиду матеріалу та виробу ще досі є задачею емпіричною, розв'язок якої потребує проведення значної кількості однотипних експериментів. У літературних джерелах фактично відсутні дані про дослідження антистатичних властивостей килимових покриттів. Тому розробка та випробування антистатичних препаратів, які перешкоджають накопиченню електростатичного заряду на поверхні килимових покриттів, є достатньо актуальною задачею.

Експериментальна частина

Для досліджень було вибрано безворсове килимове покриття з колекції «Naturalle outdoor» від вітчизняного виробника компанії «КАРАТ». Килимове покриття мало наступні характеристики: переплетення – двохполотняне жакардове; нитка піткання – джут; корінна основа – поліестер; настилочна основа – поліестер; щільність по основі/пітканню (на 10 см) – 32/32. Завдяки багатошаровій будові та складному жакардовому переплетенню килимове покриття колекції «Naturalle outdoor» мають дуже високу міцність та здатність зберігати постійну форму.

Для обробки килимового покриття використовували антистатичні препарати Коловет С, Кололевел, Tallowamine. Препарат Коловет С містить оксиетильовану натрієву сіль фосфорної кислоти, а препарати Кололевел і Tallowamine – оксиетильовані аміни синтетичних жирних кислот. Зразки килимового покриття (розміри 20×7 см) обробляли антистатичними препаратами при зануренні у розчини з концентраціями $C = 5, 10, 15, 20$ мл/л при $t = 50 - 60$ °C та часі витримки у розчині 20 хв. Потім зразки промивали водою до усунення піни та віджимали, ступінь віджимання 90%. Висушування зразків проводили у сушильній шафі при $t = 60 - 70$ °C. Перед визначенням антистатичних характеристик зразки килимових покриттів добу витримували у екскаторах над насиченими розчинами солей, тиск водяної пари над якими відповідає певній вологості повітря. При $t = 14 - 15$ °C над насиченим розчином NaNO_2 відносна вологість ϕ становила 58 – 62%; а над насиченим розчином $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ – 45 – 50%. Питомі поверхневий (ρ_s) та об'ємний (ρ_v) опори визначали за допомогою приладу ІЭСТП-1 з реєструючим тераметром Е6-13А, а напруженість електричного поля (E) та час стікання заряду ($\tau_{0,5}$) – вимірювачу ЕТС-216 (вимірювання проведені в Інституті екогигієни і токсикології ім. Л. І. Медведя, м. Київ). Питомі опори вимірювали як для лицьової, так і для вивіротної сторони зразків килимового покриття. Крім того, встановлено зміни питомих опорів зразків після нанесення пігментних забруднень, обробки пороховсмоктувачем та прання.

Визначення повітропроникності зразків безворсового килимового покриття проводили за методикою наведеною у ДСТУ ISO 9237:2003 «Тканини. Визначення повітропроникності» за допомогою приладу ВПТМ-2 у Львівській комерційній академії [7]. Вимірювання жорсткості виконували за стандартною методикою на приладі ПТ-2. При визначенні забруднюваності килимових покриттів використовували пігментні забруднення у кількості 1% від маси зразків. Ступінь забрудненості (Z , %) і залишкову забрудненість ($Z_{\text{зал}}$, %) після прання розраховували за рівнянням Д. Жужки на основі результатів вимірювання зміни інтенсивності відбиття монохроматичного випромінювання від зразків на приладі ФОУ [8]

$$Z = \frac{R_0 - R_3}{R_0} \cdot 100 \% \quad (1)$$

$$Z_{\text{зал}} = \frac{R_0 - R_{\text{пр}}}{R_0} \cdot 100 \% \quad (2)$$

де R_3 – інтенсивність відбиття монохроматичного світла від забрудненого зразка, $R_{\text{пр}}$ – інтенсивність відбиття монохроматичного світла від зразка після прання, R_0 – інтенсивність відбиття монохроматичного світла від вихідного зразка.

Обробка безворсового килимового покриття всіма досліджуваними антистатичними препаратами призводила до зниження ρ_s та ρ_v (рис. 1). Найнижчі значення питомих опорів спостерігались для препаратів Коловет С та Tallowamine при С 5 мл/л (рис. 1 а, в), а для препарату Кололелел при С 5 та 10 мл/л (рис. 1 б).

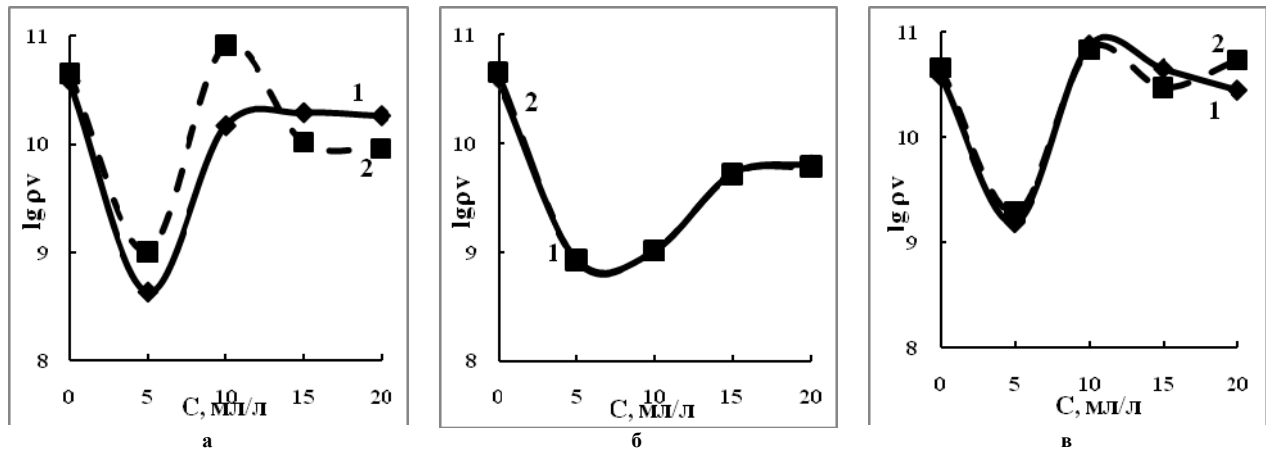


Рис. 1. Графік залежності $\lg \rho_v$ від концентрації антистатичного препарату Коловет С (а), Кололелел (б), Tallowamine (в) при $\phi = 58 - 62 \%$: 1 – лицьова сторона, 2 – виворітна сторона

Для зразків безворсового килимового покриття, необроблених антистатиком, при $\phi = 58 - 62\%$ ρ_v знаходився на рівні $3,5 - 4,5 \cdot 10^{10}$, а при $\phi = 45 - 50\%$ – $3,8 - 4 \cdot 10^{11}$ Ом·см, тобто це килимове покриття характеризувалось добрими антистатичними властивостями [2]. Перевести антистатичні властивості у групу «дуже добрі» чи «відмінні» можливо при обробці всіма досліджуваними антистатичними препаратами при концентрації 5 мл/л. Найбільш низькі значення питомих опорів спостерігались для зразків килимових покриттів, оброблених препаратом Коловет С, при $\phi = 58 - 62\%$ ρ_v становив $3,5 - 9 \cdot 10^8$ Ом·см, а при $\phi = 45 - 50\%$ – $2,5 - 3,5 \cdot 10^{10}$ Ом·см, що на 1 – 2 порядки нижче, ніж для необроблених зразків. Як видно з рис. 1, характер залежностей ρ_v від концентрації антистатичного препарату подібний. Це вказує на те, що специфіка конкретного ПАР не суттєво визначає зміну питомих опорів килимових покриттів.

Дуже помітний вплив на величину питомих опорів мала вологість повітря, при якій витримувались зразки. Це чітко демонструють стовпчасті діаграми наведені на рис. 2, побудовані для зразків килимового покриття, що мали найнижчі значення ρ_s та ρ_v . З рис. 2 чітко видно, що зниження вологості призводить до значного зростання питомих опорів всіх типів зразків килимового покриття. При $\phi = 45 - 50 \%$ зниження ρ_v на 1 порядок показали препарати Коловет С та Tallowamine, а препарат Кололелел втратив свою ефективність. Слід наголосити на тому, що при пониженой вологості найменші значення питомих опорів спостерігались для зразків, оброблених препаратом Коловет С при С 5 мл/л.

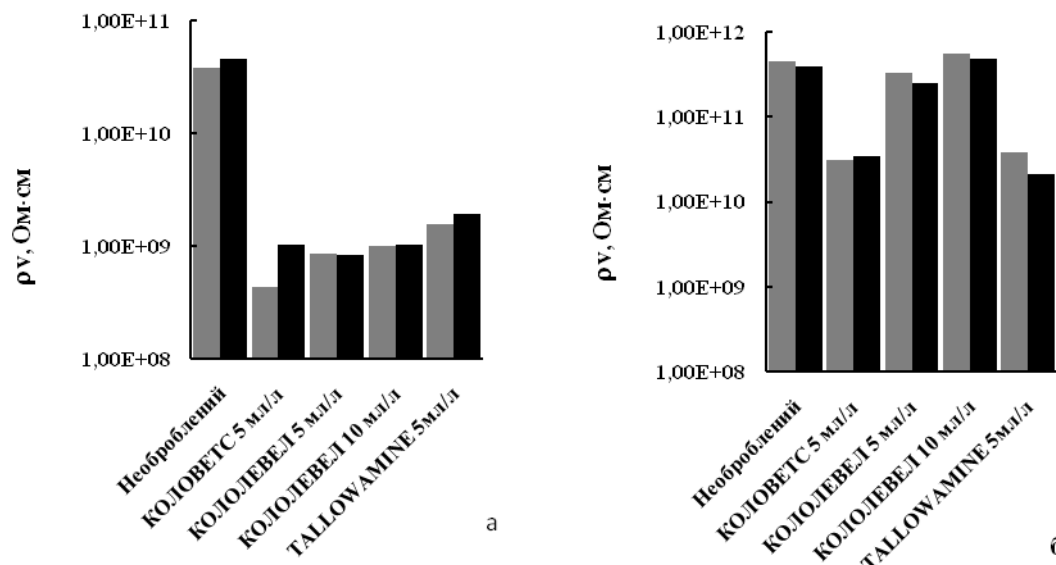


Рис. 2. Графік залежності ρ_v від типу та концентрації антистатичного препарату при $\phi = 58 - 62 \%$ (а) та $\phi = 40 - 45 \%$ (б)

На основі результатів експериментів по визначенню питомих опорів зразків килимового покриття можна зробити припущення, що антистатична дія досліджуваних препаратів базується на першому механізмі дії ПАР [2]. Згідно цього механізму вирішальне значення у зниженні питомих опорів матеріалів має поглинання ПАР вологи з повітря, внаслідок чого підвищується електропровідність поверхні матеріалу. Такий механізм дії притаманний препаратам, що містять довголанцюгові органічні сполуки, зокрема оксидильовані аміди жирних кислот чи оксидильовані аліфатичні аміни, які діють за рахунок зростання гігроскопічності. У роботі [4] наголошується на тому, що дія більшості антистатиків, які використовуються у текстильній промисловості, базується саме на підвищенні електропровідності поверхні матеріалу. Проте подібні антистатики не завжди ефективні у сухій атмосфері. Можна припустити, що втрата ефективності препаратом Кололевел при зниженій вологості пов'язана також з тим, що він має більшу в'язкість, тому поглинута у цих умовах менша кількість води не може проникнути крізь пори всередину волокон і там втриматись.

З рис. 1 та 2 помітно, що питомі опори лицьової та виворітної сторони килимового покриття досить відрізняються. Це пов'язано з тим, що килим має двохполотняне жакардове переплетення з двома каркасними структурами та наявністю корінної і настільної основи. Таке переплетення перешкоджає проникненню антистатика у волокно з виворітної сторони. З лицьової сторони завдяки ниткам ворсової основи, які при обробці ще й розпушуються, можливе утворення додаткових пор, через які антистатик проникає у волокно та краще закріплюється.

Хоча вимірювання питомих опорів є найбільш розповсюдженим методом визначення антистатичних властивостей полімерних композицій та волокнистих матеріалів, проте деякі дослідники схилиються до думки, що така оцінка не завжди є достовірною. У роботі [1] зазначено, що дослідження тканин для одягу чистих приміщень дев'яти різних виробників показали, що немає кореляції між питомим поверхневим і об'ємним опором та швидкістю стікання електростатичного заряду з поверхні тканин; така кореляція спостерігається між часом стікання заряду і напруженістю електростатичного поля. Тому для чіткого визначення дії антистатичних препаратів були виміряні показники напруженості електростатичного поля та часу стікання заряду для зразків килимових покриттів з найнижчими та найвищими значеннями питомих опорів. Результати цих експериментів зведені у таблиці 1.

При порівнянні даних експериментів по визначенню питомих опорів, представлених на рис. 1 та 2, та значень електростатичних властивостей у таблиці 1, не відслідковується чіткої кореляції між цими характеристиками. Так, для всіх зразків килимових покриттів, оброблених антистатичними препаратами спостерігалось певне зниження напруженості електростатичного поля. Проте час стікання заряду для зразків килимових покриттів з вищими питомими опорами незначно зростає, в той час як для зразків з низькими питомими опорами знаходився приблизно на такому ж рівні як і для килимового покриття, не обробленого антистатичним препаратом. Загалом за значеннями часу стікання заряду всі зразки досліджуваних килимових покриттів мають дуже добрі антистатичні властивості.

Встановлено, що питомі опори зразків килимового покриття зростають після забруднення та обробки пороховсмоктувачем. Найбільш помітне зростання опору після забруднення спостерігалось для зразків килимових покриттів, оброблених препаратом Коловет С, що можна пов'язати з помітним розпушуванням волокон. Загалом зростання питомих опорів при зазначених зовнішніх впливах ймовірно обумовлено зниженням вмісту вологи на поверхні килимового покриття і відповідно зменшенням електропровідності. Після прання значення питомих опорів не відновлювались до початкових, що пов'язано з вимиванням антистатичного препарату. Тому після прання бажано додатково обробляти килимові покриття, обприскуючи їх антистатичним препаратом.

Таблиця 1

Електростатичні властивості зразків килимових покриттів

Різновид антистатичного препарату та його концентрація (мл/л)	Напруженість електростатичного поля E , В/см	Час стікання заряду $\tau_{0,5}$, с
Вихідний зразок	2780	0,80
Коловет С, 5	2080	0,84
Кололевел, 5	2360	0,76
Кололевел, 10	2120	0,80
Tallowamine, 5	2360	0,90
Коловет С, 15	2240	1,00
Кололевел, 20	1960	0,96
Tallowamine, 10	2280	1,00

Повітропроникність є однією з основних характеристик гігієнічності виробів. На повітропроникність килимових покриттів впливають наступні чинники: щільність покриття, вид переплетення, характер розподілу волокон у матеріалі, висота ворсу, скрученість ниток, допоміжні препарати, що застосовують для обробки виробу, геометричні характеристики волокон. Вплив сукупності таких чинників визначає загальну пористість покриття, кількість і розмір наскрізних пор [7]. Результати досліджень чітко показали, що обробка безворсового килимового покриття досліджуваними антистатичними засобами призводить до збільшення повітропроникності. Так, повітропроникність

вихідного килимового покриття з лицьової та виворітної сторони відповідно становить 98 та 86 $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, при обробці препаратом Коловет С (5 мл/л) – 110 та 96 $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, при обробці препаратом Кололевел (5 мл/л) – 108 та 102 $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$, при обробці препаратом Tallowamine (5 мл/л) – 124 та 118 $\text{дм}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$. Збільшення повітропроникності можна пов'язати з розпушенням ниток килимового покриття після обробки антистатичними препаратами і збільшенням кількості каналів та пор для проникнення повітря. Слід зазначити, що повітропроникність з лицьової сторони більша, ніж з виворітної. Це пов'язано з тим що в основі килима є міцні поліефірні нитки, які надають виробу міцності та щільності.

Жорсткість матеріалів залежить від їх волокнистого складу, будови, товщини, характеру обробки, пружно-еластичних властивостей і має суттєвий вплив на зовнішній вигляд виробів, визначаючи їх геометричну форму та призначення [9]. Для безворсового килимового покриття колекції «Naturalle outdoor» жорсткість по нитці основи та пітканню помітно відрізняється. Це пов'язано з типом переплетення килимового покриття, а саме з тим, що по основі нитки переплітаються між собою частіше, ніж по пітканню, що надає килиму більшої міцності та жорсткості. Встановлено, що в порівнянні з вихідними зразками килимового покриття ті, що оброблені антистатичними препаратами, мають меншу жорсткість. Жорсткість на вигин B_y для вихідного килимового покриття становила по основі 146800 і по пітканню 101888 мг/см^2 , а при обробці покриття досліджуваними антистатичними препаратами знаходилась у межах – по основі від 84947 до 128031 мг/см^2 , по пітканню – від 58515 до 80275 мг/см^2 . Зниження жорсткості пов'язане з тим, що при обробці антистатичними препаратами нитки килимового покриття, і в особливості нитки піткання, розпушуються та пом'якшуються. Проте показники жорсткості килимових покриттів залишаються високими, тому й виріб не буде втрачати свою форму.

Забруднення текстильних матеріалів залежить від їх структури, природи волокна та виду кінцевої обробки, якій піддається виріб. Умови, при яких забруднення взаємодіють з волокнистими матеріалами, різноманітні та значно впливають на їх інтенсивність і міцність зв'язку частинок забруднень з текстильними матеріалами. У процесі експлуатації відбувається зміцнення зв'язку забруднення з волокном, деформування частинок забруднень та їх проникнення всередину волокна. При дії механічних сил збільшуються і з'являються нові макро- і мікродефекти у волокнах, що супроводжується проникненням і защемленням в них включень забруднень [8, 10].

Результати експериментів по виявленню впливу обробки антистатичними препаратами на забруднюваність безворсового килимового покриття зведені у таблиці 2 (позначення: л – лицьова сторона, в – виворітна сторона). Розрахунки ступеня забрудненості Z і залишкової забрудненості $Z_{\text{зал}}$ проводились за формулами 1 та 2.

Таблиця 2

Показники забрудненості килимових виробів до та після оброблення антистатичними препаратами

Антистатичний засіб	С, мл/л	R _o		R _з		R _{пр}		Z, %		Z _{зал} , %	
		л	в	л	в	л	в	л	в	л	в
Необроблений	—	29	32	24	26	27	31	17,61	18,75	7,39	4,17
Коловет С	5	31	37	27	34	29	35	12,02	8,97	6,56	5,83
Кололевел	5	33	36	32	34	33	36	5,03	6,02	1,51	1,39
Кололевел	10	34	35	31	33	33	35	6,47	5,26	1,0	0,96
Tallowamine	5	39	40	37	37	38	39	4,74	5,49	1,72	2,11

З отриманих результатів видно, що нанесення на безворсове килимове покриття антистатичних засобів знизило їх забруднюваність, що особливо помітно при застосуванні препаратів Кололевел та Tallowamine. З оброблених зразків більша забруднюваність характерна для зразків, оброблених препаратом Коловет С. Це може бути обумовлено більш сильним розпушуванням волокон при обробці цим антистатиком і, відповідно, кращим осіданням забруднень на них. Найменшою забруднюваністю характеризувались зразки, оброблені препаратом КОЛОЛЕВЕЛ, що, можливо, пов'язано з утворенням цим маслянистим антистатиком суцільної тонкої плівки на поверхні килимового покриття, з якої забруднення легко зісковзують і не проникають у глибину волокон.

Висновки

Встановлено, що безворсове килимове покриття колекції «Naturalle outdoor» від компанії «КАРАТ» характеризується добрими антистатичними властивостями. Проте його обробка препаратами Коловет С, Кололевел, Tallowamine при оптимальній концентрації 5 мл/л дозволяє досягнути дуже добрих чи навіть відмінних антистатичних характеристик. Найбільш ефективним з досліджуваних антистатичних препаратів є Коловет С.

Спостерігалось, що такі зовнішні впливи, як забруднення, обробка пороховсмоктувачем та прання призводять до певного зростання питомих опорів зразків килимового покриття, що пов'язано з видаленням вологи та вимиванням антистатиків з його поверхні.

Обробка килимових покриттів антистатичними препаратами помітним чином впливає на такі показники, як повітропроникність, жорсткість та забруднюваність. Слід особливо наголосити на тому, що обробка препаратами Кололевел та Tallowamine призводить до значного зниження ступеня забрудненості та залишкової забрудненості.

Таким чином, досліджувані препарати можуть бути рекомендовані для зменшення накопичення статичної електрики на килимових виробках та, як добавки до засобів для чистки килимів.

Література

1. Власенко В.И. Технологическая одежда и электростатическая безопасность чистых производственных помещений / В.И. Власенко, Н.Г. Левицкая, С.И. Арабули, В.В. Никольский // Чистые помещения и технологические среды. – 2010. – № 2. – С. 10 – 14.
2. Шевердяев О. Н. Антистатические полимерные материалы / О. Н. Шевердяев. – М. : Химия, 1983. – 176 с.
3. Полікарпов І. С. Товарознавство: Непродовольчі товари: килими та килимові вироби / І.С. Полікарпов, Л.В. Пелик. – Львів : Магнолія, 2011. – 200 с.
4. Гатиятуллина Р.Ф. Анализ направлений в разработке материалов и изделий легкой промышленности с повышенными антистатическими свойствами / Р.Ф. Гатиятуллина, Л.Н. Абуталипова // Сборник статей научно-практ. конф. «Применение новых текстильных и композитных материалов в техническом текстиле». Казань, 20 – 21 июня 2013 года. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2013. – С. 4 – 9.
5. Ганзюк А. Я. Оцінка ефективності антистатичної обробки текстильних матеріалів для взуття та одягу / А. Я. Ганзюк, М. П. Савчук, А. В. Вешко // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2010. – № 2. – С. 202 – 206.
6. Ганзюк А. Я. Оцінка ефективності дії антистатичної обробки вовняних текстильних матеріалів з використанням поліетиленгліколів низької молекулярної маси / А. Я. Ганзюк, О. П. Шелестюк, І. О. Івасюк // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2013. – № 2. – С. 83 – 87.
7. Бучківська У.Б. Дослідження повітропроникності платтяно-костюмних тканини / У.Б. Бучківська, Л.В. Пелик // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2014. – № 1. – С. 216 – 218.
8. Параска О.А. Аналіз методів визначення миючої здатності поверхнево-активних речовин / О.А. Параска, С.А. Карван, О.І. Кулаков // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки – 2006. – № 2. – С. 83 – 87.
9. Ніколайчук Л.Г. Дослідження драпірування пальтових вовняних тканин з різними обробками / Л.Г. Ніколайчук, О.Б. Хребтань // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2013. – № 4. – С. 128 – 130.
10. Степанова Л.С. Вплив структури матеріалу та концентрації забруднювача на забруднюваність текстильних матеріалів / Л.С. Степанова, І. Глова // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2012. – № 2. – С. 107 – 111.

Отримана/Received : 6.5.2017 р. Надрукована/Printed :9.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Карван С.А.

УДК 621.38

Н.А. ФИЛИНЮК, Л.Б. ЛИЩИНСКАЯ, С.Е. ФУРСА, В.П. СТАХОВ

Винницкий национальный технический университет
Винницкий торгово-экономический институт КНТЕУ

ОЦЕНКА ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ МОНОИММИТАНСНОГО ЛОГИЧЕСКОГО С-ЭЛЕМЕНТА «И»

Приведено обоснование схемы моноиммитансного логического С-элемента «И». Исследовано влияние на характеристики логического элемента таких дестабилизирующих факторов, как нестабильность длины и волнового сопротивления отрезка линии передачи, а также добротности входных емкостных импедансов.

Ключевые слова: логический элемент, емкостный импеданс, дестабилизирующие факторы.

N.A. FILINYUK, L.B. LISHCHYNSKA, S.Y. FURSA, V.P. STAKHOV

Vinnitsa National Technical University

Vinnitsa Institute of Trade and Economics of Kyiv National University of Trade and Economics

ESTIMATION OF THE NOISE IMMUNITY OF MONOIMMITANCE LOGICAL C-ELEMENT "AND"

Abstrac – The paper describes the foundation of the monoimmitance logical C-element "AND" circuit. There are mathematical model and truth table of the monoimmitance logical C-element "AND" received in this article. The effect of destabilizing factors on the characteristics of the logical monoimmitance R-element "AND" such as the instability of the wave resistance of the transmission line, the emergence of the transmission line segments length and the emergence of Q-factor of the input immitance is researched. The results showed that the change in the wave resistance of the transmission line does not affect on operation of the circuit. Changing of Q-factor of the input immitance in the range of 5 - 100 does not affect on operation of the circuit. With error of the transmission line length in $\pm 0,1$ mm output reactive impedance does not vary more than 35% and is within the logic levels "0" and "1". Noise immunity of monoimmitance R-logic element "AND" has a value of at least 0.74 in all these cases.

Keywords: logic element, capacitance impedance, destabilizing factors.

Вступление

Одной из разновидностей радиочастотных логических элементов являются иммитансные логические элементы, использующие в качестве информационного параметра характер или значение иммитанса [1]. Благодаря использованию иммитанса становится возможным повысить помехоустойчивость и энергетическую эффективность логического элемента [2]. Иммитансные логические элементы используют в качестве информационного параметра резистивный, индуктивный или емкостной иммитанс, а также их комбинации. Они способны осуществлять логические операции на несущей частоте сигнала [3, 4]. Для практического использования более целесообразными являются моноиммитансные логические элементы, использующие один информационный параметр, например, только активное сопротивление – (R-элемент), емкостной иммитанс – (С-элемент) или индуктивный иммитанс – (L-элемент) [5].

Моноиммитансные логические элементы имеют высокое быстродействие и энергетическую эффективность, но меньшую помехоустойчивость, чем мультииммитансные логические элементы. Поэтому анализ методов ее повышения требуют дополнительных исследований.

Целью работы является оценка помехоустойчивости моноиммитансного логического С-элемента «И», использующего в качестве информационного параметра емкостной иммитанс. Для достижения этой цели решаются следующие задачи:

1. Обоснование схемы моноиммитансного логического С-элемента «И» и разработка его математической модели.
2. Исследование влияния дестабилизирующих факторов на характеристики моноиммитансного логического С-элемента «И» и оценка запаса его помехоустойчивости.

Обоснование схемы моноиммитансного логического С-элемента «И» и его математической модели

Для моноиммитансного логического С-элемента (рис.1а) информационным параметром является емкостной импеданс X_C , а логическое состояние элемента характеризуется диапазоном значений этого параметра. Логической единице "1" соответствует диапазон изменения $X_C^{(1)} > X_{C0}$, а логическому нулю «0» соответствует диапазон изменения $X_C^{(0)} < X_{C0}$, где X_{C0} – емкостная граница логического уровня. Работу моноиммитансного логического С-элемента «И» (рис.1а) можно описать таблицей истинности, которая представлена на рис. 1б.

Электрическая схема одного из возможных вариантов реализации моноиммитансного логического С-элемента «И» на полосковых отрезках линии передачи представлена на рис. 2а.

Выходное емкостное сопротивление схемы при условии, что длина всех соединительных отрезков линии передачи $l = n \cdot \lambda/2$, где $n = 1, 2, 3, \dots$; λ – длина электромагнитной волны в линии передачи, равно:

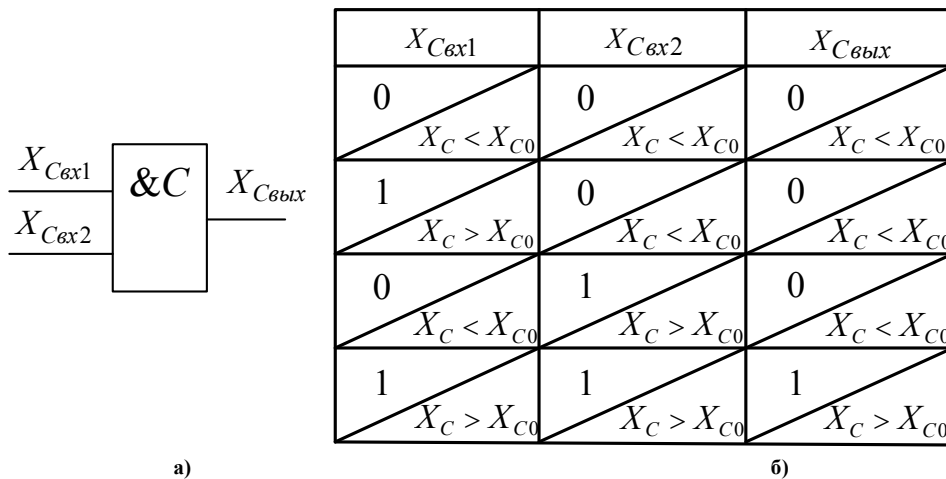


Рис. 1. Схематическое обозначение (а) и таблица истинности (б) моноиммитансного логического L-элемента «И»

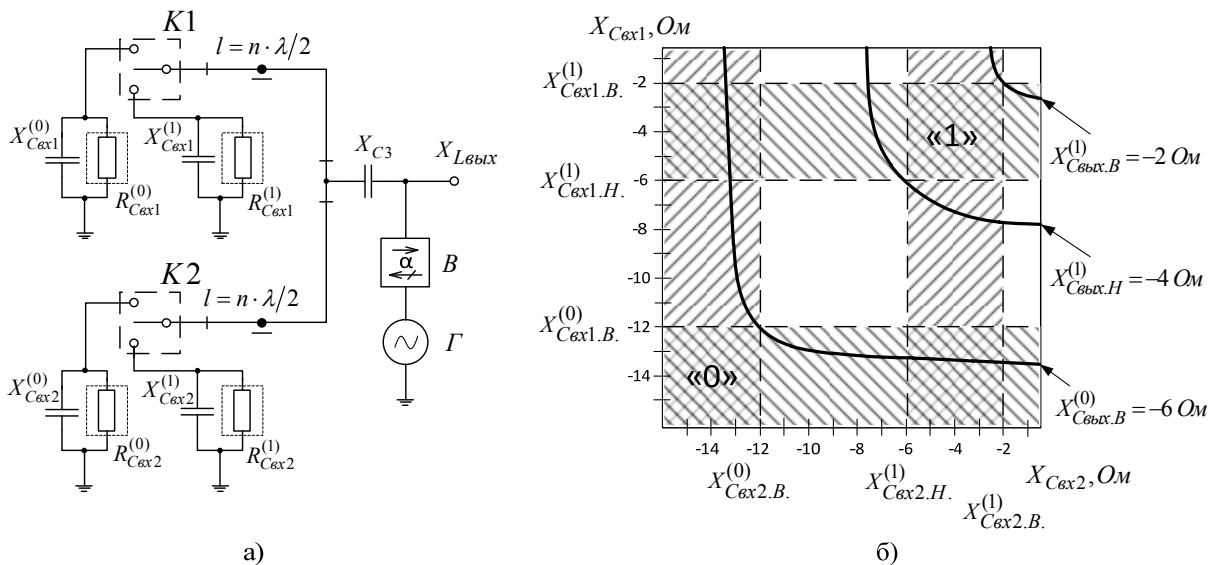


Рис. 2. Электрическая схема (а) и иммитансная передаточная характеристика моноиммитансного логического C-элемента "И" (б) (на схеме K1 и K2 – условные переключатели, Г – опорный генератор, В – вентиль)

$$X_{C_{\text{вых}}} = X_{C3} + \frac{X_{C_{\text{вх}1}} \cdot X_{C_{\text{вх}2}}}{X_{C_{\text{вх}1}} + X_{C_{\text{вх}2}}} \quad (1)$$

Уравнение (1) описывает идеальную иммитансную передаточную характеристику схемы, которая представляет собой в координатах $X_{C_{\text{вх}1}}$ и $X_{C_{\text{вх}2}}$ семейство равноугонных гипербол, положение которых может регулироваться значением емкости конденсатора X_{C3} (рис. 2б).

Ограничим нулевой логический уровень «0» диапазоном изменения входного сопротивления $(-\infty \div X_{C_{\text{вх}}}^{(0)})$, а логический уровень «1» – диапазоном $(X_{C_{\text{вх}.H}}^{(1)} \div X_{C_{\text{вх}.B}}^{(1)})$.

Для обеспечения запаса схемы по помехоустойчивости, задаемся верхней границей логического уровня «0» на выходе схемы из условия $X_{C_{\text{вых}.B}}^{(0)} < X_{C_{\text{вх}.B}}^{(0)}$. При этом нижняя граница этого уровня $X_{C_{\text{вых}.H}}^{(0)} = -\infty$. С учетом введенных ограничений, области работы моноиммитансного логического C-элемента «И» определяются заштрихованными квадратами «0» и «1» на рис. 2б (при условии $X_{C3} = 0 \text{ Ом}$), в соответствии с таблицей истинности, представленной на рис. 1б.

На практике параметры реального моноиммитансного логического C-элемента «И» будут отличаться от параметров выше рассматриваемого «идеального» элемента из-за влияния дестабилизирующих факторов.

Для обеспечения помехоустойчивости в реальном элементе граница между логическим «0» и «1» определяется диапазоном значений $X_{C_{\text{вх}}}$ и $X_{C_{\text{вых}}}$ (рис. 2б):

$$X_{C_{\text{вх}.B}}^{(0)} < X_{C_{\text{вх}}} < X_{C_{\text{вх}.H}}^{(1)} \quad (2)$$

$$X_{C_{\text{вых}.B}}^{(0)} < X_{C_{\text{вых}}} < X_{C_{\text{вых}.H}}^{(1)} \quad (3)$$

Таким образом диапазон возможных значений емкостного импеданса, который соответствует логическому «0» и «1», равен:

- для входного импеданса

$$-\infty < X_{C_{\text{вх}}}^{(0)} \leq X_{C_{\text{вх.В}}}^{(0)}; \quad X_{C_{\text{вх.Н}}}^{(1)} < X_{C_{\text{вх}}}^{(1)} < 0, \quad (4)$$

- для выходного импеданса

$$-\infty < X_{C_{\text{вых}}}^{(0)} \leq X_{C_{\text{вых.В}}}^{(0)}; \quad X_{C_{\text{вых.Н}}}^{(1)} < X_{C_{\text{вых}}}^{(1)} < 0. \quad (5)$$

В реальном моноиммитансном логическом элементе приведенный выходной импеданс отрезка линии передачи равен:

$$\bar{Z}_{\text{вых}} = \frac{\bar{Z}_{\text{вх}} + j \cdot \text{tg} \beta}{1 + j \cdot \bar{Z}_{\text{вх}} \cdot \text{tg} \beta} = \text{Re} \bar{Z}_{\text{вых}} + j \cdot \text{Im} \bar{Z}_{\text{вых}}, \quad (6)$$

где

$$\text{Re} \bar{Z}_{\text{вых}} = \bar{R}_{\text{вых}} = \frac{\bar{R}_{\text{вх}} \cdot (1 - \bar{X}_{\text{вх}} \cdot \text{tg} \beta) + \bar{R}_{\text{вх}} \cdot \text{tg} \beta \cdot (\bar{X}_{\text{вх}} + \text{tg} \beta)}{(1 - \bar{X}_{\text{вх}} \cdot \text{tg} \beta)^2 + (\bar{R}_{\text{вх}} \cdot \text{tg} \beta)^2}, \quad (7)$$

$$\text{Im} \bar{Z}_{\text{вых}} = \bar{X}_{\text{вых}} = \frac{(1 - \bar{X}_{\text{вх}} \cdot \text{tg} \beta) \cdot (\bar{X}_{\text{вх}} + \text{tg} \beta) - \bar{R}_{\text{вх}}^2 \cdot \text{tg} \beta}{(1 - \bar{X}_{\text{вх}} \cdot \text{tg} \beta)^2 + (\bar{R}_{\text{вх}} \cdot \text{tg} \beta)^2}, \quad (8)$$

$$\beta = 2\pi l / \lambda - \text{фазовая постоянная}; \quad \bar{R}_{\text{вых}} = \frac{R_{\text{вых}}}{Z_0}, \quad \bar{X}_{\text{вых}} = \frac{X_{\text{вых}}}{Z_0}, \quad \bar{R}_{\text{вх}} = \frac{\text{Re} Z_{\text{вх}}}{Z_0}, \quad \bar{X}_{\text{вх}} = \frac{\text{Im} Z_{\text{вх}}}{Z_0},$$

Z_0 – волновое сопротивление отрезка линии передачи.

С учетом (6–8) следует, что выходная реактивная составляющая импеданса реального моноиммитансного логического С-элемента «И» описывается выражением

$$X_{C_{\text{вых}}} = X_{C3} + \frac{(X_{C_{\text{вх1}}})^2 \cdot X_{C_{\text{вх2}}} + X_{C_{\text{вх1}}} \cdot (X_{C_{\text{вх2}}})^2 + (R_{C_{\text{вх1}}})^2 \cdot X_{C_{\text{вх2}}} + (R_{C_{\text{вх2}}})^2 \cdot X_{C_{\text{вх1}}}}{(R_{C_{\text{вх1}}})^2 + 2 \cdot R_{C_{\text{вх1}}} \cdot R_{C_{\text{вх2}}} + (R_{C_{\text{вх2}}})^2 + (X_{C_{\text{вх1}}})^2 + 2 \cdot X_{C_{\text{вх1}}} \cdot X_{C_{\text{вх2}}} + (X_{C_{\text{вх2}}})^2}, \quad (9)$$

где

$$X_{C_{\text{вх1}}} = Z_0 \cdot \frac{(1 - X_{C_{\text{вх1}}}/Z_0 \cdot \text{tg} \beta) \cdot (X_{C_{\text{вх1}}}/Z_0 + \text{tg} \beta) - R_{C_{\text{вх1}}}^2/Z_0 \cdot \text{tg} \beta}{(1 - X_{C_{\text{вх1}}}/Z_0 \cdot \text{tg} \beta)^2 + (R_{C_{\text{вх1}}}/Z_0 \cdot \text{tg} \beta)^2}, \quad (10)$$

$$X_{C_{\text{вх2}}} = Z_0 \cdot \frac{(1 - X_{C_{\text{вх2}}}/Z_0 \cdot \text{tg} \beta) \cdot (X_{C_{\text{вх2}}}/Z_0 + \text{tg} \beta) - R_{C_{\text{вх2}}}^2/Z_0 \cdot \text{tg} \beta}{(1 - X_{C_{\text{вх2}}}/Z_0 \cdot \text{tg} \beta)^2 + (R_{C_{\text{вх2}}}/Z_0 \cdot \text{tg} \beta)^2}, \quad (11)$$

Z_{01}, Z_{02} – волновое сопротивление первого и второго отрезков линии передачи.

Аналогичным образом рассчитываются и активные составляющие выходного импеданса схемы

$$R_{C_{\text{вых}}} = R_{C3} + \frac{(R_{C_{\text{вх1}}})^2 \cdot R_{C_{\text{вх2}}} + R_{C_{\text{вх1}}} \cdot (R_{C_{\text{вх2}}})^2 + R_{C_{\text{вх1}}} \cdot (X_{C_{\text{вх2}}})^2 + R_{C_{\text{вх2}}} \cdot (X_{C_{\text{вх1}}})^2}{(R_{C_{\text{вх1}}})^2 + 2 \cdot R_{C_{\text{вх1}}} \cdot R_{C_{\text{вх2}}} + (R_{C_{\text{вх2}}})^2 + (X_{C_{\text{вх1}}})^2 + 2 \cdot X_{C_{\text{вх1}}} \cdot X_{C_{\text{вх2}}} + (X_{C_{\text{вх2}}})^2}, \quad (12)$$

$$R_{C_{\text{вх1}}} = Z_0 \cdot \frac{R_{C_{\text{вх1}}}/Z_0 \cdot (1 - X_{C_{\text{вх1}}}/Z_0 \cdot \text{tg} \beta) + R_{C_{\text{вх1}}}/Z_0 \cdot \text{tg} \beta \cdot (X_{C_{\text{вх1}}}/Z_0 + \text{tg} \beta)}{(1 - X_{C_{\text{вх1}}}/Z_0 \cdot \text{tg} \beta)^2 + (R_{C_{\text{вх1}}}/Z_0 \cdot \text{tg} \beta)^2}, \quad (13)$$

$$R_{C_{\text{вх2}}} = Z_0 \cdot \frac{R_{C_{\text{вх2}}}/Z_0 \cdot (1 - X_{C_{\text{вх2}}}/Z_0 \cdot \text{tg} \beta) + R_{C_{\text{вх2}}}/Z_0 \cdot \text{tg} \beta \cdot (X_{C_{\text{вх2}}}/Z_0 + \text{tg} \beta)}{(1 - X_{C_{\text{вх2}}}/Z_0 \cdot \text{tg} \beta)^2 + (R_{C_{\text{вх2}}}/Z_0 \cdot \text{tg} \beta)^2}. \quad (14)$$

Выражения (9–14) являются математической моделью реального моноиммитансного логического С-элемента «И», что позволяет провести с их помощью аналитическую оценку его помехоустойчивости.

Исследование влияния дестабилизирующих факторов на характеристики моноиммитансного логического С-элемента «И» и оценка запаса его помехоустойчивости

Из анализа выражений (9–11) следует, что основными дестабилизирующими факторами, которые влияют на выполнение неравенств (4) и (5), являются:

- неустойчивость волнового сопротивления Z_0 отрезков линии передачи;
- неустойчивость длины отрезков линии передачи Δl ;
- добротность входных емкостных импедансов $Q = R_{C_{\text{вх}}} / X_{C_{\text{вх}}}$.

Для оценки помехоустойчивости иммитансного логического элемента используем универсальные нормированные параметры – коэффициенты помехоустойчивости выходного реактивного импеданса $X_{C_{\text{вых}}}$:

- от неустойчивости волнового сопротивления Z_0 отрезков линии передачи $\Upsilon_{Z_0} = 1 / \left(1 + \left| S_{Z_0}^{X_{C_{\text{вых}}}} \right| \right)$;
- от добротности входных емкостных импедансов $\Upsilon_Q = 1 / \left(1 + \left| S_Q^{X_{C_{\text{вых}}}} \right| \right)$;
- от неустойчивости длины отрезка линии передачи $\Upsilon_{\Delta l} = 1 / \left(1 + \left| S_{\Delta l}^{X_{C_{\text{вых}}}} \right| \right)$, где

$$S_{Z_0}^{X_{C_{\text{вых}}}} = \frac{\partial X_{C_{\text{вых}}}}{\partial Z_0} \cdot \frac{Z_0}{X_{C_{\text{вых}}}}, \quad S_Q^{X_{C_{\text{вых}}}} = \frac{\partial X_{C_{\text{вых}}}}{\partial Q} \cdot \frac{Q}{X_{C_{\text{вых}}}}, \quad S_{\Delta l}^{X_{C_{\text{вых}}}} = \frac{\partial X_{C_{\text{вых}}}}{\partial \Delta l} \cdot \frac{\Delta l}{X_{C_{\text{вых}}}} - \text{чувствительности выходного}$$

реактивного импеданса от выше перечисленных параметров. Диапазон изменения этих коэффициентов равен $0 \leq \gamma \leq 1$.

Для моделирования работы схемы в условиях, приближенных к реальным, зададимся значениями возможных нестабильностей параметров: волнового сопротивления Z_0 отрезков линии передачи, длины отрезка линии передачи l и добротности входных емкостных импедансов Q с учетом погрешности технологического процесса. Считаем, что волновое сопротивление $Z_0 = 50 \pm 0,5$ Ом, нестабильность длины отрезка линии передачи $\Delta l = \pm 0,1$ мм (что аналогично погрешности за счет нестабильности частоты сигнала опорного генератора на 0,033%) и добротность входных емкостных импедансов $Q = 5 \div 100$. Моделирование проведено для возможных логических состояний элемента – для входных логических уровней (0;0), (0;1), (1;0) и (1;1), где, согласно рис. 2б, входной логический уровень «0» соответствует входному реактивному импедансу $X_{вх}^{(0)} = -14$ Ом, а входной логический уровень «1» – входному реактивному импедансу $X_{вх}^{(1)} = -4$ Ом на частоте несущего сигнала $f_0 = 10$ ГГц. Результаты численного моделирования представлены на рис. 3–5.

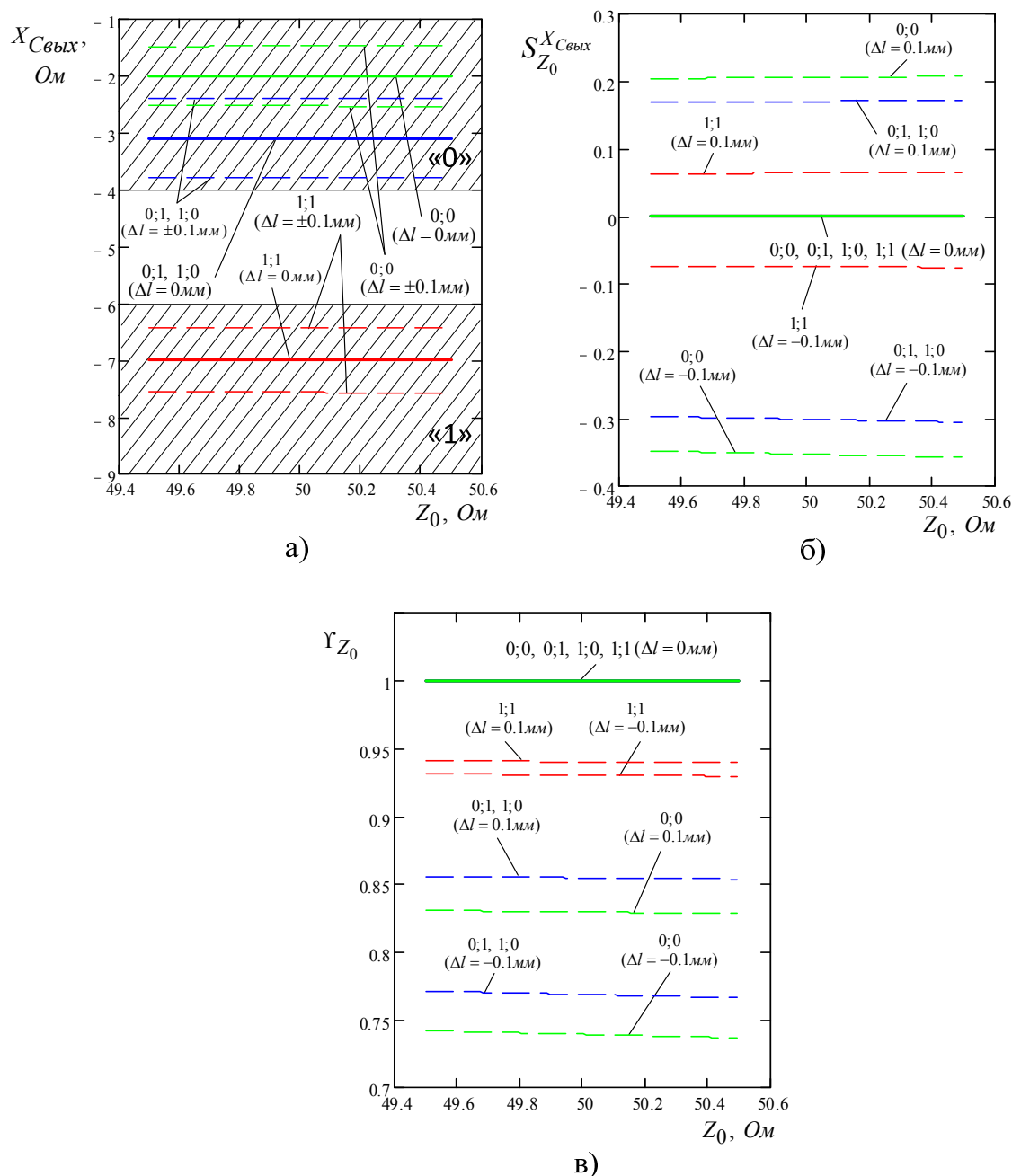


Рис. 3. Расчетные зависимости выходного реактивного импеданса $X_{C_{вых}}$ (а) логического элемента, чувствительности его выходного реактивного импеданса $S_{Z_0}^{X_{C_{вых}}}$ (б) и коэффициента помехоустойчивости γ_{Z_0} (в) от нестабильности волнового сопротивления Z_0 отрезков линии передачи

Проведена оцінка впливу нестабільності хвального опору Z_0 лінії передачі на: вихідний реактивний імпеданс $X_{C_{\text{вих}}}$ логічного елемента (рис. 3а); чутливість вихідного реактивного імпеданса $S_{Z_{01}}^{X_{C_{\text{вих}}}}$ к зміні хвального опору Z_0 (рис. 3б); коефіцієнт помехостійкості $\Upsilon_{Z_{01}}$ (рис. 3в), для випадків відсутності нестабільності довжини відрізка лінії передачі ($\Delta l = 0$) і при нестабільності довжини відрізка лінії передачі $\Delta l = \pm 0,1$ мм. На рис. 3а заштриховані області відповідають допустимому діапазону значень вихідного ємнісного імпеданса, відповідного логічному «0» і «1».

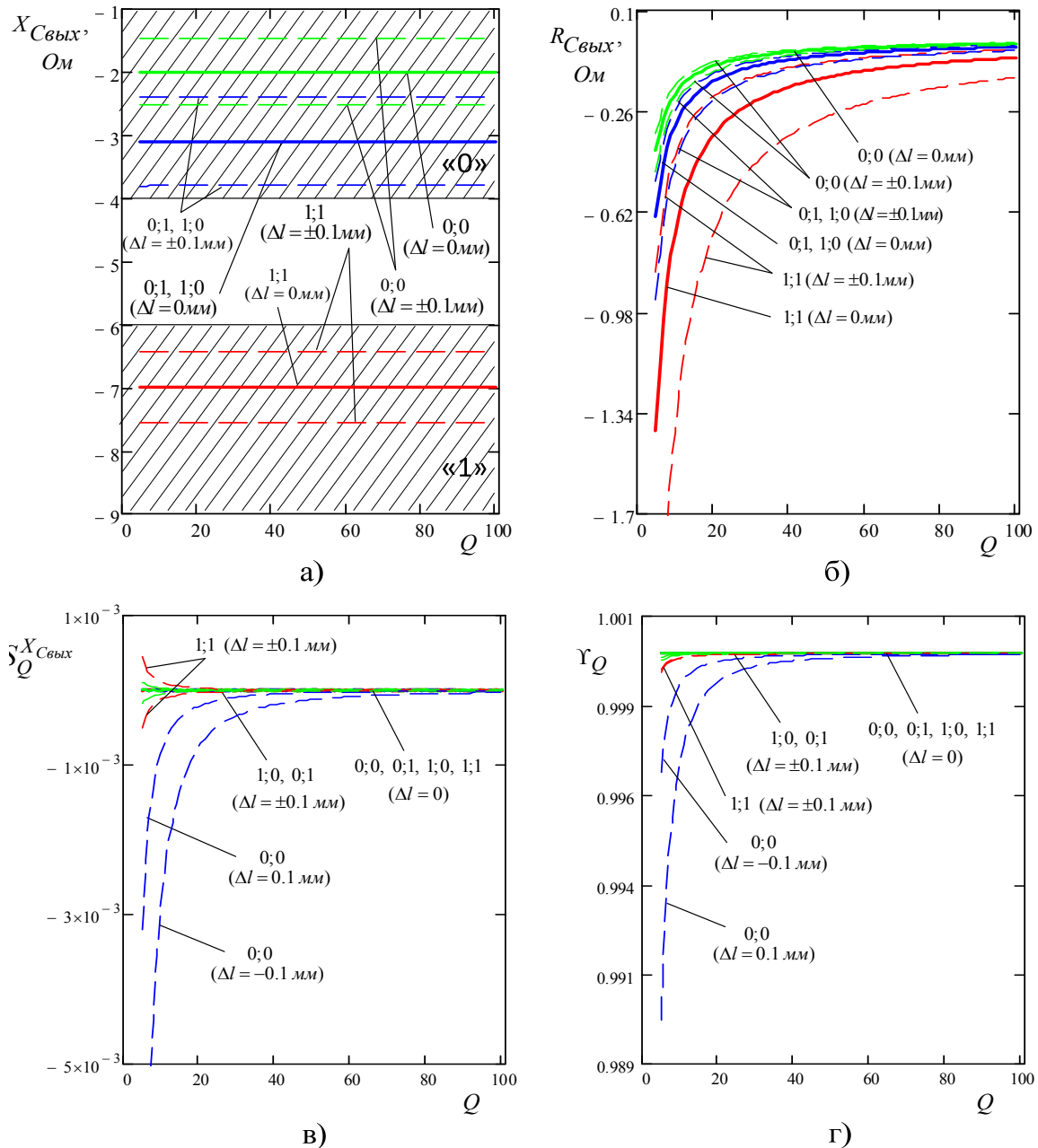


Рис. 4. Расчетные зависимости выходного реактивного $X_{C_{\text{вых}}}$ (а) и активного $R_{C_{\text{вых}}}$ (б) импедансов логического элемента, чувствительности выходного реактивного импеданса $S_Q^{X_{C_{\text{вых}}}}$ (в) и коэффициента помехостойкости Υ_Q (г) от изменения добротности входных емкостных импедансов Q

Из графиков, приведенных на рис. 3а,б следует, что выходной реактивный импеданс $X_{C_{\text{вых}}}$ практически не зависит от нестабильности хвального сопротивления Z_0 отрезков линии передачи в диапазоне значений $50 \pm 0,5$ Ом для случаев как идеальной ($\Delta l = 0$), так и не идеальной ($\Delta l = \pm 0,1$ мм) длины отрезка линии передачи. Коефициент помехостойкости в этом случае равен 1 при $\Delta l = 0$, а для $\Delta l = \pm 0,1$ мм значение этого коэффициента составляет не менее 0,74.

Для оценки чувствительности выходного реактивного импеданса $X_{C_{вых}}$ логического элемента от влияния добротностей Q входных емкостных импедансов будем считать, что $Z_0 = 50$ Ом. Оценка проводилась для двух случаев нестабильности длины отрезка линии передачи: $\Delta l = 0$ и $\Delta l = \pm 0,1$ мм.

На рис. 4 приведены зависимости выходного реактивного $X_{C_{вых}}$ и активного $R_{C_{вых}}$ импедансов, чувствительности выходного реактивного импеданса $S_{Q_{C_{вых}}}$ и коэффициента помехоустойчивости Υ_Q от изменения добротности входных емкостных импедансов Q для входных логических уровней (0;0), (0;1), (1;0) и (1;1).

Из графиков на рис.4а,в следует, что выходной реактивный импеданс $X_{C_{вых}}$ практически не зависит от изменения добротности входных емкостных импедансов Q в диапазоне значений $5 \div 100$ для случаев как идеальной ($\Delta l = 0$), так и не идеальной ($\Delta l = \pm 0,1$ мм) длины отрезка линии передачи. Коэффициент помехоустойчивости в этом случае имеет значение не менее 0.99 (рис. 4г) и уменьшается при снижении добротности. При росте добротности Q значение по модулю выходного активного импеданса $R_{L_{вых}}$ уменьшается (рис.4б) для всех случаев нестабильности длины отрезка линии передачи.

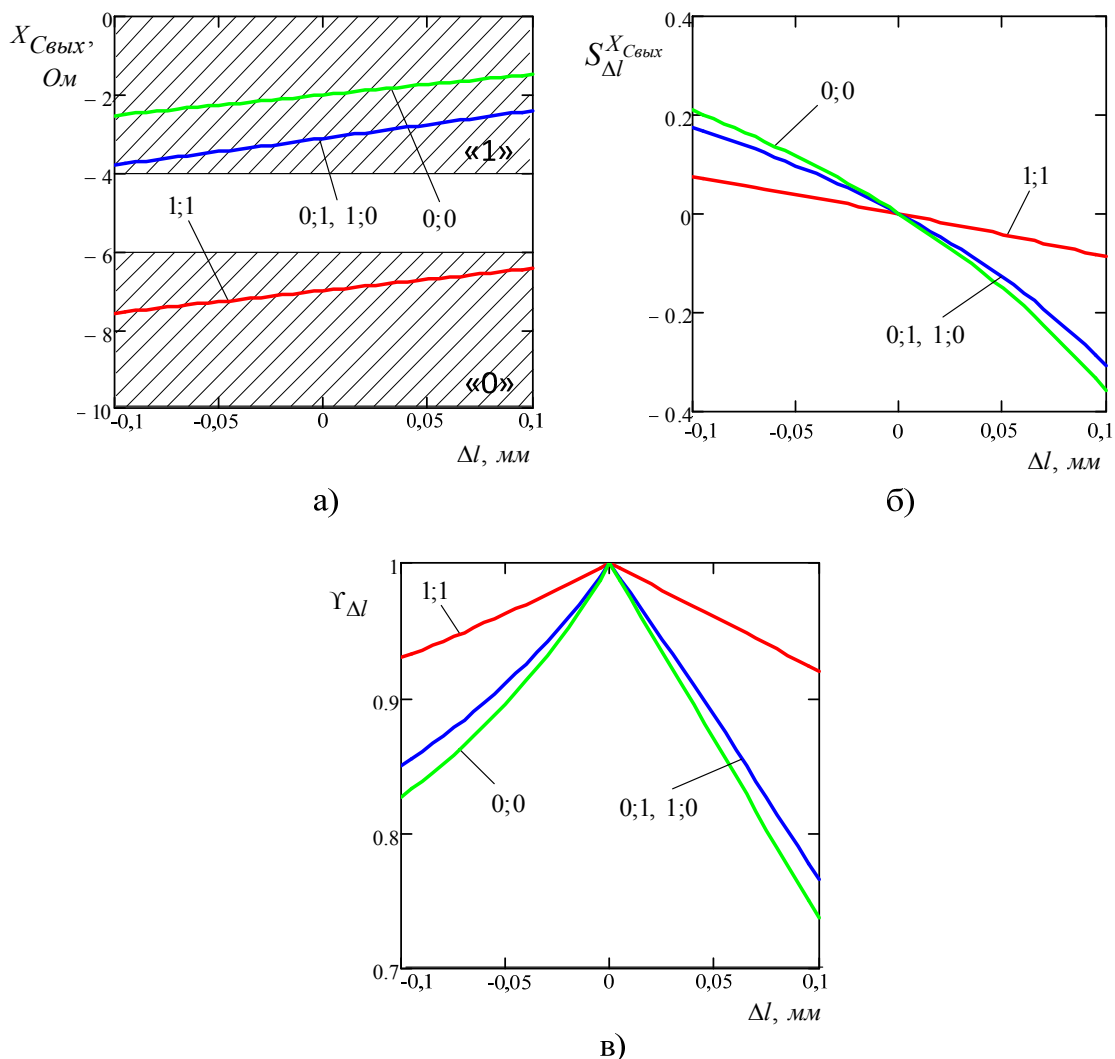


Рис. 5. Расчетные зависимости реактивной составляющей выходного импеданса $X_{C_{вых}}$ (а) логического элемента, чувствительности его выходного реактивного импеданса $S_{\Delta l}^{X_{C_{вых}}}$ (б) и коэффициента помехоустойчивости $\Upsilon_{\Delta l}$ (в) от изменения длины отрезка линии передачи Δl

На рис. 5 показаны расчетные зависимости реактивной составляющей выходного импеданса от изменения длины отрезка линии передачи Δl , чувствительности выходного реактивного импеданса $S_{\Delta l}^{X_{C_{вых}}}$ и коэффициента помехоустойчивости $\Upsilon_{\Delta l}$ от изменения длины отрезка линии передачи Δl для входных логических уровней (0;0), (0;1), (1;0) и (1;1) при $Q = 100$ и $Z_0 = 50$ Ом:

Из графика на рис.5а следует, что при погрешности реализации длины отрезка линии передачи

$\Delta l = 0 \dots \pm 0,1$ мм виходной реактивный импеданс $X_{C_{вых}}$ не выходит за допустимые границы логических уровней «0» и «1». Из графика чувствительности выходного реактивного импеданса $S_{\Delta l}^{X_{C_{вых}}}$ на рис. 5б видно, что чувствительность реактивного импеданса $X_{C_{вых}}$ от длины отрезка линии передачи имеет значение не более 0,35. Коэффициент помехоустойчивости в этом случае имеет значение не менее 0,74 (рис. 3в), и почти линейно уменьшается с ростом погрешности реализации длины отрезка линии передачи Δl .

Выводы

Исследования влияния дестабилизирующих факторов (изменения волнового сопротивления Z_0 линии передачи, погрешности длины отрезка линии передачи Δl и добротности входных емкостных импедансов Q) на характеристики моноиммитансного логического С-элемента «И» показали, что изменение значения волнового сопротивления Z_0 практически не влияет на реактивную и активную составляющую выходного импеданса схемы.

Изменение добротности входных емкостных импедансов Q практически не влияет на значение выходного реактивного импеданса $X_{C_{вых}}$. Выходной активный импеданс $R_{C_{вых}}$ уменьшается при росте добротности Q .

При погрешности реализации длины отрезка линии передачи $\Delta l = \pm 0,1$ мм выходной реактивный импеданс $X_{C_{вых}}$ изменяется не более чем на 35% и не выходит за границы логических уровней «0» и «1». Выходной активный импеданс $R_{C_{вых}}$ в заданном диапазоне погрешности реализации длины отрезка линии передачи Δl не изменяется.

Коэффициент помехоустойчивости моноиммитансного логического С-элемента «И» при заданном диапазоне входных импедансов (рис. 2б) во всех вышеприведенных случаях составляет не менее 0,74.

Таким образом следует, что для обеспечения высокой помехоустойчивости схемы необходимо стремиться к уменьшению погрешности реализации длины отрезков линии передачи и к повышению стабильности частоты сигнала опорного генератора. Значение добротности входных емкостных импедансов, соответствующих логическим «0» и «1», должны превышать значение в 20 единиц.

Литература

1. Ліщинська Л. Б. Імітансна логіка / Л. Б. Ліщинська, М. А. Філінюк // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2010. – № 2. – С. 25–31.
2. Ліщинська Л. Б. Оцінка основних параметрів імітансних логічних елементів / Л. Б. Ліщинська // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2011. – № 3. – С. 45–52.
3. Immittance logic for signal procesors / L. B. Lishchynska, N. A. Filinyuk, A. A. Lazarev, M. V. Baraban // 21st International Crimean Conference: Microwave and Telecommunication Technology, CriMiCo 2011. Sevastopol, Ukraine. 12–16 September 2011. – P. 797–798.
4. Microwave imittance logical elements / L. B. Lishchynska, N. A. Filinyuk, R. Y. Chekhmestrouk, Y.S. Rozhkova // 22st International Crimean Conference: Microwave and Telecommunication Technology, CriMiCo 2012. Sevastopol, Ukraine. 10–14 September 2012. – P. 137–138.
5. Моноиммитансные логические RLC-элементы / Н. А. Филинук, Л. Б. Лищинская, Е. В. Войцеховская, В. П. Стахов // Вісник Хмельницького національного університету. – 2015. – № 3. – С. 117–121.

Отримана/Received : 10.3.2017 р. Надрукована/Printed : 9.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. С. І. Перевозніков

РАЦІОНАЛІЗАЦІЯ РОЗМІЩЕННЯ ВЕЖ СИСТЕМИ ОПТИКО-ЕЛЕКТРОННОГО СПОСТЕРЕЖЕННЯ НА ОСНОВІ КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ

У роботі здійснено постановку задачі раціонального розміщення веж системи оптико-електронного спостереження, проведена оцінка ефективності використання системи, запропоновано підхід до раціонального розміщення веж системи на основі застосування кластерного аналізу, проведено порівняльну оцінку ефективності спостереження при використанні різних підходів щодо розміщення веж системи.

Ключові слова: система оптико-електронного спостереження, вежа, кластерний аналіз, показник ефективності, раціоналізація.

O.V. BOROVYK, R.V. RACHOK, O.YU. RUDYK, M.M. DARMOROZ

The National Academy of State Border Guard Service of Ukraine name'd Bohdan Khmelnytsky, Khmelnytsky, Ukraine

RATIONALIZATION PLACEMENT OF TOWERS OPTOELECTRONIC OBSERVATION ON THE BASIS OF CLUSTER ANALYSIS

The article is to prescribe the rational distribution system towers opto-electronic surveillance to ensure the high performance necessary cover strips overlap them. The work done The problem of rational distribution tower system opto-electronic surveillance proposed approaches to defining rational distribution towers, observation, based on the use of cluster analysis evaluated the efficiency of the system, conducted a comparative assessment of the effectiveness of the observation using different approaches to placing towers system. Considering relief during clustering possible to obtain further improve performance. Compared with existing building systems, opto-electronic surveillance greatest efficiency through rational arrangement of observation towers got small goals.

Key words: optical-electronic observation tower, cluster analysis, the rate of efficiency, rationalization.

Постановка проблеми у загальному вигляді. На сьогоднішній день ефективна охорона державного кордону України є неможливою без використання сучасних технічних засобів охорони кордону (ТЗОК). Одним з напрямів використання ТЗОК є створення вздовж державного кордону суцільної зони візуального, радіотехнічного, інфрачервоного та інших видів спостереження. У зв'язку з цим на Білгород-Дністровській ділянці кордону встановлено сучасну систему оптико-електронного спостереження (СОЕС), яка отримана в рамках проекту міжнародної технічної допомоги. Ця система включає десять веж спостереження, на яких встановлено: радіолокаційні станції EL/M-2129 ELTA, електронно-оптичні камери, обладнання передачі даних. Однак потенційні можливості цієї системи не реалізовані повною мірою. Це пов'язано з нераціональним розміщенням веж спостереження. Можливе розміщення веж, при якому забезпечується кращі значення показника ефективності прикриття необхідної смуги перекриття.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опираються автори. Задача раціонального встановлення веж спостереження може розглядатись як задача покриття. Дослідженню її вирішення приділяли увагу багато науковців. У ряді робіт, зокрема у працях [1–4], ця задача розглядалась з точки зору побудови систем відео-моніторингу. Так, у [1] показано оптимальність покриття кругами з однаковими радіусами при встановленні їх центрів у вершинах рівносторонніх трикутників. Інший підхід до вирішення задач такого типу, який передбачає проведення покриття кругами різних радіусів, викладений у [2]. Ще більш складна задача покриття кругами різного радіусу невіпуклого багатокутника, який представляє собою лісовий масив з забороненими областями? розглянута в [3, 4]. У цих працях використаний евристичний підхід. Для вирішення задачі проводиться покриття потрібної ділянки рівносторонніми трикутниками або квадратами. Центри кругів встановлюються в центри відповідних фігур. Для урахування «заборонених» областей здійснюється коригування розміщення кругів. У [4] покриття ділянки проводиться мережею квадратів різної площі. При цьому пропонується для проведення поділу квадратів використовувати систему числення з основою 4. Однак у цих працях не повною мірою розкриті питання врахування специфічних факторів, важливих для систем відео-моніторингу, зокрема, рельєфу місцевості.

Інші дослідники розглядали питання раціональної побудови систем зв'язку. Зокрема, у [5] розглядалися питання поширення радіохвиль на невеликих відстанях в умовах складного рельєфу, утвореного будівництвом у населених пунктах. У [6] розглядаються задачі оптимального розміщення телевізійних веж. У цьому дослідженні формуються різні критерії оптимальності розміщення: максимум коефіцієнту покриття, максимум сумарної потужності. Для визначення розміщення веж у [6] використані методи циклічного покоординатного спуску та динамічного програмування. На жаль, метод циклічного покоординатного спуску в багатьох складних випадках сходиться до локального екстремуму і не дозволяє знайти оптимальний розв'язок. Як саме враховувався рельєф місцевості дослідники не вказують. При проведенні оптимізації у [6] значна увага звертається на питання електромагнітної сумісності, що для СОЕС не є актуальним.

Інші роботи присвячені ефективності ведення спостереження прикордонниками. В [7] проводились дослідження ефективності ведення спостереження прикордонниками з урахуванням рельєфу місцевості та

можливої тактики дій контрабандистів. Однак у цій праці не враховувались особливості використання різних технічних засобів спостереження (ТЗС). Окремі аспекти функціонування таких засобів аналізувались в роботах [8–10]. У цих працях увага в основному приділялася визначенню підходів до оцінки ефективності ведення спостереження з використанням окремих ТЗС. Однак використання СОЕС, в складі якої комплексно задіяні різні ТЗС, гостро ставить питання оцінки ефективності її спільного функціонування з урахуванням різних факторів, зокрема, рельєфу місцевості. При визначенні розміщення веж спостереження не потрібна їх щільна упаковка, як в [1–4], а також вирішення питання електромагнітної сумісності, як це робиться в [5]. Все це обумовлює актуальність дослідження раціональної побудови СОЕС, виходячи з максимальної ефективності виявлення цілей в межах потрібної смуги перекриття.

Мета статті. Зважаючи на це, метою даної роботи є визначення підходу до раціонального розміщення веж СОЕС для забезпечення високої ефективності прикриття необхідної смуги перекриття.

Виклад основного матеріалу дослідження. Дальність дії засобів спостереження СОЕС будемо розглядати як випадкову величину, яка визначається за допомогою методів теорії ймовірностей і математичної статистики. На вежах СОЕС встановлені радіолокаційна станція, тепловізійна та телевізійна камери. Для цих засобів з використанням інтегральних законів розподілу отримані вирази визначення ймовірності виявлення цілі. При цьому враховано: дальність до цілі; тип цілі; умови, в яких здійснюється спостереження; стан засобу спостереження. Ймовірність виявлення цілі з використанням усіх трьох засобів спостереження, встановлених на одній вежі СОЕС, визначається так:

$$P_k(R) = 1 - \bar{P}_1(R) \cdot \bar{P}_2(R) \cdot \bar{P}_3(R), \quad (1)$$

де $P_1(R)$ – ймовірність виявлення цілі за допомогою РЛС;
 $P_2(R)$ – ймовірність виявлення цілі за допомогою тепловізійної камери;
 $P_3(R)$ – ймовірність виявлення цілі за допомогою телевізійної камери.

Для оцінки ефективності спостереження з використанням усіх веж СОЕС пропонується використовувати показник W , який враховує ефективність ведення спостереження в межах необхідної смуги перекриття різними технічними засобами охорони кордону. При цьому береться до уваги рельєф місцевості, який обмежує можливості ведення спостереження цими технічними засобами. Результати обчислення W свідчать про недостатню ефективність прикриття необхідної смуги перекриття існуючою СОЕС. Для малих цілей цей показник є меншим за 50%. Основною причиною низької ефективності є нераціональне розміщення веж СОЕС (рис. 1). Існуюча розстановка цих веж недостатньо враховує рельєф місцевості та необхідну форму області перекриття, в межах якої потрібно забезпечити високу ефективність виявлення цілей. Аналіз їх розташування показав, що окремі вежі розташовані на краю смуги перекриття. Внаслідок цього ефективне спостереження проводиться лише по малій частці смуги перекриття. Одна з веж розміщена у вузькій та продовгуватій частині смуги перекриття. Внаслідок цього значна частина ефективного спостереження здійснюється поза межами смуги перекриття і не враховується в показнику ефективності.

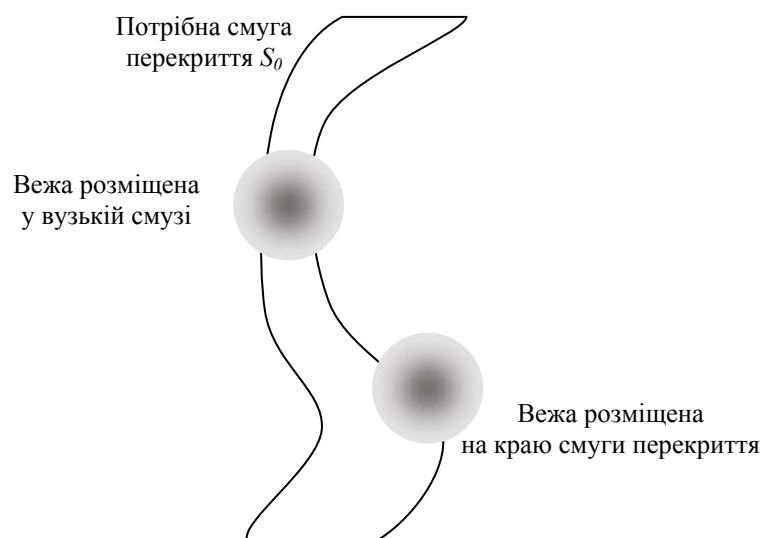


Рис. 1. Типові недоліки в розташуванні веж СОЕС

Для великих цілей ситуація дещо змінюється. Значна ефективна дальність спостереження ТЗС забезпечує перекриття зон спостереження сусідніх веж. У цьому випадку ефективність переважно обмежується негативним впливом рельєфу, що зумовлює появу недоступних для спостереження зон. Однак для рівнинного рельєфу, властивому ділянці Білгород-дністровського прикордонного загону, цей фактор є менш важливим.

У зв'язку з цим визначення раціонального розташування веж спостереження пропонується проводити на основі інформації про необхідну смугу перекриття S_0 (рис. 1), в межах якої потрібно

забезпечити граничний рівень ефективності прикриття p_0 .

Розглянемо дві задачі, в яких визначена необхідна смуга перекриття S_0 . У першій задачі зафіксована кількість N веж спостереження, які потрібно встановити. Необхідно визначити координати (x_i, y_i) раціонального розміщення веж спостереження V_i (рис. 2), де i приймає значення від 1 до N .

Така постановка задачі обумовлена особливостями міжнародної допомоги, в межах якої виділяється фіксована кількість комплектів обладнання (веж спостереження) для встановлення на певній ділянці. Однак теоретично більш цікавою є дещо ширша задача, яка в цілому є аналогічною попередній, проте потребує додаткового визначення кількості веж спостереження N .

Як критерій раціональності розстановки веж V_i використаємо максимізацію показника W .

$$\max W((x_i, y_i), N, S_0, R_f, U),$$

де (x_i, y_i) – координати i -ї вежі спостереження;

N – кількість веж спостереження;

S_0 – потрібна смуга перекриття;

R_f – рельєф місцевості;

U – множина умов, які впливають на обчислення W (клас цілі, погодні умови).

Визначення W є складною обчислювальною задачею, яка розв'язується з використанням алгоритмічних і чисельних методів. Все це обмежує безпосереднє використання багатьох класичних методів оптимізації.

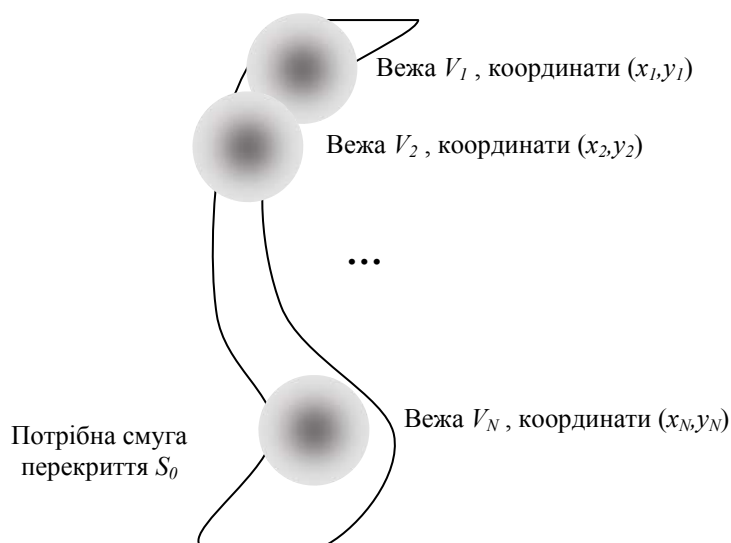


Рис. 2. Задача раціонального розміщення веж СОЕС

Тому, виходячи з аналізу особливостей показника W , з метою максимального «заглиблення» місць розташування веж та дотримання раціональної дистанції між ними, пропонується застосувати методи кластерного аналізу. Такий підхід дозволить, уникнувши безпосереднього обчислення W , здійснити розміщення веж з урахуванням закономірностей, отриманих на основі аналізу цього показника.

Кластерний аналіз вирішує задачі розбиття заданої вибірки об'єктів на підмножини. Ці підмножини називаються кластерами. Розбиття здійснюється так, щоб кожен кластер складався з близьких об'єктів, а об'єкти з різних кластерів були суттєво відмінними.

Основною метою кластерного аналізу є визначення груп близьких об'єктів. Звичайно при цьому надзвичайно важливою є міра близькості. У задачі визначення місць раціонального розташування веж СОЕС в ролі об'єктів кластеризації виступатимуть точки растру, якими описується потрібна смуга перекриття. Ці точки задаються координатами. В ролі міри близькості об'єктів зручно використати Евклідову відстань.

На сьогодні існує значна кількість методів кластеризації: K -середніх (K -means); нечітка кластеризація C -середніх (C -means); графові алгоритми кластеризації; статистичні алгоритми кластеризації; алгоритми сімейства FOREL; ієрархічна кластеризація або таксономія; нейронна мережа Кохонена; ансамбль кластеризаторів; алгоритми сімейства KRAB; ЕМ-алгоритм; метод просювання. Відповідно до особливостей задач ці методи мають свої області використання.

Розглянемо задачу розстановки веж СОЕС у випадку, коли їх число завчасно відоме. Для її вирішення можливе використання одного з фундаментальних і найбільш популярних методів кластеризації – K -means. Цей метод забезпечує впорядкування множини об'єктів в порівняно однорідні групи. Метою методу є проведення розподілу n спостережень на k кластерів. При цьому кожне спостереження має належати до кластера з найближчим до нього середнім значенням. Таким чином, у методі K -means здійснюється мінімізація суми квадратів відстаней між кожним спостереженням та центром його кластера

$$\sum_{i=1}^n d(x_i, m_j(x_i))^2 \rightarrow \min,$$

де d – метрика;

x_i – i -й об'єкт даних;

$m_j(x_i)$ – центр кластера, якому на j -й ітерації приписаний елемент x_i .

Спрощено даний метод зводиться до наступного алгоритму:

Вказується кількість N кластерів, які потрібно знайти.

1. Випадковим чином обирається N об'єктів, які на цьому кроці вважаються центрами кластерів.

2. Кожне спостереження асоціюється з кластером, відстань до якого найкоротша.

3. Розраховуються нові центри кластерів (як середнє арифметичне ознак об'єктів, що входять у цей кластер).

4. Кроки 3-4 повторюються, поки кластерні центри стануть стійкими. Мірою стійкості вважається незмінність складу кластерів. При цьому дисперсія всередині кластера буде мінімізована, а між кластерами – максимізована.

При застосуванні методу K -means в задачі раціональної розстановки веж спостереження на основі інформації про координати об'єктів кластеризації (точок смуги перекриття) можна провести їх розбиття на вказану кількість кластерів (число веж спостереження). Додатково цей метод дозволяє визначити координати центрів цих кластерів. Координати центрів кластерів і є шуканим результатом – координатами раціонального розміщення веж спостереження.

З метою автоматизації вирішення задачі раціонального розміщення веж спостереження було розроблено програмне забезпечення мовою $C\#$ з використанням бібліотеки Accord (рис. 3). В межах даної бібліотеки реалізована значна кількість методів у галузі машинного навчання, зокрема і метод кластеризації K -means.

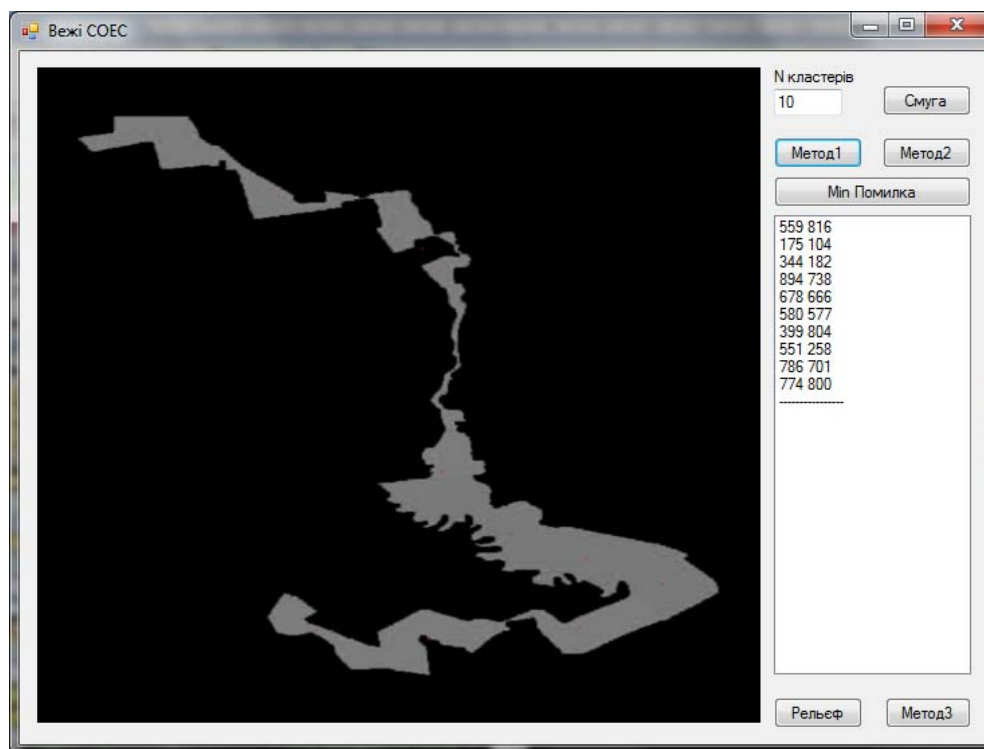


Рис. 3. Вікно програми визначення раціонального розміщення веж СОЕС

Оскільки метод K -means чутливий до початкового вибору положень кластерів, яке здійснюється випадковим чином, кінцеві результати в окремих випадках можуть не співпадати. Для часткового усунення цього недоліку пропонується неодноразово застосовувати метод K -means. Положення кластерів в окремих результатах будуть дещо відрізнятися. Внаслідок цього утворюються множини точок в околах центрів справжніх кластерів. Для остаточного визначення положення веж до отриманої множини як до множини об'єктів кластеризації знову застосовується метод K -means. Даний підхід реалізований у програмі. Проведені дослідження показали, що при 10 повторях отримується достатній для узагальнення статистичний набір.

У розробленому програмному забезпеченні реалізований також третій підхід, який ґрунтується на мінімізації помилки кластеризації. При цьому метод K -means повторюється до тих пір, поки помилка при декількох останніх його застосуваннях не перестане зменшуватись.

Для зручності результати кластеризації записуються в XML форматі, який підтримується

програмою оцінки ефективності СОЕС.

Результати дослідження ефективності W представлені в табл. 1.

Таблиця 1

Результати дослідження ефективності W

Погодні умови	Ціль	W початкова, %	W раціональна, %
ясно	мала	47,57	82,47
	середня	59,11	91,68
	велика	97,47	99,21
дощ	мала	38,67	70,12
	середня	47,57	82,47
	велика	94,87	99,21

Як випливає з наведених результатів, використання запропонованого підходу дозволяє суттєво покращити ефективність прикриття необхідної смуги перекриття у випадку малих цілей. Для середніх і великих цілей також досягається покращення, хоч і не таке значне.

З аналізу показника W випливає, що для середніх і великих цілей зростає ефективна дальність їх виявлення. Тому пропонується ще один підхід до раціонального розташування веж спостереження. При цьому підході кластеризацію над смугою перекриття пропонується проводити не в 2-мірному, а в 3-мірному просторі. В якості 3-ї координати використовується висота точки місцевості над рівнем моря (взята з геоінформаційної системи). Тоді кластери будуть змішуватись в центри груп точок, близьких не лише на площині, але і з урахуванням їх висот. Близькість по висоті забезпечує зменшення негативного впливу рельєфу місцевості. Результати, наведені в табл. 2, свідчать про незначне покращення W при такому підході до кластеризації. Для різних класів цілей та погодних умов зростання W змінюється від 0.12% до 2.27% і в середньому складає 0.68%.

Таблиця 2

Інтегральні результати дослідження ефективності W

Погодні умови	Ціль	W початкова, %	W раціональна, %	W раціональна (з h), %
ясно	мала	47,57	82,47	82,83
	середня	59,11	91,68	91,79
	велика	97,47	99,21	99,61
дощ	мала	38,67	70,12	71,71
	середня	47,57	82,47	82,82
	велика	94,87	99,21	99,61

Для вирішення другої задачі, коли кількість веж спостереження завчасно є невідомою, також можна використати кластерний аналіз. Однак у цьому випадку потрібно застосувати метод кластеризації, в якому кількість кластерів не задається завчасно, а визначається в ході кластеризації (наприклад, можливе використання методу FOREL). Однак у методі FOREL потрібно визначити вхідний параметр R – радіус пошуку локальних згущень. У ролі цього параметру можна використати ефективну дальність спостереження R_{ef} вежею спостереження на рівній місцевості в певних умовах по певному класу цілей. Визначимо її як максимальну відстань, при якій ймовірність виявлення цілі однією вежею буде не нижчою за граничну p_g . В результаті такої кластеризації можливо одночасно визначити кількість веж спостереження і провести їх раціональне розміщення.

Висновки. Таким чином, за результатами проведеного дослідження в роботі запропоновані підходи до визначення раціонального розміщення веж спостереження, які ґрунтуються на використанні кластерного аналізу. Проведені дослідження ефективності прикриття необхідної смуги перекриття підтвердили їх доцільність. Порівняно з існуючою побудовою СОЕС найбільше підвищення ефективності за рахунок раціональної розстановки веж спостереження отримане для малих цілей. Врахування рельєфу при проведенні кластеризації дозволило отримати додаткове покращення показника ефективності.

Напрямом подальших досліджень є проведення кластеризації з завчасно невідомою кількістю веж спостереження на основі ефективної дальності спостереження з використанням методу FOREL.

Література

1. Kershner R. The number of circles covering a set / R. Kershner // Amer. J. Mathematics. – 1939. – Vol. 61, № 3. – P. 665–671.
2. Кузнецов В.Ю. Задачи покрытия ортогональных многоугольников с запретными участками / В.Ю. Кузнецов // Вестник УГАТУ. – Уфа, 2008. – Т.10, № 2 (27). – С. 177–182.
3. Кочкарь Д.А. Оптимальное размещение вышек наблюдения наземных систем видео-мониторинга лесных пожаров / Д.А. Кочкарь, С.Ю. Мединцев, А.А. Орехов // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. –

Харків, 2010. – № 7 (48). – С. 311–314.

4. Бабий С.М. Алгоритм покрытия площади лесного массива кругами видеонаблюдения и контроля / С.М. Бабий, Д.А. Кочкар, В.В. Чмовж // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – Харків, 2010. – № 7 (48). – С. 272–277.

5. Рекомендация МСЭ-R P.1411-6. Данные о распространении радиоволн и методы прогнозирования для планирования наружных систем радиосвязи малого радиуса действия и локальных радиосетей в диапазоне частот от 300 МГц до 100 ГГц [Электронный ресурс]. – Женева, 2012. – Режим доступа : <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>

6. Ščerbakov G. I. The Decision of Problems of Optimization of Territorial Arrangement of the Radio-Transmitting Stations at Design of Transmission Networks / Ščerbakov G. I., Lindval V. R., Spirina E. A., Letaiaf M. A. // Electronics and Electrical Engineering. – Kaunas : Technologija, 2004. – № 3 (52). – P. 47–51.

7. Franklin W. R., Inanc M., Xie Z., Tracy D. M., Cutler B., Andrade M. V. A., and Luk F. Smugglers and border guards – The GeoStar Project at RPI. In 15th ACM International Symposium on Advances in Geographic Information Systems (ACM GIS 2007), Seattle, WA, USA, Nov 2007.

8. Горбунов В.А. Эффективность обнаружения целей / Горбунов В.А. – М. : Воениздат, 1979. – 160 с.

9. Кривошеев В.А. Эффективность охраны государственной границы СССР и основные направления ее повышения / Кривошеев В.А. – М. : Воениздат, 1988. – 256 с.

10. Система інженерно-технічного контролю органу охорони державного кордону : звіт з НДР / Стрельбицький М.А., Лисий М.І., Міхеев Б.М., Купрієнко Д.А. – Хмельницький : Вид-во НАДПСУ, 2007. – 99 с.

Отримана/Received : 26.5.2017 р. Надрукована/Printed : 11.6.2017 р.

Рецензент: д. т. н., проф. Мартинюк В.В.

УДК 621

О.Є. ЗЕМЛЯНСЬКИЙ, К.Л. ГОРЯЩЕНКО, В.С. КОВАЛЬ

Хмельницький національний університет

А.В. КЛЕПІКОВСЬКИЙ

Буковинський державний медичний університет

КОНТРОЛЬ СТАНУ ОПТИЧНОЇ ЛІНІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ТЕХНОЛОГІЇ FDR

Одна з існуючих проблем систем контролю стану ліній зв'язку є виявлення змін в її структурах. Застосування оптичних ліній для побудови розподілених сенсорів знаходить своє застосування через відносну дешевизну конструкції, а також через наявні методи виявлення зміни внутрішньої структури лінії. Для визначення змін зазвичай використовували методів імпульсної рефлектометрії. Проте підвищення точності виявлення місць пошкоджень вимагає впровадження нових методів діагностики на базі частотних вимірювань.

Ключові слова: сенсор, OFDR, OTDR

O.E. ZEMLYANSKIY, K.L. HORIASCHENKO, V.S. KOVAL

Khmelnytsky national university

A.V. KLEPIKOVSKIY

Bukovinian state medical university

USAGE OF FDR TECHNOLOGY FOR CONTROL PURPOSE OF FIBRE CHANNEL STATE

It is known to control state and to detect faults in communication lines based on detections changes of their structures. The use of optical lines for building distributed sensor finds application due to the relative low cost of construction, as well as through existing methods for detecting changes in the internal structure of the line. To determine changes usually used methods pulse reflectometry. However, increasing the accuracy of detection of fault location requires new methods of diagnosis based on frequency measurements.

Keywords: sensors, OFDR, OTDR.

Вступ

Волоконно-оптичні датчики (так само часто іменуються оптичні волоконні датчики) це оптоволоконні пристрої для детектування деяких величин, зазвичай температури або механічної напруги, але іноді – зміщення, вібрацій, тиску, прискорення, обертання (вимірюється за допомогою оптичних гіроскопів на основі ефекту Саньяка), і концентрації хімічних речовин [1, 2, 3].

В даний час в ВОЛЗ використовуються багатомодові і одномодові волоконні світловоди (ВС). Багатомодові волоконні світловоди (МВС) мають наступні основні параметри:

- діаметри оболонки і хвилеведучої жили (в мкм) - 125/50, 125 / 62.5, 140/100;
- діаметр захисної оболонки волокна - 250 мкм;
- числова апертура - в межах 0.2 ÷ 0.5.

Залежно від профілю показника заломлення (ППП) і довжини хвилі випромінювання сигналу багатомодові волокна мають різну смугу пропускання сигналу:

- при ступінчастому PPP - смуга пропускання 20 МГц * км (0,85 мкм)

- при градієнтному МВС - смуга пропускання 160 мГц * км (0.85 мкм) 500 мГц * км (1.3 мкм);
- До основних параметрів одномодових волоконних світловодів (ОВС) відносяться:
- діаметр оболонки і хвилеведучої жили (в мкм) - 125/9;
- діаметр захисної оболонки - 250 мкм;
- числова апертура - близько 0.15.

Одномодові ВС бувають стандартними (SF), зі зміщеною (нульовий) дисперсією (DSF) і з ненульовою зміщеною дисперсією (NZDF). Сучасні ВОЛЗ працюють в наступних робочих вікнах прозорості:

- 1-е (820 ÷ 880) нм;
- 2-е (O) (1280 ÷ 1325) нм; (S) (1 460 ÷ 1530) нм;
- 3-е (C) (1530 ÷ 1570) нм;
- 4-е (L) (1565 ÷ 1620) нм;
- 5-е (E) (1350 ÷ 1450) нм; (U) (+1625 ÷ 1675) нм.

Таблиця 1

Параметри типових волоконно - оптичних ліній зв'язку [6]

Тип	Короткі дистанції	Середні дистанції	Довгі дистанції
Довжина ВОЛЗ	30 км	80 км	200 км
Загасання ОВ	0.25 дБ / км	0,22 дБ / км	0.19 дБ / км
Втрати в ОВ	7.5 дБ	18 дБ	38 дБ
Число зварних з'єднань / будівельні довжини	15/2 км	20/4 км	25/8 км
Середні втрати на зварному з'єднанні	0.1 дБ	0.1 дБ	0.05 дБ
Загальні втрати на зварних з'єднаннях	1.5 дБ	2 дБ	1.25 дБ
Загальні втрати	10 дБ	20 дБ	40 дБ

На рис. 1. показано зовнішній вигляд найпростіших оптичних датчиків, в яких оптичне волокно використовується для доставки оптичного випромінювання до вимірювальної головки та передачі сигналу відбиття назад в оптичну лінію до пристрою вимірювання, а в таблиці 1 наведено параметри ВОЛЗ.

**Рис. 1. Конструкції сучасних оптичних датчиків для локального вимірювання**

Другою групою волоконно-оптичних датчиків є розподілені волоконно-оптичні датчики. Загальний принцип таких пристроїв в тому, що світло від лазера (найчастіше одномодового волоконного лазера) або суперлюмінесцентного оптичного джерела передається через оптичне волокно, отримуючи слабкі зміни своїх параметрів в волокні або в одній або декількох брегговських решітках, і потім досягають схеми детектування, яка оцінює ці зміни.

У порівнянні з іншими типами датчиків, волоконно-оптичні датчики мають наступні переваги:

- складаються з електрично непровідних матеріалів (не вимагають електричних кабелів), що дозволяють використовувати їх, наприклад, в місцях з високою напругою;
- їх можна безпечно використовувати у вибухонебезпечному середовищі, тому, що немає ризику виникнення електричної іскри, навіть в разі поломки;
- не чутливі до електромагнітних перешкод (ЕМІ), навіть поблизу розряду блискавки, і самі по собі не електризують інші пристрої;
- їх матеріали можуть бути хімічно інертні, тобто не забруднюють навколишнє середовище, і не схильні до корозії;
- мають дуже широкий діапазон робочих температур (набагато більше, ніж у електронних

пристроїв);

- мають можливість мультиплексування – використовуватись одночасно для виконання вимірювальної функції та передачі інформації;
- кілька датчиків в одиночній волоконній лінії можуть бути інтегровано з одним оптичним джерелом (див. нижче).

Принцип роботи розподіленого оптоволоконного датчика

Фізичні впливи на оптоволокну, такі як: температура, тиск, сила натягу - локально змінюють характеристики пропускання світла і як наслідок, призводять до зміни характеристик сигналу зворотного відбиття. В основі вимірювальних систем на основі оптоволоконних датчиків використовується порівняння спектрів і інтенсивностей вихідного лазерного випромінювання і випромінювання, розсіяного в зворотному напрямку, після проходження по оптоволокну.

Зворотне світлове розсіювання при температурному впливі

Оптичні волокна виготовлені з легованого кварцового скла. Кварцове скло являє собою різновид двоокису кремнію (SiO_2) з аморфною твердотільною структурою. Температурні впливи ініціюють вібрації в молекулярній решітці. Коли світло потрапляє на термічно збуджені молекули, відбувається взаємодія між світловими частками (фотонами) і електронами. Таким чином, в оптичному волокні відбувається світлове розсіювання, так само відоме, як раманівське розсіювання.

Зворотне світлове розсіювання складеться з декількох спектральних складових:

- Релеєвське розсіювання, з довжиною хвилі аналогічної, використовуваної в лазерному джерелі;
 - стоксові компоненти Раманівського розсіювання з довжиною хвилі більшою, ніж у використовуваного лазерного джерела, при яких випускаються фотони;
 - антистоксівські компоненти Раманівського розсіювання з меншою довжиною хвилі, в порівнянні з релеєвським розсіюванням, при якому фотони поглинаються.
 - Бріллюєнівські лінії, які більш інтенсивні ніж стоксівські, але мають менший спектральний зсув
- Цей спектральний зсув викликаний акустичними коливаннями кристалічної решітки волокна і несе в собі інформацію про механічні напруження і температури, що впливають на волокно. Вплив механічної напруги і температур призводить до зміни положення Бріллюєнівської лінії на шкалі довжин хвиль.

Інтенсивність розсіювання так званого антистоксового діапазону залежить від температури, в той час як, стоксівський діапазон від температури практично не залежить. Локальна температура оптичного волокна виводиться з відносини антистоксової та стоксівської інтенсивностей світла.

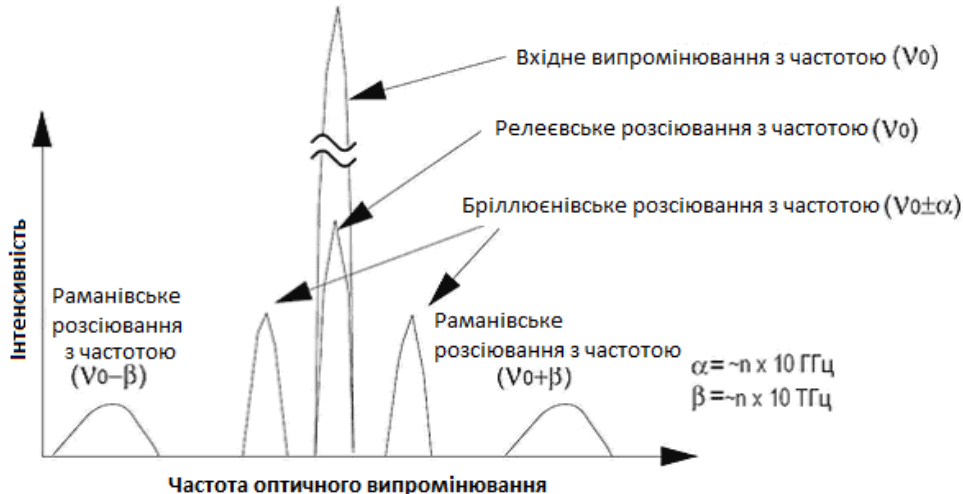


Рис. 2. Схема розподілу розсіювань від їх фізичної природи в оптичній лінії

Розподілені оптичні датчики температури на основі Раманівських ліній

Найсучаснішим обладнанням в системі моніторингу є моніторинг розподілу температури, наприклад в трубопроводах. Розв'язок цієї задачі ґрунтується на застосуванні розподіленого оптоволоконного датчика температури на основі Раманівських ліній. Принципом роботи датчика є те, що інтенсивність Стоксівської Раманівської компоненти розсіяного випромінювання практично не залежить від температури, а інтенсивність Антистоксівських ліній сильно пов'язана з температурою. Це дозволяє визначати значення температури шляхом визначення відношення інтенсивності Антистоксовських ліній і Стоксівських ліній.

Даний підхід дозволяє позбутися похибки, пов'язаної з можливими флуктуаціями потужності зондуємого лазерного імпульсу. Системи цього типу можуть працювати на відстанях до декілька кілометрів. Просторова роздільна здатність може досягати 0,5 м.

Найвідомішим методом зворотного розсіювання для оптичних ліній є метод OTDR (Optical Time Domain Reflectometry, оптична рефлектометрія у часовій області). В його основі закладено імпульсно-акустичний метод (імпульси та відбиття). Рефлектометричні вимірювання в часовому діапазоні (TDR) стали стандартом для вимірювання. Широкий розвиток імпульсна рефлектометрія знайшла на початку 1980-х. Найбільша похибка вимірювання в методі TDR обумовлена вимірюванням часу розповсюдження в середовищі (рис. 3).

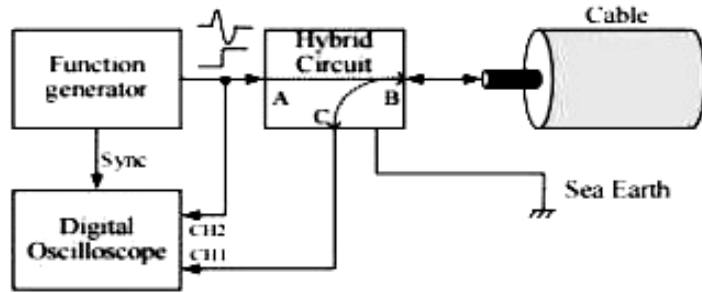


Рис. 3. Схема вимірювань для TDR в оптичній лінії [3, 4]

А в результаті різниці часу поширення між часом передачі і виявлення світлових імпульсів можна визначити рівень і місце розсіювання. Співвідношення випромінюваного розсіювання світла з ефектом Рамана та сигналу зворотного розсіювання при вимірюванні комбінаційного розсіяного світла становить коефіцієнт 1000. Тому локально розподілений датчик температури Рамана з технікою OTDR може бути реалізований тільки за допомогою потужних (дорогих) імпульсних лазерів (зазвичай лазерів з твердою робочою речовиною) і швидкодіючою технікою передачі сигналів, яка є також дорогою.

Для усунення цих обмежень знайшли своє поширення методи, які використовують вимірювання в частотній області. Ці методи показали достатньо цікаві показники. Такі методи получили загальну назву – FDR (frequency domain reflectometry) або OFDR (OFDR, Optical Frequency Domain Reflectometry, рефлектометрія у частотній області).

При методі OFDR отримують інформацію про локальну зміну температури, якщо сигнал зворотного розсіювання виявлений протягом усього часу вимірювання, вимірюється як функція частоти, а потім піддається перетворенню Фур'є [5].

Принциповою відмінністю техніки OFDR є режим квазінеперервних випромінювань лазера і вузькосмугове виявлення оптичного сигналу зворотного розсіювання, внаслідок чого, досягається значно більш високе відношення сигнал/шум, ніж при використанні імпульсної техніки.

Дана технічна перевага дозволяє використовувати недорогі напівпровідникові лазерні діоди і недорогі електронні блоки для передачі сигналів. Також слід особливо відзначити, що в методі OFDR знайшли своє застосування, враховуючи низькі частоти робочого сигналу порядку кГц, низькошвидкісні АЦП. А це дозволяє застосовувати АЦП високої розрядності на рівні 32-48 біт та вище причому із низькою собівартістю.

З іншого боку, простоті технічного рішення протиставляється технічно складне вимірювання комбінаційного розсіювання світла (комплексне вимірювання амплітуди та фази). А також необхідність у застосуванні обчислювальних потужностей для виконання швидкого перетворення Фур'є, необхідної для обробки сигналу із більш високими вимогами до лінійності електронних блоків і компонентів.

Висновки

Волоконно-оптичні датчики до цього часу не користуються великим комерційним успіхом, так як важко замінити застосовувані існуючих технології вимірювання, навіть якщо вони мають певні обмеження. Хоча в деяких областях застосування, волоконно-оптичні датчики отримують все більше визнання, як технологія з великим потенціалом цікавих можливостей. Серед таких областей є: робота в жорстких умовах, таких як зондування в пристроях з високою напругою, або в СВЧ печях.

Сенсори на основі брегговських решіток можуть також бути використані, наприклад, для моніторингу умов, всередині крил літаків, в вітрових турбінах, мостах, великих греблях, нафтових свердловинах, і трубопроводах.

Будинки з вбудованими волоконно-оптичними датчиками іноді називають "розумними конструкціями", датчики в них здійснюють контроль деформації всередині різних частин конструкції, і отримують дані про ці зміни, наприклад знос, вібрації та інше. Розумні конструкції є основною рушійною силою для розвитку волоконно-оптичних датчиків.

Оптичні датчики мають потужний потенціал для подальшого впровадження у сучасному світі в широке коло застосувань. Проте залишається актуальною задача створення методів визначення змін стану цих оптичних ліній. Також слід відзначити, що важливою задачею є створення методів не тільки для оптичних ліній, а також прийнятних для визначення станів і інших середовищ із застосуванням запропонованого підходу.

Література

1. Кравцов В. Е., Лукьянов А. М., Подюкова Л. В., Тихомиров С. В. Современные оптические рефлектометры. Вопросы метрологического обеспечения, Метрология и измерительная техника в связи. – № 2. – 1999.

2. Laferriere J., Taws R., Wolszczak S. "Guide to Fiber Optic Measurements», Wavetek, 1998.
3. M. Wegmuller, M.Legre, P.Oboson, O. Guinnard, C.Vinegoni, N.Gisin, " Analysis of the polarization evolution in a ribbon cable using high resolution coherent OF DR", IEEE Photon. Technol. Lett., vol.13, n2, 2001.
4. Wegmuller M., J.P. von der Weid, P.Oboson, N.Gisin, "High resolution fibre distributed measurements with Cogerent OFDR", Proc. ECOC, vol.4, Munich, Germany, 2000, pp. 109-110.
5. Horiashchenko Kostyantyn. Spectral components definition of the signal with harmonic signal noninteger period components / K. Horiashchenko, O.I. Maydanets // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах": сб. наук. пр. – Одеса, 6-12 червня 2014 р. – С.71-72
6. Свинцов А. Г., Слуцкий Н. А. "Системы мониторинга в волоконно - оптических сетях связи", Вестник связи , № 12, 2000.

Отримана/Received : 23.4.2017 р. Надрукована/Printed : 10.6.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Романюк В.В.

УДК 681.12

Й.Й. БІЛИНСЬКИЙ, Б.П. КНИШ, Я.А. КУЛИК
Вінницький національний технічний університет

МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ РОБОТИ ФІЛЬТРІВ ПРИГЛУШЕННЯ ШУМІВ В ПАКЕТІ MATHCAD

Розроблено методику оцінювання якості роботи фільтрів приглушення шумів в пакеті Mathcad, що дозволяє визначати ефективність фільтрів в роботі з різними видами шуму та використати отримані результати дослідження під час розробки різноманітних науково-методичних робіт для дисциплін, пов'язаних з обробкою зображень.

Ключові слова: фільтр, шум, приглушення, критерій, піксел.

Y.Y. BILINSKIY, B.P. KNYSH, Y.A. KULYK
Vinnytsia National Technical University, Ukraine

QUALITY ESTIMATION METHODOLOGY OF FILTER PERFORMANCE FOR SUPPRESSION NOISE IN THE MATHCAD PACKAGE

The goal is to develop a methodology of estimation the quality of noise suppression filters using MathCAD package, which in future can be used for development of laboratory and practical courses for subjects related to image processing. In the paper was considered the median filter and Gaussian filter, whose work is researched on suppression pulse and Gaussian noise. Established that the Gaussian filter is more effective compared to the median filter at a value of impulse noise more than 10%. At the same time, the median filter is more effective compared to the Gaussian filter Gaussian noise at a value of more than 10%. The results can be used in the future in the development of laboratory and practical courses which is related to image processing, including "Electronic Systems", "Computer Graphics" for students of branches 15 - "Automation and Instrumentation" and 17 - "Electronics and Telecommunications".

Keywords: filter, noise suppression, criterion, pixel.

Вступ

Обробка зображень має надзвичайно важливе значення в сучасній науці, тому постійно розвивається та вдосконалюється. Вона широко застосовується в промисловості, мистецтві, медицині, космосі, при керуванні процесами, автоматизації виявлення об'єктів, розпізнаванні образів і в багатьох інших галузях. Канали передачі сигналів вимагають забезпечення передачі все більших потоків інформації. Формування, поліпшення якості та автоматизація її обробки є предметом сучасних досліджень та розробок. Сьогодні важко уявити область діяльності, у якій можна обійтися без обробки зображень, адже вона дозволяє вирішувати широке коло завдань, таких як поліпшення якості, розпізнавання, стиснення, вимірювання параметрів зображення, спектральний аналіз багатомірних сигналів, тощо. Таким чином, наявність цієї тематики в навчальному процесі відповідає сучасним тенденціям. Обробка зображень розглядається під час вивчення різних дисциплін, зокрема «Електронні системи», «Комп'ютерна графіка» для студентів галузей знань 15 – «Автоматизація та приладобудування» та 17 – «Електроніка та телекомунікації».

Обробка зображень здійснюється за допомогою пакетів, які широко використовуються в навчальному процесі, а саме Matlab та Mathcad. На сьогодні Matlab, а саме пакет Image Processing Toolbox, є найбільш потужним інструментом для моделювання і дослідження методів обробки зображень. Але ці методи в навчальному процесі зазвичай розглядаються поверхнево або лише з метою ознайомлення. Більш складні задачі по обробці зображень вирішуються під час виконання кваліфікаційних робіт. Крім того, ціна базової комерційної версії Matlab без інструментів складає близько 2000 дол. США і 100 дол. США для навчальних закладів з мінімальним набором інструментів. Це все в цілому ускладнює широке використання Matlab в навчальному процесі. В той самий час, Mathcad, а саме пакет Image Processing Extension Pack, включає велику кількість вбудованих функцій, які реалізують найбільш розповсюджені методи обробки зображень. Крім того, версія Portable є безкоштовною. Таким чином, достатній рівень функціональних

можливостей та доступність дозволяє Mathcad широко використовувати в навчальному процесі.

Однією з проблем обробки зображень, які сформовані різними інформаційними системами, є їх спотворення під дією завад або шумів. Це ускладнює як їхній візуальний аналіз, так і автоматичну обробку [1]. Тому використовують фільтрацію, яку здійснюють різноманітні фільтри, що застосовуються для розфокусування зображення та приглушення шуму. В результаті використання фільтрів досягається зменшення різких переходів рівнів інтенсивності шляхом заміни входних значень елементів зображення. Параметри цього процесу визначають якість роботи фільтра [2, 3], оцінка якої вимагає розробки спеціальної методики.

Таким чином, метою роботи є розробка методики оцінювання якості роботи фільтрів приглушення шумів за допомогою пакету Mathcad, яка в подальшому може використовуватись під час розробки лабораторних та практичних завдань для дисциплін, пов'язаних з обробкою зображень.

Основна частина

Будь-яке зображення є сукупністю пікселів різної інтенсивності. Зменшення різких переходів рівнів інтенсивності кожного пікселя зображення залежить від типу фільтра. Також надзвичайно важливим є рівень зашумленості зображення.

Найбільш поширеними видами шумів, які використовуються в навчальному процесі, є Гаусовий та імпульсний шуми. Пакет Mathcad дозволяє працювати з ними. Гаусовий шум характеризується додаванням до кожного пікселя зображення значень з відповідного нормального розподілу з нульовим середнім значенням. Такий шум з'являється в пристроях формування цифрових зображень [4]. Імпульсний шум характеризується заміною частини пікселів значеннями фіксованої або випадкової величини. Такий шум пов'язаний з втратами при передачі зображень по каналах зв'язку [4].

Найбільш поширеними фільтрами приглушення шуму, які використовуються в навчальному процесі, є медіанний фільтр та фільтр Гауса. Пакет Mathcad дозволяє працювати з ними. Медіанний фільтр – один з видів цифрових фільтрів, який широко використовується в цифровій обробці сигналів та зображень для зменшення рівня шуму. Значення відліків в середині вікна фільтра сортуються в порядку зростання (спадання) і отримані, таким чином, значення надходять на вихід фільтра. У разі парного числа відліків у вікні вихідне значення фільтра дорівнює середньому значенню двох відліків. Вікно переміщується уздовж сигналу, що фільтрується, і обчислення повторюються [5]. Фільтр Гауса – цифровий фільтр, в якого імпульсна перехідна функція є функцією Гауса. Фільтр Гауса не переналаштовує перехідну функцію та не максимізує постійну часу. Це пов'язано з тим, що фільтр Гауса має мінімально можливу групову затримку. Фільтр Гауса використовується для обробки двовимірних сигналів (зображень) з метою зниження рівня шуму та для отримання гаусівської модуляції [6].

Для кількісного оцінювання роботи фільтрів приглушення шуму використовують різноманітні критерії. В навчальному процесі це, зазвичай, *PSNR* і *RMSE* критерії. *PSNR* – це критерій пікового співвідношення сигнал/шум (peak signal-to-noise ratio), який визначається формулою

$$PSNR(n, m) = 20 \lg \frac{255}{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d(n_i, m_i)^2}}, \quad (1)$$

де N – загальне число пікселів на кожному зображенні;
 n_i, m_i – піксели двох зображень, що порівнюються;
 $d(n_i, m_i)$ – різниця між кольорами відповідних пікселів.

Відповідно до критерію, чим більше значення *PSNR*, тим вищою вважається якість роботи фільтра [7, 8].

RMSE – критерій похибки фільтрації, який визначається формулою

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_i \sum_j (n(i, j) - m(i, j))^2}{N}}, \quad (2)$$

де N – кількість пікселів, що обробляються;
 $m(i, j)$ – фільтроване зображення;
 $n(i, j)$ – початкове зображення.

Для *RMSE*, чим нижче значення похибки фільтрації, тим вища якість роботи фільтра [9, 10].

Таким чином, використовуючи можливості Mathcad можна запропонувати методику оцінювання якості роботи фільтрів приглушення шумів, яка передбачає:

1. Введення та відображення еталонного зображення в Mathcad.
2. Виведення таблиці інтенсивностей пікселів еталонного зображення.
3. Зашумлення зображення імпульсним та Гаусовим шумами різної інтенсивності.
4. Фільтрація отриманих зображень медіанним фільтром та фільтром Гауса.

5. Обрахунок $PSNR$ та $RMSE$ критеріїв.

6. Занесення отриманих значень критеріїв в таблицю.

7. Аналіз отриманих результатів та оцінювання якості роботи фільтрів приглушення шумів.

Реалізація методики ілюструється нижченаведеним прикладом.

Вводиться еталонне зображення, тобто зображення з відомими параметрами, в Mathcad за допомогою операції $\text{Image} := \text{"Image.bmp"}$. Таблиця інтенсивностей пікселів цього зображення отримується шляхом виконання операції $M := \text{READBMP}(\text{Image})$.

Зашумлення еталонного зображення імпульсним та Гаусовим шумами різної інтенсивності в Mathcad відбувається згідно відомих операцій та функцій, які наведені в QuickSheets в розділі Graphing and Visualization / Image Processing та в довідці до пакету Image Processing Extension Pack, а саме в розділі Addition and Measurement of Noise.

На рис. 1 наведено еталонне зображення та зашумлені імпульсним шумом на 10%, 20 % і 40%.

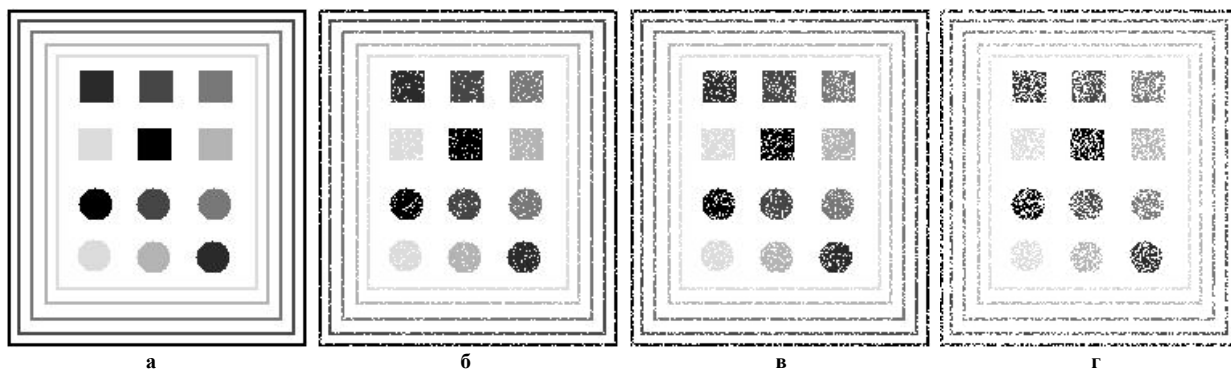


Рис. 1. Зображення: а – еталонне; б – зашумлене імпульсним шумом на 10%; в – зашумлене імпульсним шумом на 20%; г – зашумлене імпульсним шумом на 40%

Як видно з рис. 1, зі збільшенням зашумленості зображення спотворюється. Втрачаються піксели, що призводить до розривів контурів об'єктів зображення та втрати їх форми, особливо якщо значення інтенсивностей пікселів, які їх утворюють, є низькими.

На рис. 2 наведено еталонне зображення та зашумлені Гаусовим шумом на 10%, 20 % і 40%.

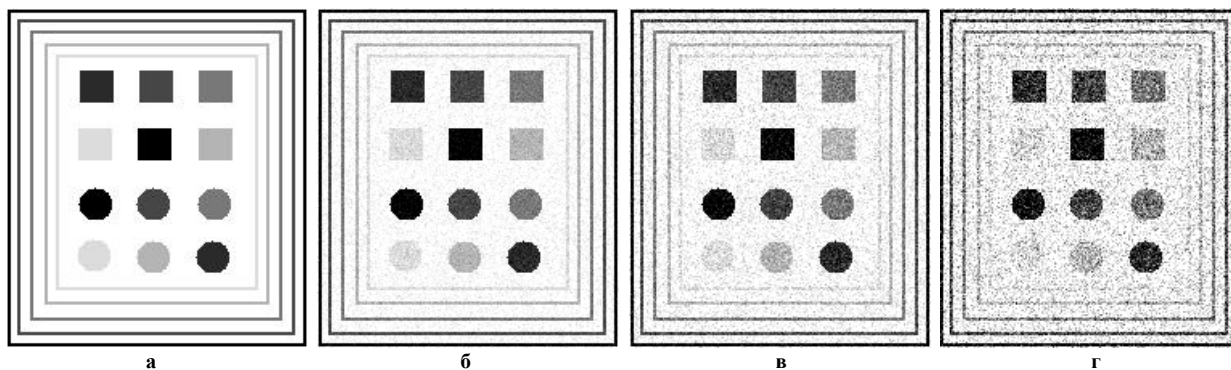


Рис. 2. Зображення: а – еталонне; б – зашумлене Гаусовим шумом на 10%; в – зашумлене Гаусовим шумом на 20%; г – зашумлене Гаусовим шумом на 40%

Як видно з рис. 2, зі збільшенням зашумленості зображення спотворюється. Причому зашумлюються не лише об'єкти зображення, а все зображення цілком. Це призводить до того, що на високих рівнях шуму певні об'єкти низької інтенсивності втрачаються.

Фільтрація зашумлених зображень медіанним фільтром та фільтром Гауса в Mathcad відбувається згідно відомих операцій та функцій, які наведені в довідці до пакету Image Processing Extension Pack, а саме в розділі Median and Quantile Filtering.

На рис. 3 наведено еталонне зображення та фільтровані медіанним фільтром зображення зашумлені імпульсним шумом.

Як видно з рис. 3, медіанний фільтр не ефективний для приглушення імпульсного шуму, оскільки при високих його рівнях зображення спотворюється до критичного рівня. Таким чином, медіанним фільтром можна приглушувати імпульсний шум до 10%.

На рис. 4 наведено еталонне зображення та фільтровані медіанним фільтром зображення зашумлені Гаусовим шумом.

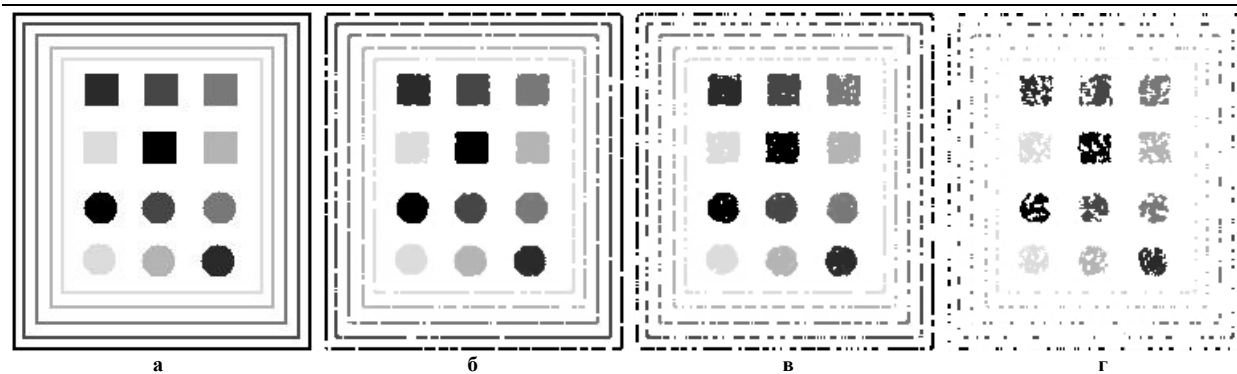


Рис. 3. Зображення: а – еталонне; б – фільтроване медіанним фільтром зображення зашумлене імпульсним шумом на 10%; в – фільтроване медіанним фільтром зображення зашумлене імпульсним шумом на 20%; г – фільтроване медіанним фільтром зображення зашумлене імпульсним шумом на 40%

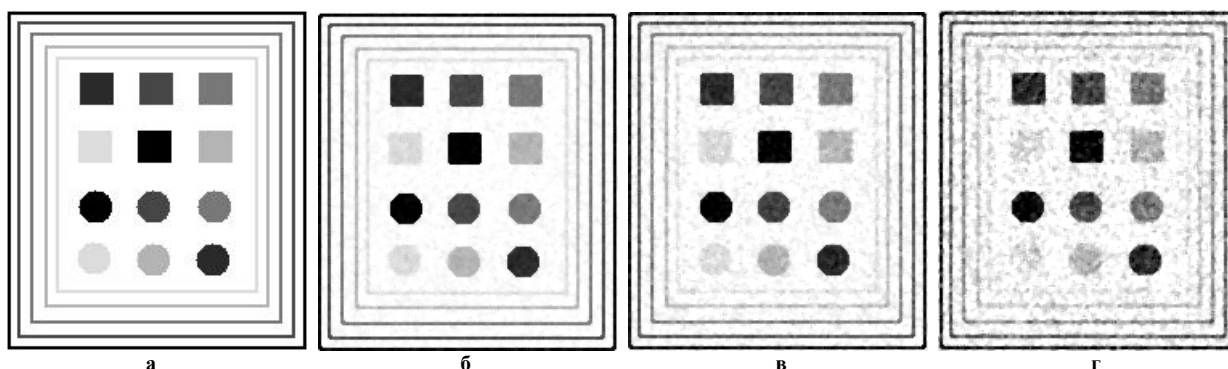


Рис. 4. Зображення: а – еталонне; б – фільтроване медіанним фільтром зображення зашумлене Гаусовим шумом на 10%; в – фільтроване медіанним фільтром зображення зашумлене Гаусовим шумом на 20%; г – фільтроване медіанним фільтром зображення зашумлене Гаусовим шумом на 40%

Як видно з рис. 4, медіанний фільтр ефективний для приглушення Гаусового шуму, особливо до 20%.

На рис. 5 наведено еталонне зображення та фільтровані фільтром Гауса зображення зашумлені імпульсним шумом.

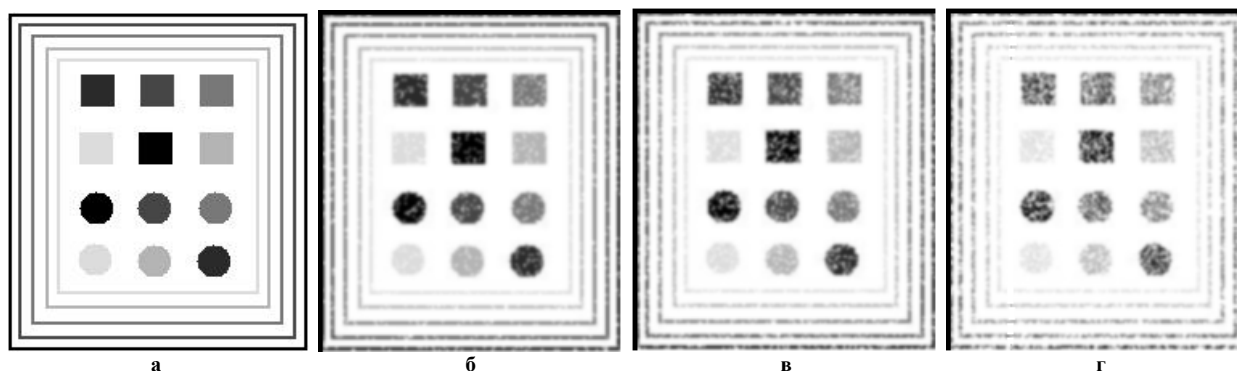


Рис. 5. Зображення: а – еталонне; б – фільтроване фільтром Гауса зображення зашумлене імпульсним шумом на 10%; в – фільтроване фільтром Гауса зображення зашумлене імпульсним шумом на 20%; г – фільтроване фільтром Гауса зображення зашумлене імпульсним шумом на 40%

Як видно з рис. 5, фільтр Гауса ефективний для приглушення імпульсного шуму, особливо до 40%. Відфільтроване зображення містить мінімальну кількість втрачених пікселів (розривів) в порівнянні з аналогічною фільтрацією медіанним фільтром.

На рис. 6 наведено еталонне зображення та фільтровані фільтром Гауса зображення зашумлені Гаусовим шумом.

Як видно з рис. 6, фільтр Гауса теж ефективний для приглушення Гаусового шуму, але в порівнянні з аналогічною фільтрацією медіанним фільтром якість є нижчою, особливо при рівнях шуму більше 40%.

Обрахунок $PSNR$ та $RMSE$ критеріїв в пакеті Mathcad відбувається згідно вищенаведених формул (1) та (2). Отримані значення критеріїв для кожного фільтра при всіх видах шумів різної інтенсивності заносяться в таблицю.

У табл. 1 наведено результати досліджень приглушення шуму розглянутими фільтрами.

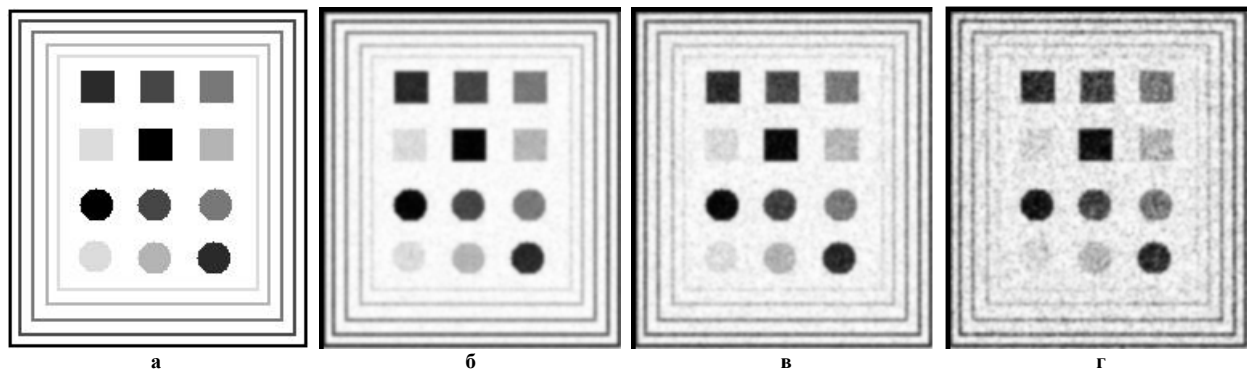


Рис. 6. Зображення: а – еталонне; б – фільтроване фільтром Гауса зображення зашумлене Гаусовим шумом на 10%; в – фільтроване фільтром Гауса зображення зашумлене Гаусовим шумом на 20%; г – фільтроване фільтром Гауса зображення зашумлене Гаусовим шумом на 40%

Таблиця 1

Результати досліджень приглушення шуму

	Імпульсний шум						Гаусовий шум					
	10%		20%		40%		10%		20%		40%	
	PSNR	RMSE	PSNR	RMSE	PSNR	RMSE	PSNR	RMSE	PSNR	RMSE	PSNR	RMSE
Без фільтрації	36,15	3,98	29,81	8,24	23,98	16,13	37,7	3,29	31,7	6,56	25,4	13,65
Медіанний фільтр	38	3,21	27,78	10,41	16,13	24,59	48,71	0,94	42,5	1,91	34,72	4,68
Фільтр Гауса	43,61	1,68	32,92	5,76	25,67	13,28	33,53	5,37	29,44	8,59	24,24	15,64

Аналіз результатів показує, що фільтр Гауса є більш ефективним в порівнянні з медіанним фільтром при величині імпульсного шуму більше 10%. В той самий час, медіанний фільтр є більш ефективним в порівнянні з фільтром Гауса при величині Гаусового шуму більше 10%.

Висновок

В роботі розроблено методику оцінювання якості роботи фільтрів приглушення шумів за допомогою пакету Mathcad, яка в подальшому може використовуватись під час розробки лабораторних та практичних завдань для дисциплін, пов'язаних з обробкою зображень, зокрема «Електронні системи», «Комп'ютерна графіка» для студентів галузей знань 15 – «Автоматизація та приладобудування» та 17 – «Електроніка та телекомунікації».

Крім того, розглядалися медіанний фільтр та фільтр Гауса, робота яких досліджувалась на приглушенні імпульсного та Гаусового шумів. Встановлено, що фільтр Гауса є більш ефективним в порівнянні з медіанним фільтром при величині імпульсного шуму більше 10%. В той самий час, медіанний фільтр є більш ефективним в порівнянні з фільтром Гауса при величині Гаусового шуму більше 10%.

Література

1. Кветний Р.Н. Комп'ютерне моделювання систем та процесів / Р.Н. Кветний, І.В. Богач, О.Р. Бойко, О.Ю. Софіна, О.М. Шушура. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 193 с.
2. Білінський Й.Й. Класифікація методів крайового детектування зображень / Й.Й. Білінський // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2007. – № 1. – С. 161–169.
3. Патент 29418 України МПК⁶ G 01 K 09/64. Спосіб виділення контуру зображення / Й.Й. Білінський, С.В. Юкиш ; заявник і патентовласник / Вінницький національний технічний університет – № 29418 ; опубл. 10.01.08, Бюл. № 1.
4. Фільтрація біомедичних зображень методами OpenCV [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ki.tneu.edu.ua/view/showResearch/imageFiltration.php>.
5. Шахнович И.В. Современные технологии беспроводной связи / И.В. Шахнович. М. : Техносфера, 2004. – 288 с.
6. Галкин В.А. Цифровая мобильная радиосвязь / В.А. Галкин. М. : Телеком, 2007. – 432 с.
7. Василенко Б.И. Восстановление изображений. / Б.И. Василенко, А.М. Тараторин. – М. : Радио и связь, 1986. – 304 с.
8. Белявцев В.Г. Алгоритмы фильтрации изображений с адаптацией размеров апертуры / В.Г. Белявцев, Ю.Е. Воскобойников // Автометрия. – 1998. – № 3. – С. 18–25.
9. Білінський Й.Й. Приглушення шуму в задачах визначення краю об'єкта на зображенні /

Й.Й. Білінський // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2008. – № 3/2(33). – С. 9–13.

10. Білінський Й.Й. Методи обробки зображень в комп'ютеризованих оптико-електронних системах : монографія / Й.Й. Білінський. – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 272 с.

Отримана/Received : 22.4.2017 р. Надрукована/Printed : 11.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. В.Г. Петрук

УДК 004.04

Н.В. ТІТОВА, С.В. ПАВЛОВ, С.М. ЗЛЕПКО

Вінницький національний технічний університет

НИЗЬКОЕНЕРГЕТИЧНА ФОТОННА ТЕХНОЛОГІЯ КЕРУВАННЯ ІНКУБАЦІЙНИМ ПРОЦЕСОМ

В роботі розглядаються низько енергетична фотонна технологія керування інкубаційним процесом в рибоводстві. Вона забезпечить суттєве збільшення виживаності життєздатних личинок з ікри риби та їх виживаність в процесі ембріонального розвитку. Експериментальне впровадження показало, що ця технологія надає нові можливості для досягнення і підтримки високої ефективності інкубаційного процесу залежно від джерела і режимів освітлення; довжини хвиль видимої і ближньої ІЧ області спектра та їх комбінованого впливу.

Ключові слова: фотонна технологія, інкубаційний процес, процес вирощування, риби, світлодіоди.

N.V. TITOVA, S.V. PAVLOV, S.M. ZLEPKO

Vinnitsia National Technical University

LOW-HATCHING PHOTON CONTROL PROCESS TECHNOLOGY

In this work the low photon energy management technology incubation process in fish farming. It will provide a significant increase viable larvae from eggs of fish, and their survival during embryonic development. The feature low-energy photon technology impact on sturgeon caviar and grass carp is that it is, on the one hand, should include the main stages of fish technology, which in turn should be presented diagnostic (estimated) component and a management that ensures the formation and supply the necessary actions and modes for sturgeon caviar and grass carp in the incubation period. An experimental implementation has shown that this technology provides new opportunities to achieve and maintain high efficiency of the incubation process, depending from sources and modes of lighting; the wavelengths of visible and near-infrared spectrum and their combined effects.

Keywords: photonic technology, incubation process, the process of growing, fish, LED.

Класична технологія процесу вирощування посадкового матеріалу любого виду риби включає в себе, як правило, наступні базові етапи: відбір статевих продуктів; запліднення; обезклеювання; інкубація; транспортування личинок із інкубаційного цеху в басейни чи водойми; витримування личинок до переходу на зовнішнє живлення; підрощування молоді до життєздатних стадій; вирощування цюгорічок; вирощування дворічних; вирощування трирічних; вирощування чотирирічок в ставках; вирощування товарної риби в басейнах і ставках. Ранжуючи перераховані етапи по ступені важливості, можна з упевненістю віддати перевагу першим чотирьом, серед яких, найбільшу увагу в дисертаційній роботі буде приділена етапу інкубації, а точніше технології фотонного забезпечення інкубаційного періоду.

Як правило, даний період технологічно здійснюється в приміщеннях, які отримали назву інкубаційного цеху, які до сьогоднішнього дня будувались по одній з нижче наведених типових схем (рис. 1) [1].

До більш технологічно розвинутих структур варто віднести типову схему інкубаційного цеху з терморегуляцією води [1] (рис. 2)

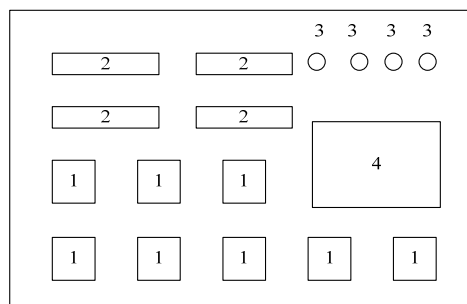


Рис. 1. Типова схема інкубаційного цеху [1]:

1 – басейни для вирощування виробників після гормональної стимуляції; 2 – інкубаційні апарати; 3 – апарати для обезклеювання ікри; 4 – місце для проведення операцій по отриманню статевих продуктів

До модифікацій такого цеху можна віднести заводську структуру, яка включає в себе [1, 2]: інкубаційний і личинковий цех; інкубатор «Іртиш»; теплообмінник; басейн для вирощування личинок; личинковідокремлювач; відокремлювач мертвої ікри; профілактичний апарат «Обь»; лабораторію.

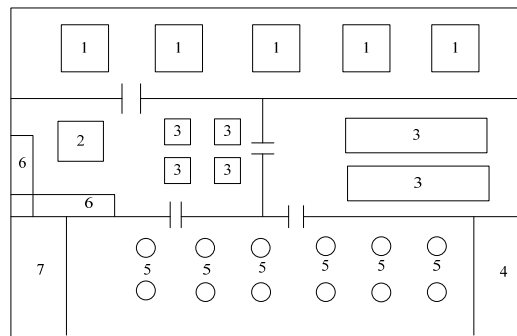


Рис. 2. Типова схема інкубаційного цеху з терморегуляцією води [1]:

1 – басейни з свіжою водою; 2 – басейн для перед нерестового складу виробників; 3 – басейни з охолодженою водою; 4 – оксигенатор (нагнітач повітря); 5 – басейни для вирощування молоді; 6 – нерестові та інкубаційні площини; 7 – блок механічної очистки води і терморегулятор

Технології інкубування ікри, що існують передбачають контроль за окремими етапами процесу. Наприклад, на етапі запліднення, відбувається оцінка рухливості сперматозоїдів по 5-ти бальній шкалі, що запропонована Г.М. Персовим [3], у відповідності, з якою оцінену в 4 чи 5 балів. Концентрацію спермій (в млн/мм²) підраховують за формулою [3]

$$C = nD / NV - 1000000 ,$$

де С – концентрація спермій; n – число підрахованих малих квадратів (із 80 можливих); D – ступінь розрідження (дорівнює 200); V – об'єм малого квадрата (1/4000м³); N – число великих квадратів; 1000000 – множник для отримання результату (млн./мм³). Дана методика здійснюється з допомогою камери Горяєва, достатньо точна, хоча і громіздка.

Більш автоматизованим являється фото колориметричний метод, оснований на здатності сперми послаблювати пропускання мий через неї пучок світла пропорційно її концентрації.

Візуальний і інструментальний контроль за процесом інкубації ікри ведуть постійно. При цьому, враховують, що партеногенетично розвиваючі і поліспермні ікринки в процесі розвитку гинуть, і, як наслідок, їх потрібно виключити із загальної кількості зародків, що діляться. Відхід визначається зазвичай на трьох стадіях [4, 5]:

- Проба 1 – кінець гастрюляції і початок нейруляції.
- Проба 2 – період закладки серця.
- Проба 3 – перед початком вилуплювання.

При цьому, в кожній з спроб повинно бути по 300–500 ікринок. Одним із факторів, які визначають рівень відходу ікринок, являється витрата води в апаратах [4, 5].

Таблиця 1 [4, 5]

Норма витрати води в інкубаційних апаратах на різних стадіях розвитку ікри, л/хв. на 1 кг ікри

Стадія розвитку ікри	Витрати води
Підрібнення	2,3
Гастрюляція	2,3-3
Від кінця гастрюляції до пульсації серця	3-4,5
Від пульсації серця до стадії рухливого ембріона	4,6-5
Викльов	5,8-6,2

Особливістю низькоенергетичної фотонної технології впливу на ікру осетрових і білого амура являється те, що вона, з однієї сторони, повинна містити в собі основні етапи риборозплідних технологій, які в свою чергу, повинні бути представлені діагностичною (оціночною) складовою і керуючою, яка забезпечує формування і подачу необхідних впливів і режимів на ікру осетрових і білого амура в інкубаційному періоді. При цьому, не варто забувати і те, що фактично низькоенергетична фотонна технологія відноситься до біотехнічних технологій, оскільки має біологічний компонент – ікра гідробіонтів і технічний – апаратно-програмні засоби забезпечення інкубаційного процесу, які в сукупності з інформаційними атрибутами технології (підсистема підтримки прийняття рішень, бази даних і знань, моделі і алгоритми) дозволяє говорити про створення нового класу риборозплідних технологій – інтелектуальні фотонні технології низькоенергетичного забезпечення інкубаційних процесів (ІФТ НЗІП). В даному випадку під словом «забезпечення» розуміють процедури і інші дії, пов'язані з інкубаційним процесом ікри риб.

Структурно нову технологію можна представити у вигляді наступної схеми (рис. 3).

Новизною підготовчого етапу (рис. 4) являється розвиток загальноприйнятої структури (подача води, її механічна і біологічна очистка) в частині введення нових технологічних процедур: аналіз спектра власного електромагнітного випромінювання (ЕМВ) води і структуризації її складу. Враховуючи те, що фотонне випромінювання має свій власний спектр ЕМВ, можна припустити, що ефективність розвитку гідробіонтів в значній мірі буде визначатися взаємодією чи сумісністю означених ЕМВ, що і отримало підтвердження за результатами експерименту (табл. 2).

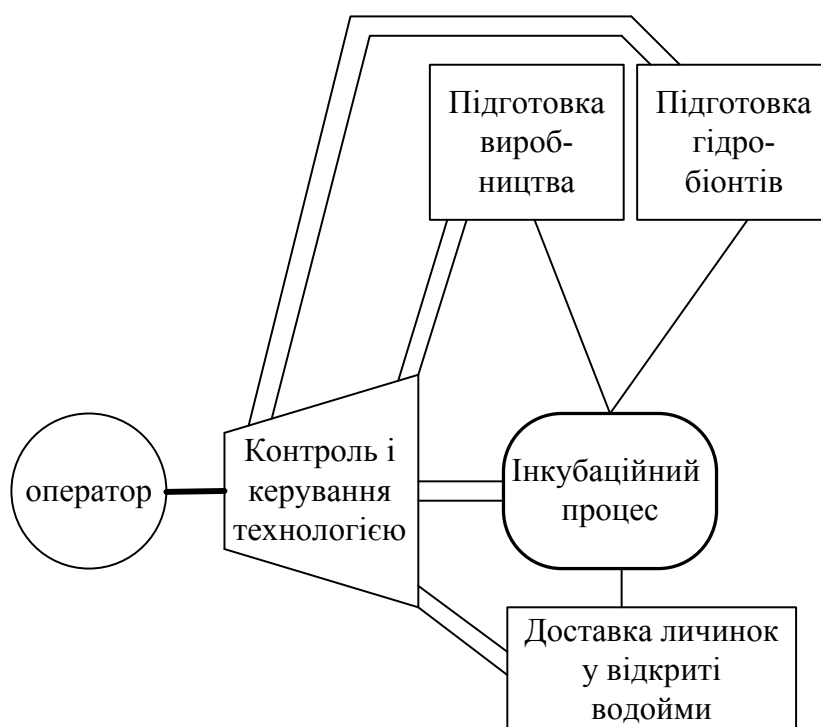


Рис. 3. Узагальнена структура низькоенергетичної фотонної технології (НЕФТ)

Як видно з табл. 2, тільки в третьому випадку, коли спектр води і світлодіодного джерела співпали на 92%, відсоток виживає мості ікринок склав 98% для коропа і 98,8% для білого амура. Процедура структуризації води передбачає контроль, і при необхідності, насичення води «молодими» амінокислотами, які сприяють швидкості росту ікринок. Експериментально отримані результати не дозволяють поки що зробити однозначний висновок про необхідність структуризації води для інкубаційних апаратів, але те, що її якість у порівнянні зі звичайною водою, суттєво вища, що підтверджується цілим рядом публікацій [6, 7].

Таблиця 2

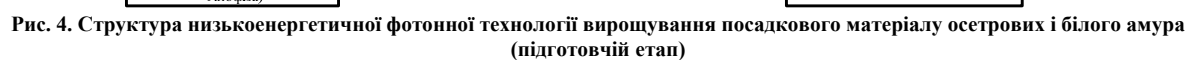
Таблиця результатів взаємодії різних спектрів ЕМВ води і фотонного джерела на швидкість розвитку і виживає мості ікринок коропа і білого амура

	Співпадання спектрів ЕМВ води	Відсоток співпадань спектрів	Відсоток виживає мості ікринок
1	Для коропа	48%	менше 40%
2	Для білого амура	75%	50-67%
3	Для коропа і білого амура	92%	98% – короп 98,8% – білий амур

Друга гілка підготовчого етапу, яка безпосередньо пов'язана з підготовкою гідробіонтів (рис. 4), представляє собою деталізовану послідовність процедур, доповнену інформаційною підтримкою етапу підготовки.

Інформаційна підтримка полягає у введенні до структури технології спеціалізованих баз даних; електронних довідників; підсистем попереджень і рекомендацій, контролю та аналізу гідробіонтів на різних стадіях інкубаційного процесу. Особливо це важливо для початкових стадій, пов'язаних з отриманням ікри та її гідрофізарною обробкою, яка або не завжди виконується або використовує неякісні і нетестовані гіпофізи риби.

Тим не менше, якщо проаналізувати за ступенем важкості будь-який із етапів технології, не важко побачити, що таким є інкубаційний етап, структура якого представлена на рис. 5.



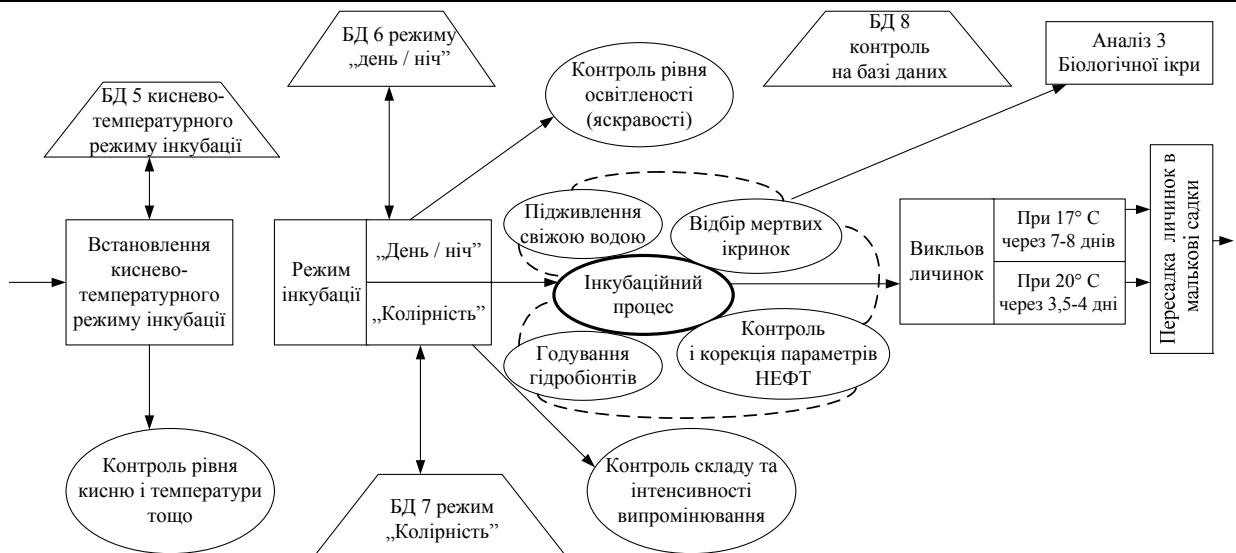


Рис. 5. Структура низькоенергетичної фотонної технології вирощування посадкового матеріалу осетрових і білого амура (інкубаційний період)

Особливістю інкубаційного процесу являється алгоритм контролю у керування ним, реалізований на базі мікроконтролера сімейства ATMEGA 8. Розроблений алгоритм керування у сукупності з структурою етапу передбачає 1) регулювання температури води, а) одночасно у всіх 5-и апаратах Вейса, що входять до складу інкубаційної установки; б) в будь-якому із п'яти апаратів Вейса автономно від інших; 2) розрахунок завантаження ікри з урахуванням її товарно-живого виду; 3) розрахунок і забезпечення кисневого балансу одночасно для всіх і для кожного з п'яти апаратів Вейса; 4) установку та автоматичну підтримку температури інкубаційного процесу; 5) установку і автоматичне супроводження будь-якої комбінації чорно-білого режиму освітленості в апаратах Вейса; 6) розрахунок, установку і автоматичне супроводження будь-якого складу кольорової RGB-гами режиму колірності в апаратах Вейса; 7) постійну підтримку свіжої води апаратів Вейса.

Алгоритм контролю передбачає прямий контроль і вимірювання кількісних значень таких показників інкубаційного процесу; рН-метрію, прозорість і рівень води в апаратах Вейса, її температуру, температури інкубації, рівень яскравості в режимі «день/ніч», склад кольорової гами фотонного випромінювання і опосередкований контроль за рівнем кисню в кожному апараті Вейса.

До числа обов'язкового контролю слід віднести: «оперативний контроль за станом умов вирощування (постійно в автоматичному режимі)»; дворазовий (вранці і ввечері) гідрохімічний аналіз; щотижневий іхтіопатологічний контроль; щоквартальний аналіз крові личинок.

На рис. 6 показана структура заключного етапу технології (процесу) вирощування посадкового матеріалу осетрових риб – виробничого, яка логічно доповнює попередні.

Розроблена низькоенергетична фотонна технологія керування інкубаційним процесом в рибоводстві належить до одного із найбільш перспективних класів сучасних інформаційних оптичних систем і технологій, які побудовані на джерелах квазімонохроматичного випромінювання надяскравих RGB-світлодіодах [9, 10]. До переваг апаратури даного класу слід віднести: можливість вибору довжини хвилі в широкому діапазоні видимого та ІЧ-випромінювання, компактність, відсутність високої напруги для живлення світлодіодів, можливість створення завадостійкості апаратури, мала споживана потужність, низький спектр функціональних можливостей, гнучка система вибору параметрів впливу, надійність і довговічність функціонування тощо.

Висновки

Отримані в процесі експериментального впровадження розробленої технології: перші результати показали, що вона забезпечує суттєве збільшення викильову життєздатних перед личинок і личинок з ікри риб, їх виживаність в процесі ембріонального розвитку. Запропонована технологія надає нові можливості для досягнення і підтримки високої ефективності інкубаційного процесу, яка була отримана за результатами дослідження розвитку ікри і личинок ікри коропа і білого амура залежно від джерела і режимів освітлення; довжини хвиль видимої і ближньої ІЧ області спектра та їх комбінованого впливу; від температурного режиму, тощо.

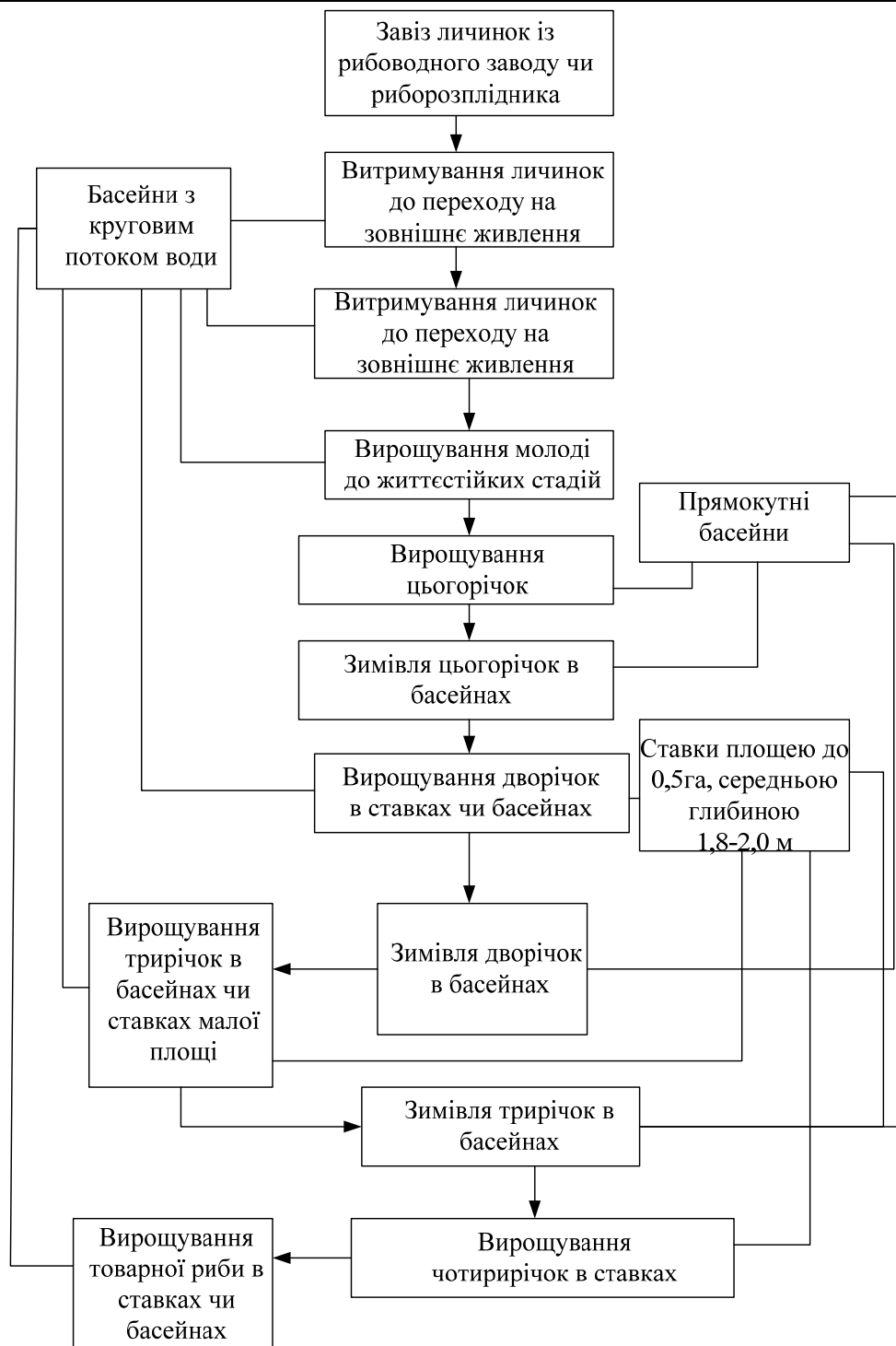


Рис. 6. Структура низько енергетичної фотонної технології вирощування посадкового матеріалу осетрових і білого амуру (виробничий етап)

Література

1. Стационарный инкубационный цех. RusNevod [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.rusnevod.com/egi-bin/rnev/start/egi
2. Оптимальная структура инкубационного цеха сигового рыбного хозяйства [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://arctikfish.com/index.php/wrashchivanie-rvbv/318-optimalnava-struktura-incubatsionnogo-tsekha-sigovogo-rybovodnogo-predpriyatiya-i-protsess-incubatsii-ikry-pelyadi>
3. Переов Г. М. Дифференцировка пола у рыб / Переов Г. М. – ЛПГУ, 1975. – 148 с.
4. 4. Руководство по искусственному воспроизводству осетровых рыб. Технический доклад ФАО по рыбному хозяйству 558 / М. С. Чебанов, Е. В. Галич / Продовольственная и сельскохозяйственная организация ООН. – Анкара, 2013 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.fao.org/docrep/017/i2144r/i2144r.pdf>
5. Рыбоводно-биологические показатели молоди белуги, стерляди, русского осетра и севрюги при

выращивании в системе УЗВ [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://cyberleninka.ru/article/n/rybovodno-biologicheskie-pokazateli-molodi-belugi-sterlyadi-russkogo-osetra-i-severugi-pri-vyraschiva-v-sisteme-uzv>

6. Синицин Н. И. Структуризация воды аминокислотами, наноструктурами, субстратами синтеза белков. Ч. I. Экспериментальное исследование структуризации воды аминокислотами с неполярным «гидрофобным боковым радикалом» / Н. И. Синицин, В. А. Елкин, Р. В. Синицина, О. В. Бецкий // Биомедицина. Радиоэлектроника. – 2000. – № 3. – С. 45–57.

7. Злепко С. М. Методи і засоби оцінювання та керування станом організму людини при старінні : монографія / Злепко С. М., Новиков В. О. – Херсон, 2014.

8. Микроконтроллер ATmega и ATtiny [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.microcontroller.ru/mikrokontrolleryi-atmega-i-attiny/

9. Многоцветная светодиодная подсветка или RGB-контроллер-Labkit [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://labkit.ru/html/autocontrol?id=420>

10. Управление RGB светодиодом с помощью аппаратно ШИМ Atmega 8 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://avrlab.com/node/93>

Отримана/Received : 24.4.2017 р. Надрукована/Printed : 11.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Кичак В.М.

УДК 681.3

А.О. ПУЗАНОВ

Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины

Е.С. ГЕРАСИМЕНКО

Национальная академия Сухопутных войск имени гетмана Петра Сагайдачного

Л.В. КАРПОВА

Хмельницкий национальный университет

ІЗМЕРИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРАТКОВРЕМЕННОЙ НЕСТАБИЛЬНОСТИ ЧАСТОТЫ СВЧ ГЕНЕРАТОРОВ. МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

Описывается созданный экспериментальный макет измерительной установки для определения кратковременной нестабильности частоты (КНЧ) СВЧ генераторов методом фильтрации их частотных шумов и измерения дисперсии Аллена для заданного времени усреднения. Для этой цели разработан необходимый полосовой фильтр (ПФ), который может применяться для любой рабочей частоты исследуемого генератора. Экспериментальное испытание установки выполнено путем проведения измерений КНЧ и обработки их результатов для модельного примера. Актуальность выполненной работы связана с необходимостью контроля и повышения точности систем радиолокационного обнаружения.

Ключевые слова: кратковременная нестабильность частоты, полосовой фильтр, генератор, модуляция.

A.O. PUZANOV

O.Ya. Usikov Institute for Radiophysics and Electronics National Academy of Sciences of Ukraine

E.S. GERASIMENKO

Hetman Petro Sahaidachnyi National Army Academy

L.V. KARPOVA

Khmelnytsky National University

MEASURING INSTALLATION FOR DEFINITION OF SHORT-TERM INSTABILITY OF SUPERHIGH FREQUENCY OF GENERATORS. METHOD OF MEASUREMENTS

The article describes a created experimental model of the measuring installation for determining the short-term instability of superhigh frequency of generators by the method of filtering their frequency noise and measuring of the Allen dispersion for a given time. For this purpose, a necessary bandpass filter is developed, which can be used for any operating frequency of the examined generator. The experimental test of the installation was carried out by performing measurements of the short-term instability of frequency and processing their results for a model example. The urgency of the work is connected with the need to control and improve the accuracy of radar detection systems. Install developed allows the measurement of short term frequency instability for averaging time, and with proper changes of the parameters of the electronic circuit also for the other value of time averaging. The relevance of the work performed associated with the need to control and improve the accuracy of radar detection systems.

Keywords: short-term frequency instability, band-pass filter, generator, modulation.

Задачи контроля и повышения стабильности частоты СВЧ генераторов являются актуальными при построении разнообразных радиотехнических систем (РС) с использованием достижений современной радиофизики [1–7]. Требования к точности и синхронности работы РС приводят к необходимости постановки и решения целого комплекса задач, связанных с созданием генераторов СВЧ, обладающих высокими показателями стабильности частоты. В частности, в работе [1] предложен метод уменьшения девиации частоты магнетрона с рабочей частотой 9.41 ГГц более, чем на два порядка, за счет изменения температурного режима работы термоэмиссионного оксидного катода. Относительную нестабильность

частоты удалось при этом снизить от значений $2.1 \cdot 10^{-4} \div 8.5 \cdot 10^{-4}$ до $5.3 \cdot 10^{-6} \div 1.3 \cdot 10^{-5}$. Выполненное в этой работе сравнение результатов моделирования и эксперимента показало, что полученный результат обусловлен уменьшением флуктуаций термоэлектронного тока эмиссии с катода.

Флуктуации частоты колебаний генераторов СВЧ, по сути, являются слабой частотной модуляцией (ЧМ). Кроме того, монохроматический сигнал генератора может иметь паразитную амплитудную модуляцию (АМ). Избавиться от нее в радиодиапазоне обычно удается при помощи амплитудных ограничителей. Иначе, паразитная АМ после детектирования может существенно исказить информационные изменения амплитуды ЧМ сигнала на выходе интерферометра (частотного детектора (ЧД)) [6, с. 208]. Для разделения ЧМ и паразитной АМ используется метод контура [6, с. 210].

Малые нестабильности частоты могут быть измерены при помощи анализатора спектра, например, С4-27 в режиме свипирования частоты гетеродина [1]. Повысить чувствительность измерительной установки можно с привлечением разработанных за последние 60 лет более совершенных методов [2–7], позволяющих априорно задавать необходимое время усреднения частоты. Один из таких методов будет обсуждаться в данной работе.

Таким образом, целью данной работы является построение экспериментального макета измерительной установки для определения кратковременной нестабильности частоты (КНЧ) применяемых в радиолокации магнетронов МИ 260 (рабочая частота – 35.8 ГГц) и МИ 263 А (рабочая частота – 36.08 ГГц) методом фильтрации их частотных шумов и измерения дисперсии Аллена; в частности, разработка необходимого для этой цели полосового фильтра (ПФ), экспериментальное испытание установки путем проведения измерений и обработка их результатов для модельного примера.

Основные понятия. Спектр сигнала реального источника имеет вид

$$u(t) = U(t) \cos \psi(t).$$

Мгновенная частота этого сигнала, как скорость изменения полной фазы, –

$$\omega(t) = \frac{d\psi(t)}{dt}. \quad (1)$$

Для сигнала, вырабатываемого идеальным источником, полная фаза имеет вид $\psi(t) = \omega_0 t + \varphi_0$. Мгновенная частота при этом постоянна и равна ω_0 . То есть спектр такого сигнала представляет собой одну дискретную линию на частоте ω_0 . Реальный же источник имеет внутренние шумы, которые влияют на амплитуду, частоту и начальную фазу. В этом случае $\psi(t)$ изменяется не пропорционально времени. Как следствие этого, частота становится зависимой от времени и ведет себя, как случайный процесс с некоторым средним значением ω_0 . Таким образом, при наличии шумов, реальный сигнал генератора может быть записан в виде

$$u(t) = U_0[1 + m(t)] \cos[\omega_0 t + \varphi(t)],$$

где U_0 – амплитуда сигнала; $m(t)$ и $\varphi(t)$ – функции, описывающие случайные процессы с нулевым средним значением, то есть амплитудную и фазовую (частотную) модуляции соответственно. Тогда мгновенная частота, согласно (1), будет

$$\omega(t) = \omega_0 + \frac{d\varphi(t)}{dt} = \omega_0 + \nu(t). \quad (2)$$

Второе слагаемое в выражении (2) – $d\varphi(t)/dt = \nu(t)$ описывает случайное отклонение частоты от среднего значения и называется флуктуацией частоты. Можно видеть, что по мере уменьшения $\nu(t)$ спектр стремится к дискретной линии на частоте ω_0 . Переходя к конечным величинам, вводят также понятие средней частоты за время усреднения T

$$\bar{\nu}(t, T) = \frac{\psi(t) - \psi(t - T)}{T} = \omega_0 + \frac{\varphi(t) - \varphi(t - T)}{T}.$$

Если скорость, с которой $\nu(t)$ изменяется со временем, – $d\nu/dt$ велика, то нестабильность называют кратковременной; обычно принимают, что КНЧ проявляется за время наблюдения ≤ 1 с, когда медленными и систематическими изменениями частоты можно пренебречь. Практически, нестабильность называют кратковременной, если приращение

$$\Delta \nu = \frac{d^2 \varphi(t)}{dt^2} \Delta t$$

за время $\Delta t < 1$ с отлично от нуля.

Причина КНЧ, как правило, связана с флуктуационными процессами в генераторах электромагнитных колебаний. Связанные с этими процессами случайные вариации частоты и фазы колебаний могут быть охарактеризованы их энергетическими спектрами. Взаимосвязь последних с мерой нестабильности частоты устанавливается с привлечением хорошо разработанных методов измерения спектров флуктуаций, что позволяет достоверно оценивать КНЧ и успешно находить возможности для ее

уменьшения [1–7].

Длительная нестабильность частоты проявляется в результате систематического смещения частоты за длительные времена наблюдения (>1 с) –

$$v(t) = \int_{t_1}^{t_2} \frac{d^2 \varphi(t)}{dt^2} dt.$$

Относительная кратковременная нестабильность частоты, как мера случайных отклонений последней, определяется путем измерения значения флуктуации частоты и выражается в виде

$$S_v = \Delta v / \bar{v}, \quad (3)$$

где $\bar{v}$ – среднее значение частоты за заданное время (в идеале – ω_0); Δv – максимальное отклонение частоты сигнала от среднего значения $\bar{v}$ за заданное время.

В общем случае, в сложных измерительных системах, в течение времени наблюдения T_H производится N измерений с периодичностью T_H ($T_H = (N - 1) T_H$) и временем усреднения T . Если $T_H = T$, измерения называют смежными, а при $T_H > T$ – разбросанными. Ниже будет рассматриваться метод измерения кратковременной нестабильности частоты, когда все три указанных интервала времени совпадают и равны τ . Указанный метод сводится к измерению значения дисперсии Аллена [2–7].

Для нахождения частотных характеристик электромагнитного колебания используют спектральную плотность флуктуации частоты $S_{\Delta v}(f)$, исходя из выражения для квадрата среднеквадратической флуктуации (вариации) частоты [6]

$$\sigma_B^2(\tau) = 4 \int_0^\infty S_{\Delta v}(f) |H(f, \tau)|^2 df.$$

При этом подбирают фильтр с передаточной функцией $H(f, \tau)$ [5–7].

Как частный случай функции среднеквадратической флуктуаций частоты при $T_H = T_H = \tau$, была введена дисперсия Аллена, определяемая выражением

$$\sigma_A^2(\tau) = 2 \int_0^\infty S_{\Delta v}(f) \frac{\sin^4(\pi f \tau)}{(\pi f \tau)^2} df, \quad (4)$$

где $S_{\Delta v}(f)$ – спектральная плотность флуктуаций частоты, или, что то же самое, – частотных шумов генератора; $\sin^4(\pi f \tau) / (\pi f \tau)^2 = |H(f, \tau)|^2$ – энергетическая передаточная функция ПФ, через который пропускается спектр флуктуаций частоты. При выборе значения τ исходят из того, чтобы оно наилучшим способом позволяло определить ширину спектральной линии излучения [6].

Параметры ПФ должны быть таковы, чтобы измеренное эффективное напряжение шумов было равно с малой погрешностью дисперсии Аллена. Если помимо частотных шумов исследуемого генератора присутствует также другой тип шумов, это приводит к систематической погрешности. Однако расчеты показывают, что погрешность эта, как правило, не превышает 15–20% [6]. Устранить ее обычно удается путем коррекции передаточной функции ПФ, в частности, изменением его добротности.

Применение данного метода целесообразно при $\tau < 100$ мс [6]. Ниже будет рассматриваться измерение дисперсии Аллена для случая $\tau = 50$ мкс.

Измерительная установка. Блок-схема установки для измерения кратковременной нестабильности частоты приведена на рис. 1. Сигнал с выхода исследуемого генератора Γ поступает на частотный детектор ЧД, после которого установлен ПФ. В результате из спектра флуктуаций частоты (частотного шума генератора) $S_f(f)$, получаемого на

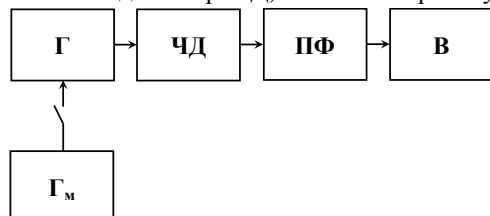


Рис. 1. Блок-схема установки для измерения кратковременной нестабильности частоты. Γ – исследуемый генератор (в рассматриваемом модельном примере – Г4-18А); ЧД – частотный детектор; ПФ – полосовой фильтр; В – вольтметр среднеквадратических значений; Γ_m – генератор внешней модуляции сигнала генератора Γ , используемый при калибровке

выходе ЧД, выделяется необходимая полоса частот. Ее ширина зависит от времени τ и будет найдена ниже. Сигнал с выхода ПФ поступает на вольтметр среднеквадратических значений – В, показания которого ΔU пропорциональны дисперсии Аллена

$$\sigma_A = k \cdot \Delta U, \quad (5)$$

где k – коэффициент пропорциональности; его значение необходимо установить предварительно – на этапе калибровки с помощью генератора Γ_m .

Опишем и обоснуем метод калибровки. Если на исследуемый генератор Γ , генерирующий на частоте f_Γ , подать внешнюю частотную модуляцию от генератора Γ_m

с частотой f_m , получим следующую зависимость результирующей частоты от времени:

$$f = f_{\Gamma} + \Delta f_M \sin(2\pi f_M t). \quad (6)$$

ЧД выделяет сигнал, описываемый вторым слагаемым (6). Физический спектр мощности этого сигнала записывается в виде [5]:

$$S_f(f) = \frac{(\Delta f_M)^2}{2} \delta(f - f_M),$$

где $\delta(f - f_M)$ – δ -функция Дирака. Подставив это выражение для $S_f(f)$ в (4), имеем

$$\sigma_{AM}^2 = 2 \int_0^{\infty} \frac{(\Delta f_M)^2}{2} \delta(f - f_M) \frac{\sin^4(\pi f \tau)}{(\pi f \tau)^2} df = \frac{\sin^4(\pi f_M \tau)}{(\pi f_M \tau)^2} \cdot (\Delta f_M)^2.$$

Тогда, ввиду того, что величина

$$\sigma_{AM} = \frac{\sin^2(\pi f_M \tau)}{\pi f_M \tau} \cdot \Delta f_M$$

пропорциональна показанию вольтметра – ΔU_M , получим

$$k = \frac{\sin^2(\pi f_M \tau)}{\pi f_M \tau} \cdot \frac{\Delta f_M}{\Delta U_M}. \quad (7)$$

Погрешность определения k и результатов всех последующих измерений минимальна, если измеренное эффективное напряжение шумов генератора равно с малой погрешностью дисперсии Аллена. После нахождения значения k , внешняя частотная модуляция отключается и измеряется напряжение ΔU для исследуемого генератора. Затем по формуле (5) находится значение дисперсии Аллена для частотных шумов исследуемого генератора и из выражения (3) находится кратковременная нестабильность частоты $S_V = \sigma_A / f_{\Gamma}$.

Описание и расчет фильтра. Теория. В качестве избирательного элемента ПФ, обеспечивающего заданную АЧХ, выбран параллельный колебательный LC-контур. На рис. 2 изображены две кривые в относительных единицах: $|H(f, \tau)/H_0|^2$ – для идеальной энергетической передаточной функции и $|K(f, f_0)/K_0|^2$ – для энергетической передаточной функции реального ПФ, выполненного на основе колебательного контура [8] с добротностью $Q=1$. Расчет проводится по формулам

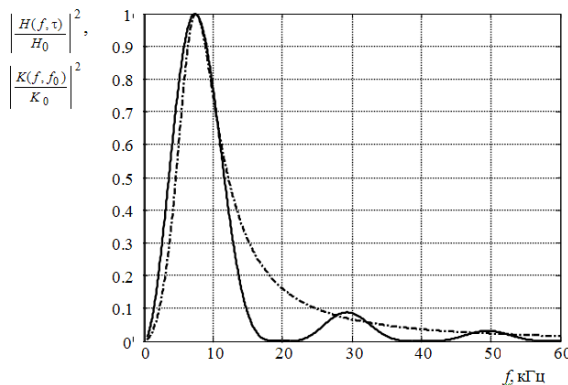


Рис. 2. Графики в относительных единицах зависимостей

$$|H(f, \tau)/H_0|^2 \text{ (сплошная линия) и}$$

$$|K(f, f_0)/K_0|^2 \text{ (штрих-пунктир) для } \tau = 50 \text{ мкс,}$$

$$f_0 = 0.371 / \tau = 7.42 \text{ кГц и } Q = 1$$

$$\left| \frac{H(f, \tau)}{H_0} \right|^2 = \frac{1}{H_0^2} \frac{\sin^4(\pi f \tau)}{(\pi f \tau)^2}; \quad (8)$$

$$\left| \frac{K(f, f_0)}{K_0} \right|^2 = \left[1 + \left(Q \frac{f^2 - f_0^2}{f \cdot f_0} \right)^2 \right]^{-1}. \quad (9)$$

Потребуем, что бы при частоте f_0 достигался максимум также и энергетической передаточной функции $|H(f, \tau)|^2$ идеального ПФ.

Поскольку $|H(f, \tau)|^2$, кроме частоты f , зависит также от времени измерения (усреднения) – τ , то с априорно заданным τ будет связана резонансная частота ПФ – f_0 . Найдем эту частоту из (8) и условия

$$\frac{\partial |H(f, \tau)|^2}{\partial f} = 0.$$

Отсюда следует, что частота $f = f_0$ является решением нелинейного уравнения $2x = \operatorname{tg} x$, где $x = \pi f_0 \tau$. Численное его решение – $x = 1.1656$, или

$$f_0 = 1.1656 / (\pi \cdot \tau). \quad (10)$$

Приближенно можно считать, что $f_0 = 1 / (\pi \cdot \tau)$, а более точно

$$f_0 = 0.371 / \tau. \quad (11)$$

Зависимость резонансной частоты f_0 ПФ от времени измерения (усреднения) τ приведена на рис. 3.

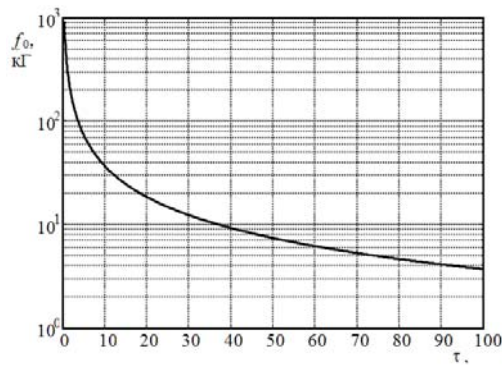


Рис. 3. Зависимость резонансной частоты f_0 фильтра от времени измерения (усреднения) τ

Для $|K(f, f_0)/K_0|^2$ частоты $f_H^{(0.1)}$, $f_B^{(0.1)}$ и $f_H^{(0.5)}$, $f_B^{(0.5)}$, соответствующие уровням 0.1 и 0.5 от максимального значения – ниже и выше (по обе стороны) от резонансной частоты $f = f_0$, соответственно будут

$$f_H^{(0.1)} = f_0 \cdot (\sqrt{13} - 3)/2, \quad f_B^{(0.1)} = f_0 \cdot (\sqrt{13} + 3)/2;$$

$$f_H^{(0.5)} = f_0 \cdot (\sqrt{5} - 1)/2, \quad f_B^{(0.5)} = f_0 \cdot (\sqrt{5} + 1)/2.$$

Можно заметить, что полосы пропускания энергетической передаточной функции такого фильтра по уровням 0.1 и 0.5 равны соответственно

$$\Delta f^{(0.1)} = f_B^{(0.1)} - f_H^{(0.1)} = 3f_0; \quad (12)$$

$$\Delta f^{(0.5)} = f_B^{(0.5)} - f_H^{(0.5)} = f_0. \quad (13)$$

На основании (12) и (13) полосу пропускания ПФ примем $\Delta f = 2f_0$.

Равенство (13) находится в хорошем согласии с утверждением работ [5] и [7], согласно которому, по уровню 0.5, основной вклад в интегральную величину фазового набега вносят спектральные составляющие, которые при равенстве времен наблюдения и усреднения лежат в интервале частот $1/(2\pi\tau) < f < 2/(\pi\tau)$. Действительно, если, согласно (10), $f_0 = 1.17/(\pi \cdot \tau)$, то ширина основной части полосы выделяемых частот для оптимального фильтра по уровню 0.5 будет $1.5/(\pi\tau) = 1.28 \cdot f_0 \approx f_0$.

С другой стороны, резонансная частота колебательного контура

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}, \quad (14)$$

где L, C – индуктивность и емкость контура соответственно. Сопоставив (14) с (10) и задавшись значением L , получаем следующее выражение для C :

$$C = 0.184 \cdot \tau^2 / L. \quad (15)$$

Зашунтируем контур сопротивлением R так, чтобы соблюдалось тождество $Q = \sqrt{L/C}/R \equiv 1$ [8], и найдем величину шунтирующего сопротивления

$$R = \sqrt{L/C}. \quad (16)$$

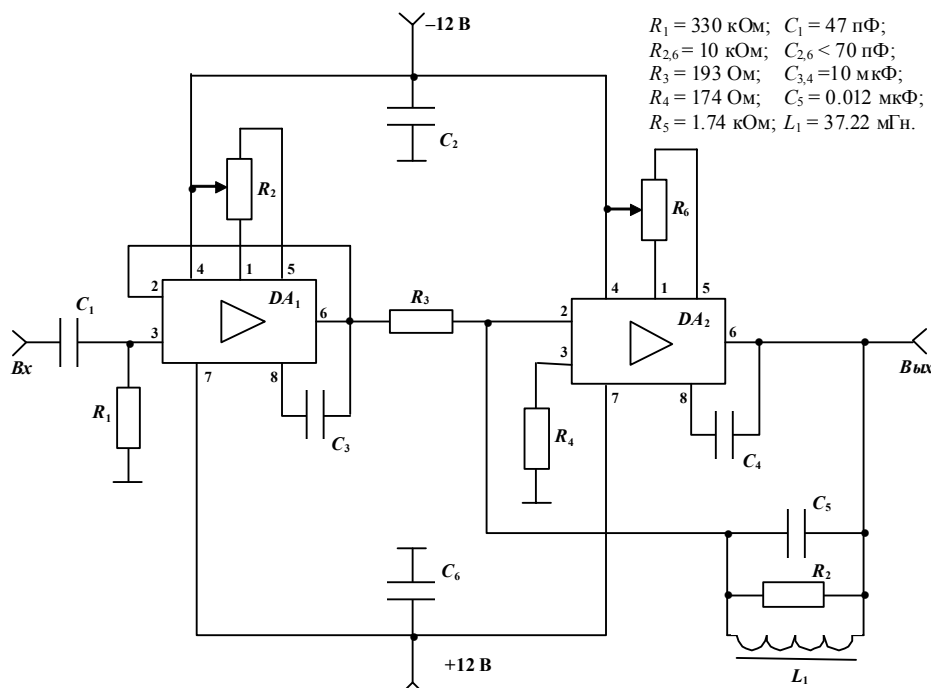


Рис. 4. Принципиальная схема ПФ

Принцип работы фильтра. ПФ выполнен на основе параллельного колебательного контура,

включенного в цепь отрицательной обратной связи (ООС) операционного усилителя (ОУ) К 140 УД 7 – между выходом и инверсным входом ОУ (рис. 4, второй каскад). Такое включение контура делает ООС частотно-зависимой: при приближении частоты сигнала к резонансной частоте контура его сопротивление увеличивается [8]. Это приводит к уменьшению амплитуды сигнала, подаваемого с выхода усилителя на вход – в противофазе с входным, что равносильно уменьшению ООС и росту коэффициента усиления. Таким образом, сигналы с частотами, лежащими ближе к резонансной, усиливаются больше.

Для согласования высокоомного выхода источника сигнала с низкоомным входом второго каскада служит повторитель, также выполненный на ОУ К 140 УД 7 с замкнутой цепью ООС. Схема содержит ряд навесных элементов:

- R_1 – резистор, номинал которого отвечает за нормальный режим работы входа микросхемы DA1 и выбирается в пределах нескольких сотен килоом;
- R_2, R_6 – резисторы для внешней балансировки ОУ по постоянному току (рекомендуется ~10 кОм);
- C_1 – емкость, которая служит для развязки по постоянной составляющей на входе повторителя, которая влияет на его балансировку по постоянному току. Поскольку входное сопротивление повторителя весьма велико (>1 МОм), то величину емкости C_1 можно выбрать сравнительно небольшой величины (например, 47 нФ) – так, чтобы ее сопротивление оставалось меньшим входного сопротивления DA1;
- C_2, C_6 – емкости, рекомендованные производителем ОУ для уменьшения времен нарастания выходных напряжений DA1 и DA2; номинал этих емкостей < 70 пФ;
- C_3, C_4 – емкости номиналом по 10 мкФ, рекомендованные производителем ОУ.

Расчет фильтра. Задавись величиной L_1 , равной 37.22 мГн, на основании (15), при $\tau=50$ мкс, имеем: $C_5=0.01236$ мкФ. На основании (14) резонансная частота контура $f_0 = 7.42$ кГц. Зная величины L_1 и C_5 , из (16) имеем: $R_5=1.74$ кОм.

Известно, что коэффициент усиления ОУ – $K_u = 1 + R_5 / R_3$. Зададим $K_u = 10$. Тогда при $R_5 = 1.74$ кОм найдем: $R_3 = R_5 / (K_u - 1) = 193$ Ом. Значение R_4 определяется из выражения $R_4 = R_3 \parallel R_5 = R_3 R_5 / (R_3 + R_5)$, откуда $R_4 = 174$ Ом.

Результаты измерений. Частота исследуемого генератора Γ составляет $f_\Gamma = 30$ МГц. Для $\tau = 50$ мкс и $f_0(\tau) = 7.42$ кГц выбираем $f_M = 7.4$ кГц и выбираем девиацию частоты (см. выражение (6)) $\Delta f_M = 0.1 \cdot f_M / 2 \approx 0.32$ кГц.

Измерение величины ΔU_M дает: $\Delta U_M = 175$ мВ, откуда, согласно (7), $k = 1325$. Таким образом, на основании (5) имеем

$$\sigma_A = 1325 \cdot \Delta U.$$

Теперь можно переходить непосредственно к измерению нестабильности частоты генератора Γ . Измерение ΔU дает: $\Delta U = 3.175$ мВ, а значит, $\sigma_A \approx 4.2$. Тогда, согласно (3), искомое значение относительной кратковременной нестабильности частоты генератора Γ будет

$$S = \frac{\sigma_A}{f_\Gamma} \bigg|_{\tau=50 \text{ мкс}} = 1.4 \cdot 10^{-7}.$$

Согласно паспортным данным исследуемого генератора Г4-18А, паразитная девиация частоты в режиме непрерывной генерации после прогрева прибора в течение 1 ч не превосходит $\Delta f = 300$ Гц [9]. А значит, относительная нестабильность частоты не должна превышать $\Delta f / f_\Gamma = 3 \cdot 10^2 / 3 \cdot 10^7 = 1 \cdot 10^{-5}$. Таким образом, полученный нами результат измерения нестабильности частоты методом дисперсии Аллена не противоречит предельному параметру нестабильности, заявленному разработчиками генератора Г4-18А.

Заключение. Разработанная измерительная установка позволяет проводить измерения КНЧ за время усреднения 50 мкс, а при надлежащем изменении параметров электронной схемы ПФ (и при необходимости модулятора) – также и для других значений времени усреднения. ПФ может применяться для любой рабочей частоты исследуемого генератора и, в частности, для магнетронов МИ 260 и МИ 263А РЛС измерения дальности 8 мм диапазона длин волн.

Литература

1. Чурюмов Г. И. Влияние тепловых процессов на катоде и аноде на частотные характеристики непрерывных магнетронов / Г. И. Чурюмов, Т. И. Фролова, К. М. Басрави, К. В. Сивоконь // РИ. – 2007. – № 2. – С. 34–44.
2. Аллен Д.В. Статистические характеристики атомных стандартов частоты / Д.В. Аллен // ТИИЭР. 1966. Т. 54, № 2. С. 132–142.
3. Малахов А. Н. Флуктуации в автоколебательных системах / Малахов А. Н. – М. : Наука, 1968. – 660 с.
4. Rutman Y., Uebersfeld J. Evolution des concepts pour L'analyse des oscillateurs. Annales Elec., 1975.

V. 55, № 2. P. 67–73.

5. Демьянченко А. Г. Кратковременная нестабильность частоты и методы ее измерения / Демьянченко А. Г., Кулешов В. Н. – М. : Московский Энергетич. ин-тут, 1978. – 78 с.
6. Измерение спектрально-частотных и корреляционных параметров и характеристик лазерного излучения / под ред. А. Ф. Котюка и Б. М. Степанова. – М. : Радио и связь, 1982. – 272 с.
7. Царапкин Д. П. Стабилизация частоты возбудителей радиопередатчиков СВЧ / Царапкин Д. П. – М. : Московский Энергетич. ин-тут, 1985. – 80 с.
8. Асеев Б. П. Основы радиотехники / Асеев Б. П. – М. : Гос. изд-во литерат. по вопросам связи и радио, 1947. – 572 с.
9. <http://www.radteh.ru/izmerenie/16.html>

Отримана/Received : 2.4.2017 р. Надрукована/Printed : 11.6.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. В.В. Мартинюк

УДК 621.317.73

І.С. ПЯТИН, Д.А. МАКАРИШКІН
Хмельницький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОСЛІДОВНОГО КАСКАДНОГО ТУРБОКОДУВАННЯ

Турбокоди створюють шляхом каскадування двох або більше складових кодів при їх паралельному або послідовному з'єднанні, розділених перемежувачем. У статті наведені результати дослідження завадостійкості турбокодів з послідовним з'єднанням згорткових кодів в каналі з адитивним білим гаусовим шумом і бінарною фазовою маніпуляцією. Кодери згорткових кодів задаються поліномом $G = (3, [7\ 5], 7)$. Довжина блоку перемежувача збігається з довжиною інформаційної послідовності. Швидкість коду $R = 1/3$. Зроблено висновок, що зі збільшенням числа ітерацій при декодуванні збільшується стійкість, а енергетичний виграш зменшується. Це пояснюється відносно малою мінімальною кодовою відстанню турбокодів. Забезпечується енергетичний виграш 2 дБ для $BER = 10^{-11}$.

Ключові слова: завадостійке кодування, каскадне кодування, турбокодер.

I.S. PYATIN, D.A. MAKARISHKIN
Khmelnytskyi National University

RESEARCH SERIAL CONCATENATED TURBO ENCODER

Turbo codes are formed by cascading two or more constituent codes. Turbo codes are created by parallel or sequential connection of codes separated by an interleaver. The article presents the results of an investigation of noise immunity of turbo code systems with consecutive connection of convolutional codes in a channel with additive white Gaussian noise and binary phase manipulation. The coders of convolutional codes are given by the polynomial $G = (3, [7\ 5], 7)$. The length of the interleaver block is the same as the length of the information sequence. Code speed $R = 1/3$. It is concluded that with an increase in the number of iterations during decoding, the noise immunity increases, and the power gain is better. This is explained by the relatively small minimum code distance of the turbo codes. An energy gain of 2 dB is provided for $BER = 10^{-11}$.

Keywords: antinoise coding, cascade coding, turbo encoder.

Постановка задачі

Одним з перспективних напрямків вдосконалення характеристик спеціальних телекомунікаційних систем є застосування коригувальних кодів. В даний час широке поширення в телекомунікаційних системах отримав клас завадостійких кодів – турбокоди.

Завадостійке кодування призначене для виявлення і по можливості виправлення помилок, що виникли внаслідок дії завад при передачі дискретних сигналів по каналах зв'язку. Завадостійке кодування передбачає введення надлишковості в кодований дискретний сигнал. При цьому канал зв'язку повинен пропускати кодований сигнал з надлишковістю [1]. Вони використовуються в системах зберігання і передачі даних для зниження імовірності появи помилок і підвищення якості таких систем. Пропускна здатність каналу зв'язку визначається виразом:

$$C = \Delta f \log_2(1 + SNR),$$

де Δf – смуга частот каналу зв'язку; SNR – відношення потужності сигналу до потужності шуму.

Аналіз досліджень та публікацій

Турбокоди утворюються шляхом каскадування двох або більше складових кодів. Найбільш поширена схема турбокодера складається з двох однакових згорткових кодерів, між якими знаходиться блок перемежувача. Кожний згортковий кодер додає до інформаційної послідовності перевірку групу. У загальному випадку турбокоди можуть використовуватись як при паралельному, так і послідовному (рис. 1) з'єднанні кодів, розділених перемежувачем.

Важливим моментом при проектуванні послідовних турбокодів є правильний вибір складових кодів і перемежувача. Найкращими складовими кодами є рекурсивні систематичні згорткові коди (рис. 2), оскільки їх застосування дозволяє значно зменшити число кодових слів низької ваги, що визначають

ефективність турбокоду. Роль перемежувача в турбокодах полягає в зменшенні кореляції між сусідніми символами кодового слова, що дозволяє на кожній ітерації декодування зменшувати ймовірність помилки. Крім цього, перемежувач також має великий вплив на мінімальну кодову відстань турбокоду і кількість кодових слів низької ваги, що визначають ефективність турбокоду. Найкращі характеристики мають турбокоди з псевдовипадковими перемежувачами, однак, вони занадто складні для реалізації і тому на практиці використовують перемежувачі з рекурсивною структурою, що отримали свою назву від рекурсивних регістрів зсуву, які мають зворотний зв'язок через схему нерівнозначності. Рекурсивна схема кодера показана на рис. 2.



Рис. 1. Послідовний турбокодер

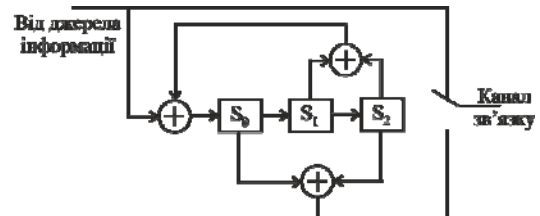


Рис. 2. Кодер рекурсивного систематичного згорткового коду

Особливістю схеми є нескінченна імпульсна характеристика, властивості якої забезпечуються суматором по модулю два, підключеним до інформаційного входу регістра. Наявність в пам'яті комірок S_0 , S_1 , S_2 хоча б однієї одиниці призводить до постійного оновлення вмісту регістра.

Для декодування турбокодів використовується ітеративне декодування з м'яким рішенням, що дозволяє отримати дуже близькі до пропускну здатності каналу характеристики. В процесі ітеративного декодування турбокодів виконується декілька ітерацій декодування, де відбувається декодування кожної зі складових кодів, після чого результат декодування використовується декодером іншої складової коду для отримання більш точних рішень. Для декодування складових кодів можуть використовуватися будь-які алгоритми декодування, здатні формувати м'які рішення щодо декодованих символів. Практичне застосування знайшли такі алгоритми декодування, як Log-MAP, Max-Log-MAP і Soft Output Viterby Algorithm.

Ефективність турбокодів дуже висока. Вони здатні працювати при енергетиці на 0,5 дБ вище пропускну здатності каналу. При цьому складність їх реалізації виявляється менше складності декодерів згорткових кодів.

Основними недоліками турбокодів слід визнати високу складність практичної реалізації, а також наявність області насичення ймовірності помилки. Даний ефект визначається невеликою кодовою відстанню турбокодів.

Дослідження турбокодера в середовищі Simulink

Згорткове кодування – метод безперервного кодування двійкового потоку даних, при якому кожному вхідному двійковому символу відповідає декілька символів на виході кодера. Згорткове кодування – це один з методів завадостійкого каналного кодування, основне призначення котрого є виправлення помилок невеликої кратності.

Згортковий кодер додає в послідовність надлишкову інформацію. Наприклад, якщо кожному вхідному біту відповідає два вихідних, то говорять про згорткове кодування зі швидкістю $R = 1/2$. У разі, коли двом бітам вхідної послідовності відповідає три біта вихідний, то швидкість згорткового кодування становить $R = 2/3$. Параметр R показує відношення інформаційної швидкості до технічної. Чим ближче цей параметр до нуля, тим більше стійкість коду, але менш ефективно використовується канал зв'язку.

Будь-який згортковий кодер будується на основі регістрів зсуву. Кількість запам'ятовуючих комірок визначає кількість можливих станів кодера. Якщо, наприклад, у згортковому кодері використовується шість запам'ятовуючих комірок, то в кодері зберігається інформація про шість попередніх станів сигналу, а з урахуванням вхідного біта отримаємо, що в такому кодері використовується сім біт вхідної послідовності. Такий згортковий кодер називається кодером на сім станів.

Таким чином, вихідний бінарний потік, що формується в згортковому кодері, визначається значенням вхідного біта і битами, збереженими в запам'ятовуючих комірках, тобто значення кожного формованого вихідного біта залежить не тільки від вхідного інформаційного біта, а й від кількох попередніх бітів. Згортковий кодер – пристрій з пам'яттю. Головною характеристикою згорткових кодерів є завадостійкість формованої ними послідовності.

Simulink-модель системи зв'язку з турбокодуванням приведена на рис. 3. Джерело інформаційного сигналу представлено у моделі блоком Bernoulli binary generator. Далі іде послідовний турбокодер і двопозиційний фазовий модулятор на боці передавача. На боці приймача ввімкнені двопозиційний фазовий демодулятор, послідовний турбодекодер і блок підрахунку кількості помилок.

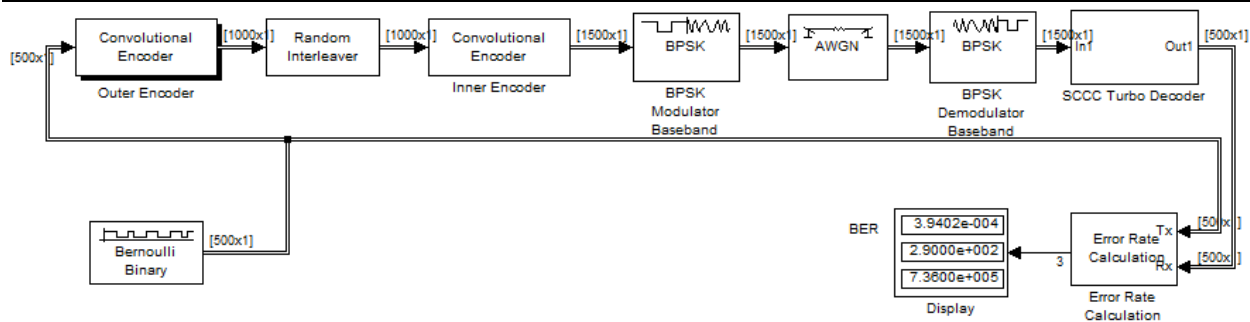


Рис. 3. Simulink-модель системи зв'язку з турбокодуванням

Кодери згорткових кодів в даній схемі задаються поліномом $G = (3, [7 \ 5], 7)$. У поліномі згорткового коду $G = (K, [b \ c] \ d)$ використовуються позначення: K – довжина кодового обмеження; b, c – числа, які визначають вихідні з'єднання для кожної вхідної інформаційної послідовності; d – визначає з'єднання зворотного зв'язку для вхідних послідовностей. Довжина блоку перемешувача збігається з довжиною інформаційної послідовності, швидкість коду $R = 1/3$.

Simulink-модель турбодекодера приведена на рис. 4.

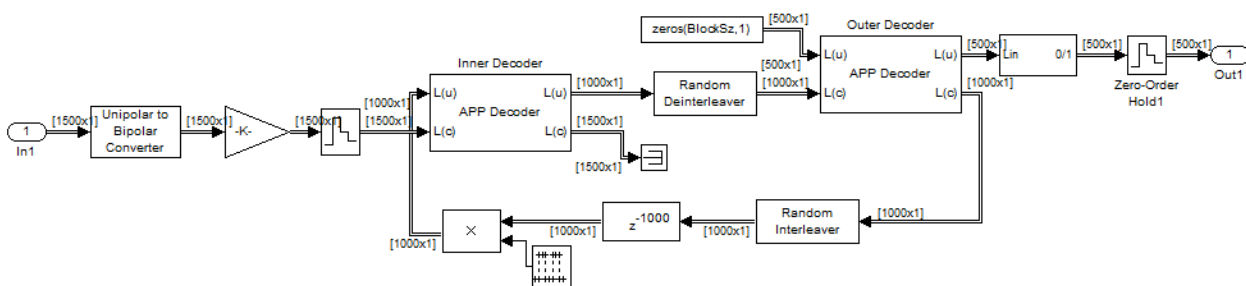


Рис. 4. Simulink-модель турбодекодера

Турбокод використовує алгоритм – «м'який вхід – м'який вихід». М'який вихід першого декодера дає дійсне число, яке є мірою ймовірності помилки при декодуванні інформаційного біта. Ця додаткова інформація надходить на м'який вхід другого декодера і використовується при декодуванні. Другий декодер також забезпечує м'які рішення, необхідні для наступної ітерації в процесі декодування. Для гаусового каналу з вісьмирізним квантуванням м'яких рішень, в порівнянні з дворізним, призводить в результаті до поліпшення відношення сигнал/шум на 2 дБ при тій же ймовірності появи помилкового біта.

Блок декодера APP виконує декодування апостеріорної ймовірності згорткового коду. Вхід $L(u)$ являє собою послідовність логарифмів правдоподібності вхідних бітів кодера, а вхід $L(c)$ представляє послідовність логарифмічних правдоподібностей кодових бітів. Виходи $L(u)$ і $L(c)$ є оновленими версіями цих послідовностей на основі інформації про кодер.

Якщо згорткове кодування використовує алфавіт з $2n$ можливих символів, вектори $L(c)$ цього блоку мають довжину $Q \cdot n$ для деякого позитивного цілого числа Q . Аналогічно, якщо дані, що декодуються, використовують алфавіт з $2k$ можливих вихідних символів, то вектори $L(c)$ цього блоку мають довжину $Q \cdot k$.

Цей блок приймає вхідний сигнал вектора-стовпця з будь-яким позитивним цілим числом для Q .

Якщо потрібен тільки вхід $L(c)$ і вихід $L(u)$, то можливо приєднати блок Simulink Ground до входу $L(u)$ і блок Simulink Terminator до виходу $L(c)$.

Цей блок приймає одиничні і подвійні типи даних. Обидва входи повинні бути одного типу. Тип вихідних даних збігається з типом вхідних даних.

Декодер апостеріорної ймовірності використовує м'яку оцінку достовірності символу, що декодується, а також здійснює аналіз апріорної і апостеріорної вірогідності прийому вірного кодового слова.

Апріорною називається інформація, якою володіє декодер до прийому кодового слова, а апостеріорною – інформація, яку отримує декодер після обробки кодового слова. Апостеріорна інформація, отримана про кодове слово на виході першої ітерації декодування, надходить на вхід декодера наступної ітерації і є для нього апостеріорною інформацією.

Алгоритм максимуму апостеріорної інформації використовує як мінімум два шляхи декодування по кодовій решітці, які називають шляхами прямого і зворотного обходу кодової решітки. Всі схожі ймовірності помилкових переходів від одного вузла кодової решітки до іншого, об'єднуються в групи.

Процес «м'якого» відбору зводиться до знаходження логарифмічних відношень правдоподібності.

Призначення перемешувача – перетворити канал зв'язку з групуванням помилок в канал зв'язку з випадковими помилками, які можуть бути виправлені використовуваним завадостійким кодом.

Випадковий перемешувач – це перемешувач з випадковою відповідністю між вхідними та вихідними позиціями переданих символів. Їх перевага – простота реалізації, недолік – неможливість

гарантувати мінімальний рівень помилок перемешувача.

Висновки

Збільшення числа ітерацій при декодуванні покращує завадостійкість. Зі збільшенням числа ітерацій енергетичний вигравш зменшується. Криві ймовірності помилки декодування мають область, де їх нахил різко зменшується. При цьому ймовірність помилки продовжує знижуватися, але з набагато меншою швидкістю, тому для досягнення значень помилок $10^{-8} \dots 10^{-9}$ необхідні значні енергетичні витрати. Це пояснюється відносно малою мінімальною кодовою відстанню турбокодів, яке починає домінувати при середніх і великих значеннях відношення E_b/N_0 .

Література

1. Шинкарук О.М. Основи функціонування багатоканальних систем передачі інформації : навч. посібник / О.М. Шинкарук, Ю.М. Бойко, І.І. Чесановський. – Хмельницький : ХНУ, 2011. – 245 с.
2. Бойко Ю.М. Дослідження способів завадостійкого кодування для захисту від помилок у цифрових каналах передавання інформації / Ю.М. Бойко, Д.А. Макаришкін, С.В. Івчун // Вісник ХНУ. – 2013. – № 2. – С. 188–195.

Отримана/Received : 13.5.2017 р. Надрукована/Printed : 11.6.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Бойко Ю.М.

УДК 621.396.12

Д.А. МАКАРИШКІН, Н.М. САМАРУК, І.С. ПЯТІН
Хмельницький національний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СУПЕРКОНДЕНСАТОРА ДЛЯ ОПТИМІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОЖИВЛЕННЯ ГЕНЕРАТОРА ЗОНДУЮЧИХ ІМПУЛЬСІВ НАДШИРОКОСМУГОВИХ МОБІЛЬНИХ РАДІОЛОКАТОРІВ

В статті наведено математичну модель суперконденсатора для оптимізованої системи електроживлення генератора зондуєчих імпульсів надширокосмугових мобільних радіолокаторів. Розроблена вдосконалена нелінійна еквівалентна схема заміщення суперконденсатора у вигляді неперервної дробової схеми, яка синтезована по другій формі Кауера. Функцію комплексного опору суперконденсатора представлено у вигляді неперервного дробу. Отримано аналітичні вирази для визначення елементів модифікованої нелінійної еквівалентної схеми заміщення суперконденсатора та елементів вдосконаленої нелінійної еквівалентної схеми заміщення суперконденсатора для оптимізованої системи електроживлення генераторів зондуєчих імпульсів надширокосмугових мобільних радіолокаторів.

Ключові слова: математична модель, суперконденсатор, функція комплексного опору, нелінійна еквівалентна схема заміщення, електричні параметри, система електроживлення, генератор зондуєчих імпульсів надширокосмугових мобільних радіолокаторів.

D.A. MAKARYSHKIN, N.M. SAMARUK, I.S. PYATIN
Khmelnytsky National University

MATHEMATICAL MODEL OF SUPERCAPACITOR FOR OPTIMIZED POWER SYSTEMS OF ULTRA WIDEBAND RADARS DIRECT PULSE GENERATOR

The paper presents the mathematical model of supercapacitor for optimized power systems of ultra wideband radars direct pulse generator. The obtained the complex impedance function of the supercapacitor in the form of a continued fraction, and built a modified nonlinear equivalent circuit of the supercapacitor. Developed advanced non-linear equivalent circuit of the supercapacitor in a continuous fractional scheme, which is synthesized by a second form of Kauer. The analytical expressions for the determination of elements of the modified nonlinear equivalent circuit of the supercapacitor in a continuous fractional scheme, which is synthesized by a second form of Kauer and elements advanced nonlinear equivalent circuit of supercapacitor for optimized power systems of ultra wideband radars direct pulse generator. Found that showed that non-linear equivalent circuit of the supercapacitor with distributed element can be directly replaced by the equivalent non-linear equivalent circuit with lumped element.

Keywords: mathematical model, supercapacitor, complex impedance function, nonlinear equivalent circuit, electric parameters, power system, direct pulse generator of ultra wideband radars.

Постановка проблеми. Розвиток радіолокації є надзвичайно важливим для обороноздатності, суверенітету та економіки України. Спектр практичного застосування радіолокації є дуже широким. Найбільш важливі задачі радіолокації пов'язані із її застосуванням у військовій техніці для виявлення ворожих літаків, ракет та рухомих наземних об'єктів. Сучасний розвиток надширокосмугових мобільних радіолокаторів спрямований на розробку та вдосконалення їх окремих елементів, вузлів, блоків, апаратних засобів та підсистем [1–4]. В надширокосмугових мобільних радіолокаторах в якості зондуєчих імпульсів, які дозволяють реалізувати надшироку смугу, використовуються два види сигналів тривалістю від 1 нс до 5 нс. До таких сигналів відносяться відеоімпульси та короткі відрізки синусоїди, які складаються з одного або двох періодів коливальних. Використання надширокосмугових сигналів та надкоротких імпульсів дозволяє

суттєво покращити характеристики мобільних радіолокаторів та розпізнавати об'єкти в укриттях та під землею, а також розрізняти об'єкти за видами матеріалів.

Для надширокосмугових мобільних радіолокаторів є характерним імпульсний режим роботи з короткими імпульсами струму від 2 А і більше в залежності від випромінюваної потужності. У проміжках між цими імпульсами значення струму значно менше. Живлення надширокосмугових мобільних радіолокаторів здійснюється від акумуляторів та батарей номінальним струмом, значення якого значно менше ніж імпульси струму надширокосмугових мобільних радіолокаторів. Акумулятори та батареї є інерційними пристроями живлення із тривалим часом доступу до накопичуваної енергії. Постійні розряди та заряди акумуляторів та батарей великими струмами та їх використання в недозарядженому стані не забезпечує потрібних параметрів та призводить до швидкої втрати працездатності.

Погіршення властивостей стандартних джерел живлення надширокосмугових мобільних радіолокаторів призводить до погіршення технічних параметрів, зокрема коефіцієнта корисної дії та вихідної потужності генератора зонduючих імпульсів надширокосмугових мобільних радіолокаторів, а також тривалості фронту та спаду імпульсів. Як показали проведені у даному напрямку дослідження одним із альтернативних шляхів забезпечення потрібних значень технічних параметрів надширокосмугових мобільних радіолокаторів є застосування суперконденсаторів.

Важливою перевагою застосування суперконденсаторів в надширокосмугових мобільних радіолокаторах є також значне збільшення терміну експлуатації акумуляторів та батарей живлення надширокосмугових мобільних радіолокаторів, що значно підвищує ефективність роботи генератора зонduючих імпульсів надширокосмугових мобільних радіолокаторів.

Тому розробка математичної моделі суперконденсатора для оптимізованої системи електроживлення генератора зонduючих імпульсів надширокосмугових мобільних радіолокаторів є актуальною науковою задачею і має важливе значення для підвищення ефективності проектування та покращення характеристик цього класу пристроїв.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз типової структурної схеми надширокосмугового мобільного радіолокатора показує, що генератори зонduючих імпульсів надширокосмугових мобільних радіолокаторів будуються по схемі релаксаційних генераторів із зовнішнім збудженням і складаються із формувача імпульсів та підсилювача потужності надвисокої частоти (рис. 1) [2–4].

Втрати енергії на внутрішньому активному опорі літій-іонної батареї спричиняють зменшення напруги літій-іонної батареї $U_{БЗМ}$, яка поступає на підсилювач потужності надвисокої частоти генератора зонduючих імпульсів надширокосмугового мобільного радіолокатора.

Зменшення напруги літій-іонної батареї $U_{БЗМ}$ призводить до зменшення вихідної потужності сигналу, зміни положення робочої точки активного елемента підсилювача потужності надвисокої частоти, спотворення форми вихідного сигналу та зменшення його коефіцієнта корисної дії майже на 17% в порівнянні із живленням від ідеального джерела, для якого значення активного внутрішнього опору $R_{ВН}=0$ Ом.

Для подолання цього недоліку використовують [2–4] вдосконалену структурну схему генератора зонduючих імпульсів із використанням блоку суперконденсаторів (рис. 2).

Враховуючи, що типова літій-іонна батарея створює напругу $U_{Б}=3,6$ В, а робоча напруга одного суперконденсатора складає $U_{СК}=2,75$ В, пропонується застосувати послідовне з'єднання двох суперконденсаторів у блок суперконденсаторів із загальною робочою напругою $U_{БСК}=5,5$ В. Це підвищить потужність генератора зонduючих імпульсів надширокосмугових мобільних радіолокаторів та призведе до покращення їх технічних характеристик.



Рис. 1. Типова структурна схема генератора зонduючих імпульсів надширокосмугових мобільних радіолокаторів

Для перетворення постійної напруги літій-іонної батареї $U_{Б}=3,6$ В в постійну напругу блоку суперконденсаторів $U_{БСК}=5,5$ В використовується перетворювач постійної напруги.

Аналіз параметрів і характеристик суперконденсаторів показує, що спостерігається відхилення експериментальних імпедансних спектрів від результатів їх апроксимації. Таке відхилення пояснюється наявністю фарадеївського струму саморозряду, який обумовлює викривлення експериментальних імпедансних спектрів



Рис. 2. Вдосконалена структурна схема генератора зонduючих імпульсів надширокосмугових мобільних радіолокаторів із використанням блоку суперконденсаторів [4–6].

Метою статті є розробка математичної моделі суперконденсатора для оптимізованої системи електроживлення генератора зондуєчих імпульсів надширококутових мобільних радіолокаторів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для підвищення точності математичного опису параметрів і характеристик суперконденсаторів для оптимізованої системи електроживлення генератора зондуєчих імпульсів надширококутових мобільних радіолокаторів автори пропонують нелінійну еквівалентну схему заміщення суперконденсатора [4, 5, 7], яка представлена на рисунку 3.

У цій нелінійній математичній моделі маємо наступні елементи: R_B – активний опір виводів, $R_E(u)$ – активний розподілений нелінійний опір електродів, L_E – розподілена індуктивність електродів, $R_\Phi(u)$ – активний розподілений нелінійний фарадеївський опір, $C_\Phi(u)$ – розподілена нелінійна фарадеївська ємність, $R_{\Phi CP}(u)$ – активний розподілений нелінійний фарадеївський опір саморозряду, $C_{ПЕШ}(u)$ – розподілена нелінійна ємність подвійного електричного шару та $R_{CP}(u)$ – активний розподілений нелінійний опір саморозряду.

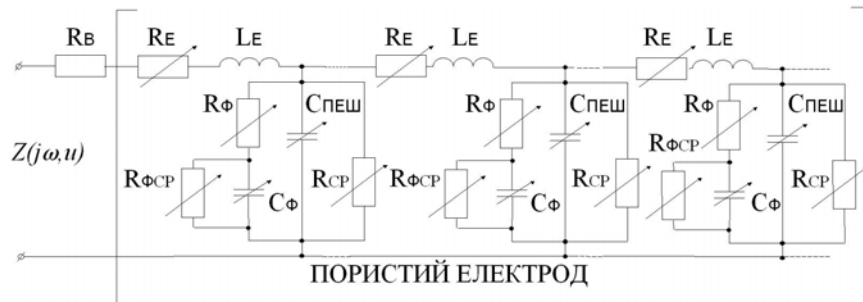


Рис. 3. Нелінійна еквівалентна схема заміщення суперконденсатора

У квадратні дужки взято фрагмент схеми, який відповідає еквівалентній схемі заміщення пористого електроду. Замінімо в нелінійній еквівалентній схемі заміщення суперконденсатора (рис. 3) послідовне з'єднання активного розподіленого опору електродів R_E із розподіленою індуктивністю електродів L_E на питомий розподілений комплексний опір електродів $z = z(j\omega)$. В результаті отримаємо модифіковану нелінійну еквівалентну схему заміщення суперконденсатора, яку зображено на рис. 4.

У модифікованій нелінійній еквівалентній схемі заміщення суперконденсатора, яка зображена на рис. 4, замінимо паралельне з'єднання нелінійної розподіленої ланки $R_\Phi C_\Phi R_{\Phi CP}$ фарадеївського процесу із нелінійною розподіленою ємністю подвійного електричного шару $C_{ПЕШ}$ та активним розподіленим нелінійним опором саморозряду R_{CP} на питому нелінійну розподілену комплексну провідність $y = f(j\omega, u, i)$.

Математичною моделлю нелінійної еквівалентної схеми заміщення суперконденсатора є нелінійна функція комплексного опору $Z(j\omega, u, i)$. В загальному випадку нелінійна функція комплексного опору $Z(j\omega, u, i)$ є функцією трьох змінних: частоти зондуєчого синусоїдального сигналу ω , напруги u на виводах суперконденсатора та струму i , який проходить через суперконденсатор.

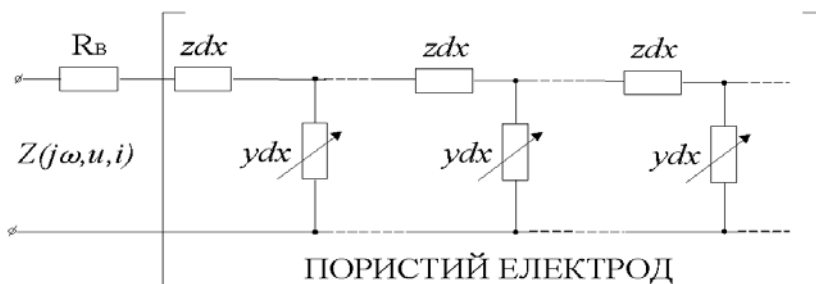


Рис. 4. Модифікована нелінійна еквівалентна схема заміщення суперконденсатора

Визначення комплексного опору нелінійної еквівалентної схеми заміщення суперконденсатора, здійснюється за допомогою гармонічного зондуєчого сигналу у двох режимах:

- 1) потенціостатичному режимі, коли підтримується постійна напруга на виводах суперконденсатора $u = const$;
- 2) гальваностатичному режимі, коли підтримується постійний струм через суперконденсатор $i = const$.

Якщо амплітуди напруги U_m та струму I_m зондуєчого синусоїдального сигналу набагато менші

ніж відповідно постійна напруга на виводах суперконденсатора у потенціостатичному режимі ($U_m \ll u = \text{const}$) та постійний струм через суперконденсатор у гальваностатичному режимі ($I_m \ll i = \text{const}$), тоді для таких умов нелінійну еквівалентну схему заміщення суперконденсатора рис. 4 можна вважати лінійною.

Для таких умов розглянемо пористий електрод довжиною l та його елементарну ділянку кінцевої довжини dx із лінійною еквівалентною схемою заміщення, яка зображена на рис. 5.

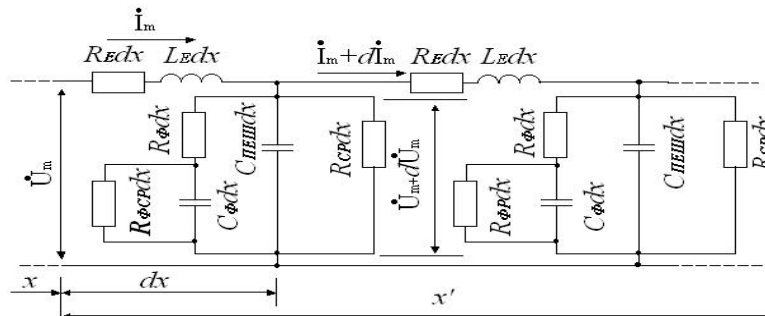


Рис. 5. Лінійна еквівалентна схема заміщення елементарної ділянки dx пористого електрода

Комплексні амплітуди зонduючого синусоїдальної напруги $\dot{U}_m = \dot{U}_m(x)$ та струму $\dot{I}_m = \dot{I}_m(x)$ для ділянки пористого електрода dx є функціями просторової координати x , яка визначається відстанню від початку пористого електрода до точки спостереження. Тоді відстань від точки спостереження до кінця пористого електрода дорівнює x' , так що $x + x' = l$. Приріст комплексної амплітуди напруги $d\dot{U}_m$ та струму $d\dot{I}_m$ на ділянці пористого електрода dx визначаються системою рівнянь (1).

Розділимо ліві та праві частини рівнянь (1) на dx та виразимо комплексну амплітуду струму $\dot{I}_m$ у першому рівнянні через комплексну амплітуду напруги $\dot{U}_m$ із другого рівняння, а комплексну амплітуду напруги $\dot{U}_m$ у другому рівнянні через комплексну амплітуду струму $\dot{I}_m$ із першого рівняння. Отримаємо систему однорідних лінійних диференціальних рівнянь другого порядку (2) для елементарної ділянки пористого електрода dx .

$$\begin{cases} -d\dot{U}_m = (R_E + j\omega L_E) \dot{I}_m dx \\ -d\dot{I}_m = \left(\frac{1}{R_\phi + \frac{1}{j\omega C_\phi + \frac{1}{R_{CP}}}} + \frac{1}{R_{CP}} + j\omega C_{ПЕШ} \right) \dot{U}_m dx \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \frac{d^2 \dot{U}_m}{dx^2} = \gamma^2 \dot{U}_m \\ \frac{d^2 \dot{I}_m}{dx^2} = \gamma^2 \dot{I}_m \end{cases}, \quad (2)$$

де $\gamma = \sqrt{(R_E + j\omega L_E) \cdot \left(\frac{1}{R_\phi + \frac{1}{j\omega C_\phi + \frac{1}{R_{CP}}}} + \frac{1}{R_{CP}} + j\omega C_{ПЕШ} \right)}$ – коефіцієнт пропорційності.

Загальний розв'язок першого однорідного лінійного диференціального рівняння другого порядку із системи (2) шукають для комплексної амплітуди напруги $\dot{U}_m$ елементарної ділянки пористого електрода dx у вигляді (3)

$$\dot{U}_m = A_1 e^{-\gamma x} + A_2 e^{\gamma x}, \quad (3)$$

де A_1 та A_2 – константи інтегрування.

Якщо підставити вираз комплексної амплітуди напруги $\dot{U}_m$ (3) у перше рівняння системи (1), то можна отримати вираз для комплексної амплітуди струму $\dot{I}_m$ елементарної ділянки пористого електрода dx (4).

$$\dot{I}_m = \frac{1}{Z_{xap}} (A_1 e^{-\gamma x} - A_2 e^{\gamma x}), \quad (4)$$

де $Z_{xap} = \overbrace{\left(\frac{R_E + j\omega L_E}{\frac{1}{R_\phi + \frac{1}{j\omega C_\phi + \frac{1}{R_{\phi CP}}}} + \frac{1}{R_\phi} + j\omega C_{ПЕШ}} \right)} -$ комплексний характеристичний опір пористого

електрода.

Константи інтегрування A_1 та A_2 можна визначити із граничних умов для пористого електрода, а саме комплексної амплітуди напруги і струму вимірювального синусоїдального сигналу на кінці пористого електрода відповідно $\dot{U}_{m \text{ вих}}$ та $\dot{I}_{m \text{ вих}}$ при $x = l$

$$\begin{cases} \dot{U}_m(l) = \dot{U}_{m \text{ вих}} = A_1 e^{\gamma l} + A_2 e^{-\gamma l} \\ \dot{I}_m(l) = \dot{I}_{m \text{ вих}} = \frac{1}{Z_{xap}} (A_1 e^{\gamma l} - A_2 e^{-\gamma l}) \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} A_1 = \frac{\dot{U}_{m \text{ вих}} + Z_{xap} \dot{I}_{m \text{ вих}}}{2} e^{\gamma l} \\ A_2 = \frac{\dot{U}_{m \text{ вих}} - Z_{xap} \dot{I}_{m \text{ вих}}}{2} e^{-\gamma l} \end{cases} \quad (6)$$

Підставимо отримані вирази для констант інтегрування A_1 і A_2 :

$$\begin{cases} \dot{U}_m = \frac{\dot{U}_{m \text{ вих}} + Z_{xap} \dot{I}_{m \text{ вих}}}{2} e^{\gamma(l-x)} + \frac{\dot{U}_{m \text{ вих}} - Z_{xap} \dot{I}_{m \text{ вих}}}{2} e^{-\gamma(l-x)} \\ \dot{I}_m = \frac{1}{Z_{xap}} \left(\frac{\dot{U}_{m \text{ вих}} + Z_{xap} \dot{I}_{m \text{ вих}}}{2} e^{\gamma(l-x)} - \frac{\dot{U}_{m \text{ вих}} - Z_{xap} \dot{I}_{m \text{ вих}}}{2} e^{-\gamma(l-x)} \right) \end{cases} \quad (7)$$

Враховуючи, що $x' = l - x$ та $Z_{вих} = \frac{\dot{U}_{m \text{ вих}}}{\dot{I}_{m \text{ вих}}}$ після математичних перетворень отримаємо систему

виразів (8) для комплексної амплітуди напруги $\dot{U}_m$ та струму $\dot{I}_m$ у будь-якій точці пористого електрода.

$$\begin{cases} \dot{U}_m = \frac{\dot{U}_{m \text{ вих}} + Z_{xap} \dot{I}_{m \text{ вих}}}{2} \left(e^{\gamma x'} + \frac{Z_{вих} - Z_{xap}}{Z_{вих} + Z_{xap}} e^{-\gamma x'} \right) \\ \dot{I}_m = \frac{\dot{U}_{m \text{ вих}} + Z_{xap} \dot{I}_{m \text{ вих}}}{2 Z_{xap}} \left(e^{\gamma x'} - \frac{Z_{вих} - Z_{xap}}{Z_{вих} + Z_{xap}} e^{-\gamma x'} \right) \end{cases} \quad (8)$$

Комплексний вхідний опір $Z_{вх}$ пористого електрода, виміряний у будь-якій довільній точці на

відстані x' від кінця пористого електрода, визначається відношенням $Z_{вх} = \frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m}$.

$$\underline{Z}_{\text{ex}} = \underline{Z}_{\text{xap}} \frac{e^{\gamma x'} + \frac{\underline{Z}_{\text{вих}} - \underline{Z}_{\text{xap}}}{\underline{Z}_{\text{вих}} + \underline{Z}_{\text{xap}}} e^{-\gamma x'}}{e^{\gamma x'} - \frac{\underline{Z}_{\text{вих}} - \underline{Z}_{\text{xap}}}{\underline{Z}_{\text{вих}} + \underline{Z}_{\text{xap}}} e^{-\gamma x'}} \quad (9)$$

В режимі холостого ходу, коли вихідний кінець пористого електроду розімкнутий ($\underline{Z}_{\text{вих}} = \infty$), рівнянь (9) можна записати у вигляді (10).

$$\underline{Z}_{\text{ex}} = \underline{Z}_{\text{xap}} \text{cth} \gamma x' \quad (10)$$

Зробимо заміну $\underline{Z}_{\text{xap}}$ та γ їх виразами. В результаті отримаємо вираз (11), який відповідає лінійній еквівалентній схемі заміщення пористого електроду при умові, що амплітуди напруги U_m та струму I_m вимірювального синусоїдального сигналу набагато менші ніж відповідно постійна напруга на виводах суперконденсатора у потенціостатичному режимі ($U_m \ll u = \text{const}$) та постійний струм через суперконденсатор у гальваностатичному режимі ($I_m \ll i = \text{const}$).

$$Z_{BX}(j\omega) = \left[\frac{R_E + j\omega L_E}{\frac{1}{R_\Phi + \frac{1}{j\omega C_\Phi + \frac{1}{R_{\Phi CP}}}} + \frac{1}{R_{CP}} + j\omega C_{\text{ПЕШ}}} \right] \times \left[(R_E + j\omega L_E) \cdot \frac{1}{R_\Phi + \frac{1}{j\omega C_\Phi + \frac{1}{R_{\Phi CP}}}} + \frac{1}{R_{CP}} + j\omega C_{\text{ПЕШ}} \right] x' \quad (11)$$

Враховуючи опір виводів суперконденсатора, який ввімкнено послідовно із комплексним вхідним опором пористого електроду функцію комплексного опору суперконденсатора можна записати у вигляді (12).

$$Z(j\omega) = R_B + \left[\frac{R_E + j\omega L_E}{\frac{1}{R_\Phi + \frac{1}{j\omega C_\Phi + \frac{1}{R_{\Phi CP}}}} + \frac{1}{R_{CP}} + j\omega C_{\text{ПЕШ}}} \right] \times \left[(R_E + j\omega L_E) \cdot \frac{1}{R_\Phi + \frac{1}{j\omega C_\Phi + \frac{1}{R_{\Phi CP}}}} + \frac{1}{R_{CP}} + j\omega C_{\text{ПЕШ}} \right] x' \quad (12)$$

Вираз (12) справедливий для умов, коли амплітуди напруги U_m та струму I_m вимірювального синусоїдального сигналу набагато менші ніж відповідно постійна напруга на виводах суперконденсатора у потенціостатичному режимі ($U_m \ll u = \text{const}$) та постійний струм через суперконденсатор у гальваностатичному режимі ($I_m \ll i = \text{const}$).

Звідси функцію комплексного опору нелінійної еквівалентної схеми заміщення суперконденсатора можна записати у вигляді (13).

$$Z(j\omega, u) = R_B + \sqrt{\frac{R_E(u) + j\omega L_E}{\frac{1}{R_\Phi(u) + \frac{1}{j\omega C_\Phi(u) + \frac{1}{R_{\Phi CP}(u)}}} + \frac{1}{R_{CP}(u)} + j\omega C_{ПЕШ}(u)}} \times \left[\left(R_E(u) + j\omega L_E \right) \left(\frac{1}{R_\Phi(u) + \frac{1}{j\omega C_\Phi(u) + \frac{1}{R_{\Phi CP}(u)}}} + \frac{1}{R_{CP}(u)} + j\omega C_{ПЕШ}(u) \right) \right] \quad (13)$$

Аналізуючи експериментальні значення ємності та активного опору суперконденсатора можна зробити висновок, що ємність $C_p(\omega, u)$ та активний опір $R_p(\omega, u)$ суперконденсатора є функціями частоти і напруги [5, 6]. Нелінійна еквівалентна схема заміщення суперконденсатора не відображує функціональних залежностей $C_m(\omega, u)$ та $R_m(\omega, u)$ абсолютно точно. Для спрощення запису введемо наступні позначення:

$$Z_E = R_E(u) + j\omega L_E, \quad (14)$$

$$Y_\Phi = \frac{1}{R_\Phi(u) + \frac{1}{j\omega C_\Phi(u) + \frac{1}{R_{\Phi CP}(u)}}} + \frac{1}{R_{CP}(u)} + j\omega C_{ПЕШ}(u). \quad (15)$$

Тоді функцію комплексного опору нелінійної еквівалентної схеми заміщення суперконденсатора можна записати у вигляді (16), а функцію гіперболічного котангенса можна розкласти за степенями у ряд Лорана (17).

$$Z(j\omega, u) = R_B + \sqrt{\frac{Z_E}{Y_\Phi}} \operatorname{cth}\left(\sqrt{Z_E Y_\Phi}\right) \quad (16)$$

$$\operatorname{cthx} = \frac{1}{x} + \frac{x}{3} - \frac{x^3}{45} + \frac{2x^5}{945} - \frac{x^7}{4725} + \dots = \frac{1}{x} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1} 2^{2n} B_n x^{2n-1}}{(2n)!}, \quad (17)$$

де $0 < |x| < \pi$;

$$B_n = \sum_{k=0}^n \frac{1}{k+1} \sum_{r=0}^k (-1)^r \binom{k}{r} r^n - \text{числа Бернуллі};$$

$\binom{k}{r}$ – біноміальні коефіцієнти.

Звідси функцію комплексного опору нелінійної еквівалентної схеми заміщення суперконденсатора можна записати у вигляді (18).

$$\begin{aligned} Z(j\omega, u) &= R_B + \sqrt{\frac{Z_E}{Y_\Phi}} \left[\frac{1}{\sqrt{Z_E Y_\Phi}} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1} 2^{2n} B_n (\sqrt{Z_E Y_\Phi})^{2n-1}}{(2n)!} \right] = \\ &= R_B + \frac{1}{Y_\Phi} + \frac{Z_E}{3} - \frac{Z_E^2 Y_\Phi}{45} + \frac{2Z_E^3 Y_\Phi^2}{945} - \frac{Z_E^4 Y_\Phi^3}{4725} + \dots = \\ &= R_B + \frac{1}{Y_\Phi} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1} 2^{2n} B_n Z_E^n Y_\Phi^{n-1}}{(2n)!} \end{aligned} \quad (18)$$

У виразі комплексного вхідного опору (13) гіперболічний котангенс необхідно представити у вигляді неперервного дробу використовуючи наступне співвідношення [8]

$$\operatorname{cthx} = \frac{1}{x} + \frac{1}{\frac{3}{x} + \frac{1}{\frac{5}{x} + \frac{1}{\frac{7}{x} + \frac{1}{\frac{9}{x} + \frac{1}{\frac{11}{x} + \frac{1}{\frac{13}{x} + \frac{1}{\frac{15}{x} + \dots}}}}}}} \quad (19)$$

Тоді

$$Z(j\omega, u) = R_B + \frac{\sqrt{Z_E}}{\sqrt{Y_\Phi}} \left(\frac{1}{\sqrt{Z_E Y_\Phi x'}} + \frac{1}{\frac{3}{\sqrt{Z_E Y_\Phi x'}} + \frac{1}{\frac{5}{\sqrt{Z_E Y_\Phi x'}} + \frac{1}{\frac{7}{\sqrt{Z_E Y_\Phi x'}} + \frac{1}{\frac{9}{\sqrt{Z_E Y_\Phi x'}} + \frac{1}{\frac{11}{\sqrt{Z_E Y_\Phi x'}} + \frac{1}{\frac{13}{\sqrt{Z_E Y_\Phi x'}} + \dots}}}} \right) \quad (20)$$

після математичних перетворень отримаємо

$$Z(j\omega, u) = R_B + \frac{1}{Y_\Phi x'} + \frac{1}{\frac{3}{Z_E x'} + \frac{1}{\frac{5}{Y_\Phi x'} + \frac{1}{\frac{7}{Z_E x'} + \frac{1}{\frac{9}{Y_\Phi x'} + \frac{1}{\frac{11}{Z_E x'} + \frac{1}{\frac{13}{Y_\Phi x'} + \frac{1}{\frac{15}{Z_E x'} + \dots}}}}}} \quad (21)$$

представимо вираз (21) у наступному вигляді

$$Z(j\omega, u) = R_B + \frac{1}{Y_\Phi x'} + \frac{1}{\frac{1}{\frac{Z_E x'}{3} + \frac{1}{\frac{Y_\Phi x'}{5} + \frac{1}{\frac{Z_E x'}{7} + \frac{1}{\frac{Y_\Phi x'}{9} + \frac{1}{\frac{Z_E x'}{11} + \frac{1}{\frac{Y_\Phi x'}{13} + \frac{1}{\frac{Z_E x'}{15} + \dots}}}}}}}} \quad (22)$$

Використовуючи вираз комплексного опору $Z(j\omega, u)$ у вигляді неперервного дробу (22) побудуємо нелінійну еквівалентну схему заміщення суперконденсатора, яка відповідає неперервній дробовій схемі по другій формі Кауера (рис. 6) [8–10].

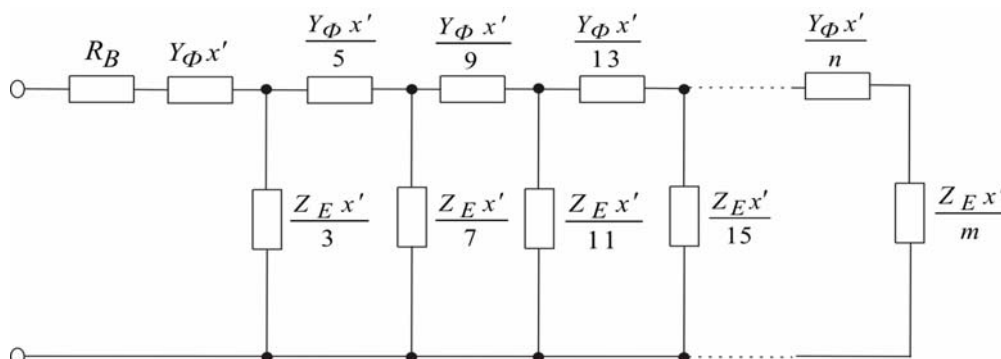


Рис. 6. Модифікована нелінійна еквівалентна схема заміщення суперконденсатора у вигляді неперервної дробової схеми, яка синтезована по другій формі Кауера

Аналізуючи вдосконалену нелінійну еквівалентну схему заміщення суперконденсатора, можна записати вирази для визначення елементів цієї схеми через її електричні параметри Z_0 та Y_0

$$Y_n = \frac{Y_\Phi x'}{n}, \quad n=1, 5, 9, 13, 17, 21, \dots \quad (23)$$

для повздовжніх елементів

$$Z_n = \frac{Z_E x'}{m}, m=3, 7, 11, 15, 19, 23, \dots \quad (24)$$

для поперечних елементів

Вирази (23) та (24) можна представити у вигляді загальних співвідношень (25) та (26) відповідно

$$Y_n = \frac{Y_\Phi x'}{4n-3} \text{ при } n \geq 1 \quad (25)$$

$$Z_n = \frac{Z_E x'}{4n-5} \text{ при } n \geq 1 \quad (26)$$

З урахуванням виразів (14) та (15), того що формули (25) та (26) отримують наступний вигляд

$$Y_n = \frac{Y_\Phi x'}{4n-3} = \frac{\left(\frac{1}{R_\Phi(u) + \frac{1}{j\omega C_\Phi(u) + \frac{1}{R_{\Phi CP}(u)}}} + \frac{1}{R_{CP}(u)} + j\omega C_{ПЕШ}(u) \right) x'}{4n-3} \text{ при } n \geq 1 \quad (27)$$

$$Z_n = \frac{Z_E x'}{4n-5} = \frac{(R_E(u) + j\omega L_E) x'}{4n-5} = \frac{R_E x' + j\omega L_E x'}{4n-5} = \frac{R_E x'}{4n-5} + j\omega \frac{L_E x'}{4n-5} \text{ при } n \geq 1 \quad (28)$$

Звідки можна визначити параметри запропонованої нелінійної еквівалентної схеми заміщення суперконденсатора через її первинні параметри

$$R_{En} = \frac{R_E x'}{4n-5}, \quad (29)$$

$$L_{En} = \frac{L_E x'}{4n-5}, \quad (30)$$

$$R_{CPn} = \frac{(4n-3)R_{CP}}{x'}, \quad (31)$$

$$C_{ПЕШn} = \frac{C_{ПЕШ} x'}{4n-3}, \quad (32)$$

$$R_{\Phi n} = \frac{(4n-3)R_\Phi}{x'}, \quad (33)$$

$$C_{\Phi n} = \frac{C_\Phi x'}{4n-3}, \quad (34)$$

$$R_{\Phi CPn} = \frac{(4n-3)R_{\Phi CP}}{x'}. \quad (35)$$

Такий результат відповідає безпосередньо заміні відрізка пористого електроду довжиною x' еквівалентними його елементами з зосередженими параметрами – повздовжніми опором R_{CPn} , ємністю $C_{ПЕШn}$, опором $R_{\Phi n}$, ємністю $C_{\Phi n}$ та опором $R_{\Phi CPn}$, поперечними опором R_{En} та індуктивністю L_{En} . З урахуванням цього вдосконалена нелінійна еквівалентна схема заміщення суперконденсатора для оптимізованої системи електроживлення генератора зонduючих імпульсів надширокосмугових мобільних радіолокаторів на рисунку 7.

Висновки. Встановлено, що існуючі принципові схеми систем електроживлення генераторів зонduючих імпульсів надширокосмугових мобільних радіолокаторів мають багато суттєвих недоліків та обмежень, тому підвищення ефективності та оптимізація систем електроживлення генераторів зонduючих імпульсів надширокосмугових мобільних радіолокаторів можливе завдяки використанню при їх схемотехнічній реалізації нових радіоелектронних компонентів, які отримали назву суперконденсатори.

Вибрано адекватну математичну модель суперконденсатора для оптимізованої системи електроживлення генераторів зонduючих імпульсів надширокосмугових мобільних радіолокаторів, яка складається із нелінійної еквівалентної схеми заміщення та функції комплексного опору. Функцію комплексного опору нелінійної еквівалентної схеми заміщення суперконденсатора для оптимізованої системи електроживлення генераторів зонduючих імпульсів надширокосмугових мобільних радіолокаторів можна записати у вигляді нескінченного ряду, якщо функцію гіперболічного котангенса розкласти за степенями у ряд Лорана.

Отримано функцію комплексного опору суперконденсатора у вигляді неперервного дробу та побудовано модифіковану нелінійну еквівалентну схему заміщення суперконденсатора у вигляді неперервної дробової схеми, яка синтезована по другій формі Кауера.

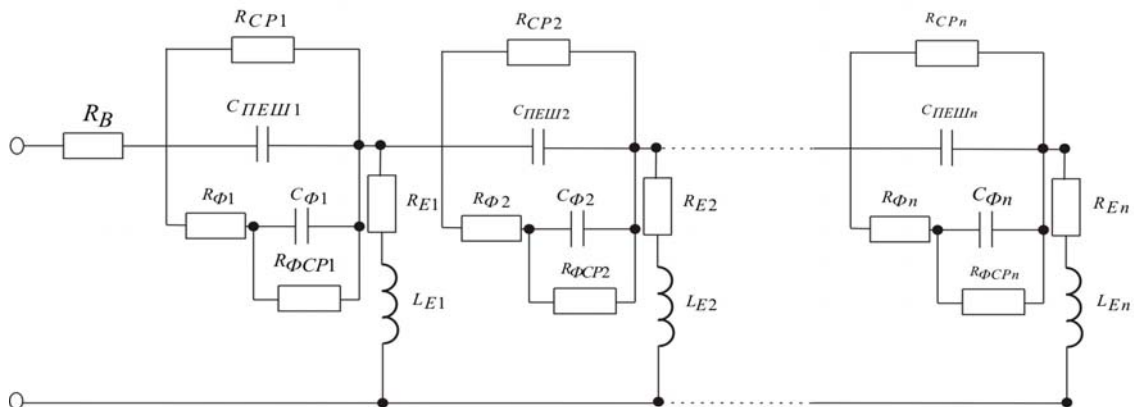


Рис. 7. Вдосконалена нелінійна еквівалентна схема заміщення суперконденсатора для оптимізованої системи електроживлення генератора зонduючих імпульсів надширокополосних мобільних радіолокаторів

Розроблена вдосконалена нелінійна еквівалентна схема заміщення суперконденсатора для оптимізованої системи електроживлення генераторів зонduючих імпульсів надширокополосних мобільних радіолокаторів.

Отримано аналітичні вирази для визначення елементів модифікованої нелінійної еквівалентної схеми заміщення суперконденсатора у вигляді неперервної дробової схеми, яка синтезована по другій формі Кауера та елементів вдосконаленої нелінійної еквівалентної схеми заміщення суперконденсатора для оптимізованої системи електроживлення генераторів зонduючих імпульсів надширокополосних мобільних радіолокаторів.

Аналіз математичної моделі суперконденсатора для оптимізованої системи електроживлення генераторів зонduючих імпульсів надширокополосних мобільних радіолокаторів показав, що нелінійна еквівалентна схема заміщення суперконденсатора з розподіленими електричними параметрами може бути безпосередньо замінена нелінійною еквівалентною схемою заміщення з зосередженими електричними параметрами.

Література

1. Иммореев И.Я. Сверхширокополосные и узкополосные системы связи совместная работа в общей полосе частот / И.Я. Иммореев, А.А. Судаков // *Электроника: Наука, Технология.* – 2003. – № 2. – С. 34–37.
2. Макаришкін Д.А. Підвищення ефективності імпульсних передавальних пристроїв надширокополосних мобільних радіолокаторів шляхом оптимізації побудови системи електроживлення / Д.А. Макаришкін, В.М. Кульчицький // *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки.* – 2010. – № 5. – С. 184–187.
3. Макаришкін Д.А. Математична модель генератора зонduючих імпульсів із використанням суперконденсаторів для надширокополосних мобільних радіолокаторів / Д.А. Макаришкін // *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки.* – 2009. – № 3. – С. 245–249.
4. Макаришкін Д.А. Математична модель генератора зонduючих імпульсів надширокополосних мобільних радіолокаторів із покращеними характеристиками / Д.А. Макаришкін, Р.В. Сорокати, К.І. Любечук // *Вісник Хмельницького національного університету.* – Хмельницький. – 2014. – № 4. – С. 45–52.
5. Martynyuk V. Frequency Domain Analysis for Electrochemical Supercapacitors / V. Martynyuk, D. Makaryshkin, J. Boyko // *Proceedings of the 15th IMEKO TC-4 International Symposium on Novelties in Electrical Measurements and Instrumentations.* – Iasi. – 2007. – Volume II. – P. 357–361.
6. Макаришкін Д.А. Вимірювання параметрів електрохімічних суперконденсаторів / Д.А. Макаришкін // *Материалы международной молодежной научно-технической конференции студентов, аспирантов и ученых «Молодежь и современные проблемы радиотехники и телекоммуникаций».* – Севастополь, 2006. – С. 129.
7. Makaryshkin D.A. Investigation of the Supercapacitor Mathematical Model by Means of LTspice IV / D.A. Makaryshkin, V.V. Martynyuk, G.B. Paraska // *Xth International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET'2010).* – Lviv-Slavsko, Ukraine, 2010. – P. 40–42.
8. Макаришкін Д.А. Моделювання пасивного фільтра нижніх частот з використанням регулярної лінії передачі / Д.А. Макаришкін, В.В. Мартинюк, Ю.М. Бойко, О.М. Бриндак // *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки.* – 2013. – № 2. – С. 188–195.
9. Песков С.Н. Основы теории линий передачи на высоких частотах. Часть 1: Режимы работы длинной линии / Песков С.Н. // *Телеспутник.* – 2009. – № 5. – С. 74–78.
10. Улахович Д.А. Основы теории линейных электрических цепей / Улахович Д.А. – СПб : БХВ – Петербург, 2009. – 816 с.

Отримана/Received : 6.5.2017 р. Надрукована/Printed : 11.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., професор В.В. Мартинюк

СПОСІБ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ПЛАЗМИ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ СУПУТНИКОВИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

У статті запропоновано спосіб зондового вимірювання параметрів плазми. Розроблена експериментальна установка, на якій проводились дослідження за методом другої гармоніки та докладно описана методика проведення експерименту. Досліджено функцію розподілу електронів за енергіями у газорозрядній плазмі загального випромінювання. Проведено перевірку на наявність максвелівського розподілу електронів та встановлено температуру електронів. Визначено функцію розподілу електронів за енергіями та вплив величини розрядного струму, тиску газу та розташування зонда.

Ключові слова: плазма, похибки вимірювання, енергія електрона, розподіл електронів, космічний апарат, експериментальна установка.

OLEKSANDR VITALIIIOVYCH SHEFER

Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University

PLASMA PARAMETERS MEASURING METHOD FOR SATELLITE TELECOMMUNICATIONS NOISE IMMUNITY IMPROVE

The article investigates plasma around spacecraft parameters probe measurement method. Experimental installation, on which second-harmonic method was carried out, was developed and technique of experiment is described in detail. Considered main measurement errors, that arise during the experiment and caused by following reasons: measurement method choice, variable signal amplitude, plasma potential determination, effect of electrons discharge from probe and plasma conditions. Ways and means of reducing these errors have been determined, and their value in worst case has been estimated. Electron energy distribution function in general radiation gas-discharge plasma investigated. Check was made for Maxwellian electron distribution presence and electron temperature defined. The electron energy distribution functions depending on indicated conditions are determined. Influence of discharge current magnitude, gas pressure and probe location investigated. Found that lack of interaction between plasma total radiation boundary surfaces of the discharge chamber eliminates ambipolar diffusion of electrons and ions. Experimental data confirmed the possibility of applying the proposed method to measure plasma.

Keywords: plasma, measurement errors, electron energy, electron distribution, spacecraft, experimental installation.

Постановка проблеми

XXI століття – століття бурхливого розвитку телекомунікацій, зокрема супутникових. Вчені з упевненістю і оптимізмом дивляться в майбутнє і готові вирішити будь-які завдання, які поставить час. Україна – одна з небагатьох країн світу, в якій розробляється та виробляється телекомунікаційна техніка.

За допомогою наземних та супутникових систем зв'язку вирішується задача обміну інформацією між рухомими об'єктами.

Особливо гостро ця задача виглядає під час виведення космічного апарата (КА) на орбіту. В умовах входу в іоносферу КА на гіпершвидкостях, через аеродинамічний опір зовнішнього газового середовища оболонка їх нагрівається. У результаті нагріву виділяється величезна кількість тепла, котра призводить до утворення плазми навколо КА. Плазма повністю поглинає електромагнітні хвилі, або їх спотворює. Як наслідок утворюється частотно-селективне середовище замирання, непроникне для сигналів систем супутникового телекомунікаційного зв'язку, в результаті чого КА не в змозі здійснювати телеметричний зв'язок протягом кількох хвилин. Цей період є найбільш небезпечним із точки зору надійності та безпеки польоту КА.

Основним способом зв'язку із КА є застосування систем супутникових телекомунікацій [1]. Їх принцип дії ґрунтується на використанні супутникових ретрансляторів сигналу, через які здійснюється зв'язок із наземними станціями. Окремі станції зв'язку можуть розташовуватись на поверхні Землі, в атмосфері, або космосі (рис. 1).

Існуючі методи розв'язання даної проблеми забезпечення завадостійкості каналу телеметрії із КА, базуються на підсиленні за потужністю вхідних сигналів та перенесенні їх спектрів на інші частоти [2]. Однак між деякими системами супутникових телекомунікацій відбувається складна обробка сигналів, направлених на зменшення перехресних завад між сигналами та підвищення завадостійкості системи в цілому.

Для забезпечення якісної телеметрії, розробники змушені розміщувати ретранслятори сигналів на кількох супутниках на різних орбітах [1]. Даний підхід суттєво підвищує вартість зв'язку із КА, суттєво погіршує електромагнітну сумісність систем. Він має також невисоку надійність та якість телеметричного зв'язку та призводить до зниження дальності дії телеметрії [3].

Новітнім методом розв'язання проблеми підвищення завадостійкості супутникових телекомунікацій на етапі виведення КА на орбіту є вплив на зовнішнє плазмове середовище. Так автором [4] пропонується спосіб передачі інформації через плазму, заснований на одночасному впливові на плазму електронним потоком, акустичною хвилею і інформаційним сигналом.

На нашу думку ефективність цього способу, насамперед, залежить від товщини та щільності плазми ударної хвилі.

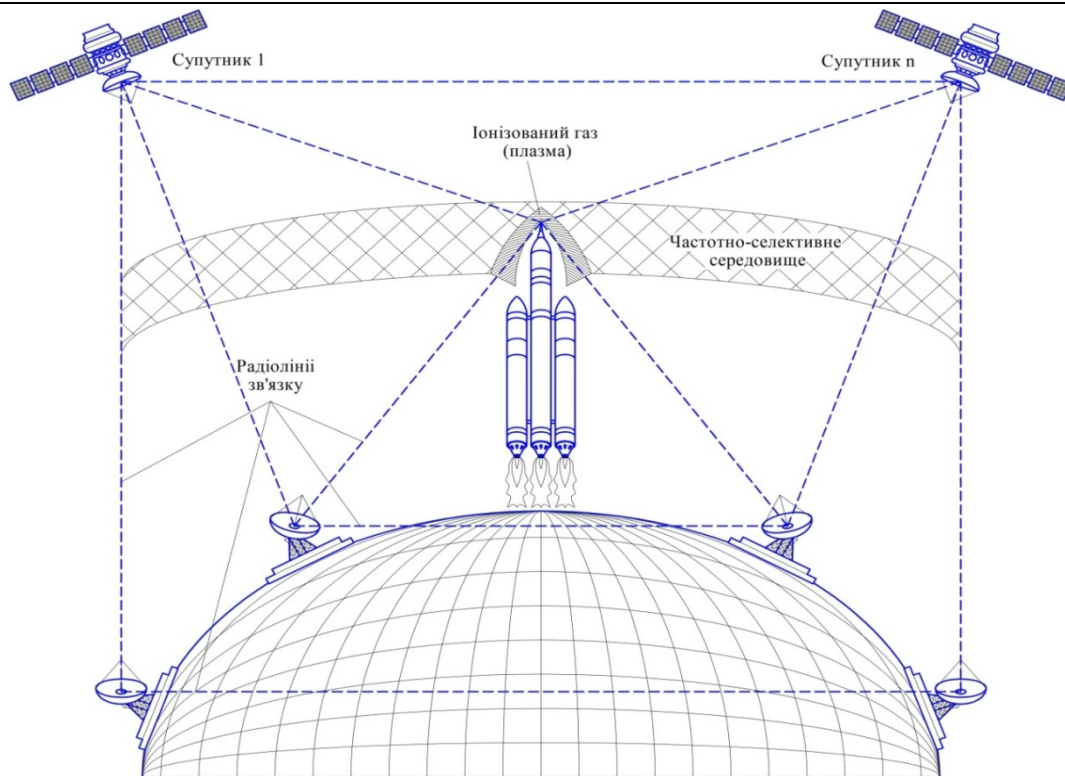


Рис. 1. Схема супутникового телеметричного зв'язку із КА на етапі виведення КА на орбіту

Метою роботи є розробка способу зондового вимірювання параметрів плазми.

Експериментальна частина

Для визначення функції розподілу $f(E)$ в локалізованій плазмі була розроблена експериментальна установка, в котрій виміри $i''(V)$ проводились за методом другої гармоніки. Блок-схема установки наведена на рис. 2.

Зондова характеристика та її друга похідна знімалися відносно анодів розрядного пристрою «Локалізатор». Постійне падіння напруги в плазмі на ділянці зонд – аноди компенсувалось стабілізованим джерелом напруги типу «УІП-1». Для плавної зміни напруги від 0 до 30 В, використано пристрій «ІН-30».

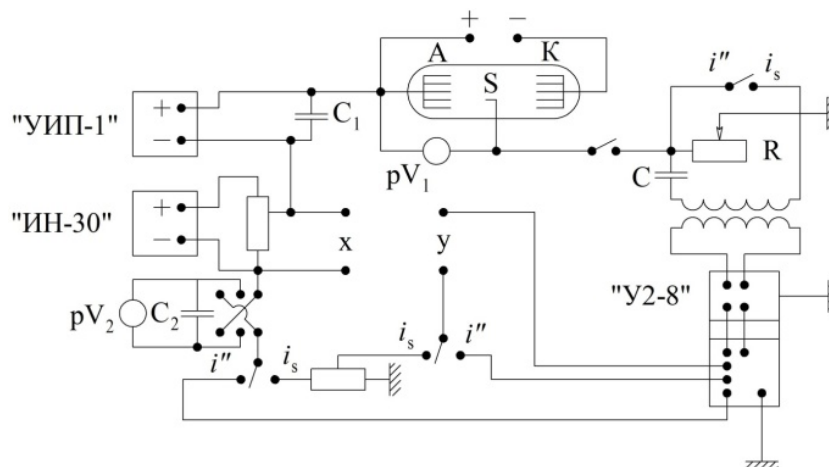


Рис. 2. Блок-схема експериментальної установки для вимірювання: А – анод; К – катод; S – зонд

Для отримання змінної складової на зонді використано генератор типу ГЗ-18, котрий вмикався в коло анода. Корисний сигнал із зондового кола передавався за допомогою трансформатора на вхід вузькополосного підсилювача УЗ-2. Трансформатор був ретельно екранований та віддалений від силової установки з метою усунення потрапляння в нього паразитних сигналів. Підсилювач був налаштований на подвійну частоту. Ширина полоси регулювалась та звичайно була рівна 1 – 1,5% від робочої частоти. Підсилений змінний сигнал з частотою 2ω детектувався далі синхронним детектором, вбудованим у селективний підсилювач У2-8. Форма та амплітуда сигналу другої гармоніки контролювалась на вході підсилювача за допомогою осцилографа. Сигнал другої похідної, котрий повільно змінювався, записувався на двокоординатному самописці Endim-620.02. На вхід X самописця подавалась напруга від джерела струму, котра є напругою живлення кола зонда. На вхід Y подавався сигнал із синхронного детектора для з'ясування

повторюваності та другої похідної.

Особливості поведінки функції розподілу електронів у хвості кривої другої похідної записувались декілька разів та з різними коефіцієнтами підсилення. Дана схема використалась для вимірювання вольт-амперних зондових характеристик.

У цьому випадку вмикається звуковий генератор та сигнал, котрий знімається з опору R , пропорційний зондовому струму, подавався на вхід Y самописця, минаючи трансформатор та підсилювач У2-8. Зразок запису зондової характеристики та її другої похідної показаний на рис. 3.

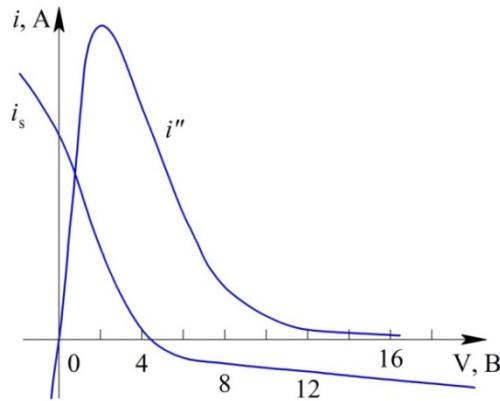


Рис. 3. Зразок запису зондових характеристик $i(V)$ та другої похідної зондового струму за напругою $i''(V)$

Криві другої похідної утворились на ЕОМ. Згідно з роботами [5, 6] нормування кривої $i''(V)$ проводилось за формулою:

$$\int_0^{E_n} \sqrt{V} i''(V) dV = 1. \quad (1)$$

Середня енергія електронів $\bar{E}_e$ вимірювалась за виразом:

$$\bar{E}_e = \int_0^{E_n} V^{\frac{3}{2}} i''_n(V) dV, \quad (2)$$

де i''_n – пронормована друга похідна за співвідношенням (1).

Для налаштування блок-схеми в робочий режим проводилося вимірювання вольт-амперної характеристики та її похідної на напівпровідниковому діоді, який вмикався замість пристрою «Вольер». Подана на нього мала напруга величиною не більше 2-3 В, вмикалась зі зворотною полярністю від «ИН-30» таким чином, щоб вольтметр, увімкнений паралельно діоду, показував би 0 В. При увімкненні важіль реохорда автоматично рівномірно змінював напругу на діоді, а на самописці записувалась вольт-амперна характеристика.

Після відповідних перемикань блок-схема переводилась у режим другої похідної. Безпосередньо в коло зонда для отримання $i''(V)$ важливе значення має підбір диференційного кола R_C на шляху до трансформатора (рис. 2). Для оптимальної роботи схеми увімкнено змінний опір $R = 0-470$ Ом та ємність $C = 0,1$ мкФ. За допомогою осцилографа перевірялась наявність змінного сигналу від ЗГ-18 в колі зонда перед повторювачем частоти та після нього. Необхідно також перевірити наявність сигналу на пристрої «ИН-30», на клемі анода розрядного пристрою та на виході підсилювача У2-8. Величина змінного сигналу повинна складати не більше 0,1-0,3 В.

Основний процес налаштування проходить між генератором ГЗ-18 та У2-8. Результатом нормального налаштування є максимальний резонанс підсилення сигналу, котрий надходить від ГЗ-18. Даний максимум контролюється на У2-8 та осцилографі. Правильно виміряний сигнал $i''(V)$ на діоді, на самописці відображається кривою з плавним переходом від горизонтальної ділянки до максимуму та різке занулення. Коли точно вимірювався $i''(V)$ на діоді, схема перемикалась до вимірювання її у локалізованій плазмі.

Під час вимірювання другої похідної зондового струму за напругою, можуть бути внесені похибки, котрі обумовлені, в основному, наступними причинами:

- вибір метода вимірювання;
- амплітуда змінного сигналу;
- визначення потенціалу плазми;
- ефект стикання електронів із зонда;
- умови в плазмі.

Під час вибору метода вимірювання $i''(V)$ для визначення $f(E)$ у локалізованій плазмі, автор виходив із того, що в роботі [7], присвяченій експериментальному порівнянню вищевказаних методів вимірювання $i''(V)$, встановлено, що метод другої гармоніки найбільш точний та має певні переваги. У визначенні другої похідної за методом другої гармоніки при розкладанні у ряд Тейлора, члени із вищими похідними (вище

другої) малі у порівнянні з $\frac{v_0^2}{2} i''(V)$. Похибка при нехтуванні високими похідними не перевищує 3%.

Похибка приладу визначається, в основному, похибкою приладу-реєстратора, котра в даних вимірах не перевищувала 2%.

Вплив амплітуди змінного сигналу на спотворення сигналу другої похідної проаналізована в роботі [8]. Даний аналіз показав, що спотворення другої похідної залежить від відношення $\frac{v_0}{E_e}$. При відношенні

$\frac{v_0}{E_e} < 0,2$ спотворення невеликі та охоплюють, головним чином, область різких змін другої похідної, тобто в

районі максимуму та нуля $i''(V)$. Як буде описано далі, середні енергії електронів в плазмі «Вольєра» складають не більше 2 еВ. Значення амплітуди накладеного змінного сигналу в проведених вимірюваннях не перевищувала 0,3 В, що відповідає вимогам [6].

Похибка у визначенні потенціалу простору плазми впливає на похибку у визначенні функції розподілу електронів за енергіями. Невизначеність у визначенні потенціалу плазми v_{pl} в 0,5 В, призводить до похибки у функції розподілу близько 10%.

Вибір v_{pl} може бути обґрунтовано правильним урахуванням спотворення зондових характеристик потенціалу максимум другої похідної v_{pl} . Однією із причин спотворення є зниження концентрації поблизу зонда за рахунок «стікання» електронів [9]. Іншою причиною спотворення є погіршення співвідношення між опором призондового шару та сумою інших спотворень у зондових колах. Дані спотворення приводять до того, що максимум другої похідної зміщений у бік негативних потенціалів відносно v_{pl} . Визначенню потенціалу плазми v_{pl} присвячено достатньо досліджень [9–11], в яких у теперішній час однозначно встановлено, що за потенціал простору слід приймати нуль другої похідної, що і робилось у проведених нами дослідженнях.

Ефект «стікання» електронів до зонда зводиться до того, що коли зонд повністю поглинає електрони, відбувається з'єднання з ними призондового шару. Цей спад електронів відновлюється за рахунок дифузного потоку із навколишнього простору. В зв'язку з тим, що швидкість дифузії електронів пропорційна їх швидкості, відновлення спаду електронів буде різним для електронів різних енергій. У результаті цього, згідно з авторами [9] зонд буде реєструвати $f(E)$, на відміну від тієї частини, котра є у не збуреній плазмі:

$$f(E)dE = f_0(E)dE - \frac{d_i}{2\pi\bar{\lambda}_e D\sqrt{E}} \ln\left(1 + \frac{l}{2b}\right) \quad (3)$$

де l – довжина зонда; b – межа призондового шару; $f_0(E)$ – функція розподілу електронів далеко від зонда.

Звідси видно, що спотворення функції розподілу електронів, котрі досягають поверхні зонда, буде проявлятися, насамперед, у зменшенні числа при малих енергіях електронів, на що вказує знак мінус перед членом, обумовленим дифузією. При збільшенні енергії електронів та довжини пробігу $\bar{\lambda}_e$ спотворення зменшується.

Спотворення $f(E)$ за рахунок ефекту «стікання» електронів впливає на зниженні значення концентрації електронів n_e та завищенні їх середньої енергії $\bar{E}_e$. Для усунення спотворення в роботі авторів [11] вводиться поправка

$$\sigma = \frac{3}{4} \frac{a}{\bar{\lambda}_e} \ln \frac{l}{a + \bar{\lambda}_e} \quad (4)$$

Це дає можливість отримати вираз для концентрації електронів n_e у не збуреній плазмі у вигляді наступного відношення:

$$\frac{n_{e0}}{n_e} = 1 - 0,5 \left[\frac{1+2\sigma}{1+\sigma} + \frac{0,5}{\sqrt{\sigma}(1+\sigma)^{\frac{3}{2}}} \ln \frac{(1+\sigma)^{\frac{1}{2}} - \sqrt{\sigma}}{(1+\sigma)^{\frac{1}{2}} + \sqrt{\sigma}} \right] \quad (5)$$

Відповідно для середньої енергії електронів

$$\frac{\bar{E}_{e0}}{\bar{E}_e} = \frac{n_e}{n_{e0}} \left(\frac{3}{2\sigma} + \frac{3}{4\sigma^{\frac{3}{2}}(\sigma+1)^{\frac{1}{2}}} \ln \frac{\sqrt{1+\sigma} - \sqrt{\sigma}}{\sqrt{1+\sigma} + \sqrt{\sigma}} \right) \quad (6)$$

Під час обробки експериментальних кривих $i''(V)$, котрі виміряні в плазмі локалізованого розряду, для визначення n_e та $\bar{E}_e$ ефект «стоку» був врахований за допомогою співвідношень (5) та (6).

На величину похибки при знаходженні $f(E)$, n_e та $\bar{E}_e$ здійснюють суттєвий вплив умови, за яких існує газорозрядна плазма. Вимірювання, котрі проводились в плазмі загального випромінювання, показали високу стабільність розряду. Відсутність нестационарних процесів у розряді обумовлено колективною

роботою великої кількості елементарних розрядів. Наявність великого числа катодів в розрядному локалізованому пристрої забезпечує стаціонарність усього розряду наступним чином. Якщо на одному із катодів відбувається, за якихось причин, зменшення вторинної електронної емісії, то на другому катоді, згідно законом ймовірності, відбудеться збільшення даної емісії. Чим більше катодів та елементарних розрядів, тим вірогідність виникнення нестационарних умов буде меншою.

Відсутність взаємодії плазми загального випромінювання з граничними поверхнями розрядної камери в локалізованому розряді виключають амбіполярну дифузію електронів та іонів. Це також збільшує стаціонарність розрядних умов, так як зменшення числа елементарних процесів підвищує рівновагу основних процесів в плазмі.

Як показують зондові дослідження, потенціал простору φ_{pl} в локалізованій плазмі дуже близький до потенціалу анода V_a . У звичайному випадку співвідношення падіння напруги між зондом та опорами електродів відповідні до падіння напруги в призондовому шарі V_{cl} та падіння напруги в плазмі між опорними електродами та межею призондового шару V_{nl} .

$$U = V_{cl} + V_{nl} \quad (7)$$

У локалізованій плазмі

$$V_{nl} \cong 0, \quad (8)$$

тоді

$$U = V_{cl} \quad (9)$$

У результаті цього вся напруга в даній плазмі падає на призондовому шарі. Це згідно із [7], зменшує спотворення у визначенні $i''(V)$ і, відповідно, у визначенні $f(E)$.

Умови, за яких знаходиться плазма загального випромінювання в локалізованому пристрої, є більш оптимальними для вимірювання другої похідної зондового струму за напругою.

Функція розподілу електронів за енергіями досліджувалась у газорозрядній плазмі загального випромінювання, котра створена в локалізованому пристрої діаметром 92 мм та довжиною 350 мм.

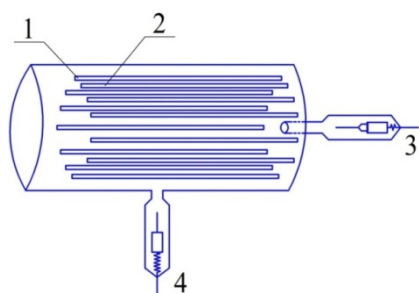


Рис. 4. Газорозрядний локалізований пристрій із зондами для проведення осевих та радіальних зондових вимірювань: 1 – анод; 2 – катод; 3 – зонд для осевих вимірювань; 4 – зонд для радіальних вимірювань

Газорозрядний проміжок, утворений стрижневими анодами та катодами, має діаметр 82 мм та довжину 186 мм. Вимірювання $i''(V)$ проводились в інертних газах із використанням зондового методу дослідження плазми. Інтервал тиску, за якого проводились дослідження в атмосфері вказаних газів, складав 1,33–400 Па. Для повздовжніх та радіальних вимірювань зонди монтувались як з торцевої частини, так і з бічної поверхні пристрою. Зонди виконані із молібдену діаметром $0,07 \cdot 10^{-3}$ м та довжиною $7 \cdot 10^{-3}$ м. На другу торцеву частину пристрою напаявалось кварцове скло, через яке контролювалось положення зонда. Переміщення зонда вздовж повздовжньої осі та по радіусу здійснювалось за допомогою магніту та відраховувалось за міліметровою шкалою. Співвісність та паралельність

переміщення зонда забезпечувались багатоопорними напрямними. Переміщення зонда виконувалось уздовж осі до $0,12$ м, за радіусом до $4,4 \cdot 10^{-2}$ м (рис. 4 та 5).

Проводилась перевірка на наявність максвелівського розподілу електронів та визначення температури електронів T_e . Визначалась функція розподілу електронів за енергіями в залежності від вказаних умов. Перед початком вимірювань на зонд подавався потенціал, рівний значенню плаваючого потенціалу.

Процес вимірювання починався з вимірювання зондової характеристики, а після існуючих перемикачів у схемі знімалась $i''(V)$. Після вказаної підготовки до вимірювань проводилась перевірка на стабільність отриманих результатів. Із цією метою вимірювання зондової характеристики $i(V)$ та $i''(V)$ проводились через кілька годин.

При певному тиску газу вимірювалось $i(V)$ та $i''(V)$ залежно від розрядного струму I . Встановлювалась залежність $i(V)$ та $i''(V)$ від розташування вздовж повздовжньої осі, або за радіусом, тобто $i = f(r)$ та $i'' = f(r)\varphi(r)$. В такій послідовності вимірювання проводились у кожному роді газу.

Висновки

У рамках статті було викладено результати експериментального дослідження способу зондового вимірювання параметрів плазми навколо КА. Результати експерименту підтвердили, що найбільш оптимальним є для вимірювання другої похідної зондового струму за напругою. Отримано графіки зондові характеристики та її другої похідної для різних умов утворення плазми. Розглянуті основні похибки вимірювання, що виникають в ході експерименту, визначені способи і засоби зменшення цих похибок та проведена оцінка їх величини у найгіршому випадку. Досліджено вплив величини розрядного струму, тиску газу та розташування зонда на точність вимірювання.

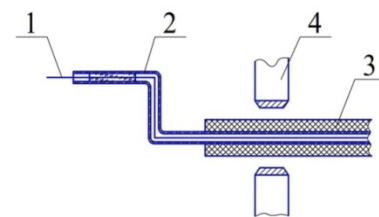


Рис. 5. Зонд для проведення азимутальних вимірювань: 1 – зонд; 2 – тримач зонда; 3 – осьове кріплення зонда; 4 – підшипник азимутального зонда

Таким чином, отримані експериментальні дані підтвердили можливість застосування розробленого методу для вимірювання параметрів плазми навколо космічного апарата.

Література

1. Макаренко С. И. Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты : монография / С. И. Макаренко, М. С. Иванов, С. А. Попов. – СПб : Свое издательство, 2013. – 166 с.
2. Izhovkina, N. I., Erokhin, N. S., Mikhaylovskaya, L. A. Plasma inhomo-geneities and radiowave scattering in experiments with electron pulses in the ionosphere. Geomag. and Aeronomy, 2014, vol. 54, no 1, pp. 73-81.
3. Кучер Д. Б. Построение моделей неравновесных состояний электронов в полупроводниковой плазме для сверхпроводящей защиты радиотехнических средств ВСУ / Д.Б. Кучер, А.И. Фык // Системи озброєння і військова техніка. – 2015. – № 4(44). – С. 80–82.
4. Литвина З.Ю. О возможности передачи информации через плазму / З.Ю. Литвина // Системи обробки інформації. – 2007. – № 9. – С. 127–128.
5. Чан П. Электрические зонды в неподвижной и движущейся плазме / П. Чан, Л. Талбот, К.М. Турян. – М. : Мир, 1978. – 203 с.
6. Лохте-Хольтгрёнен В. Методы исследования плазмы. Спектроскопия, лазеры, зонды / В. Лохте-Хольтгрёнен ; [перевод с англ., под ред. С.Ю. Лукьянова]. – М. : Мир, 1971. – 552 с.
7. Демидов В.И. Зондовые методы исследования низкотемпературной плазмы / В.И. Демидов, Н.Б. Колоколов, А.А. Кудрявцев. – М. : Энергоатомиздат, 1996. – 235 с.
8. Luijendijk, S. C. M., Van Eck, J. Van Eck, J. Comparison of three devices for measuring the second derivative of a Langmuir probe curve. Physika, 1967, 36, p.49–60.
9. Hantzsch E. Space charge sheaths with electron emission // Proc. 21 EPS Conf. Contr. PlasmaPhys., Montpellier, 1994. Pt.II, p. 92–929.
10. Мустафаев А.С. Функция распределения электронов в анизотропной плазме / А.С. Мустафаев. – СПб : Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», 2013. – 135 с.
11. Овсянников А.А. Диагностика низкотемпературной плазмы / А.А. Овсянников, В.А. Энгельшт, Ю.А. Лебедев. – Новосибирск : Наука, 1994. – 483 с.

Отримана/Received : 24.4.2017 р. Надрукована/Printed : 11.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Козелков С.В.

УДК 528.4:332.3

К.А. МАМОНОВ, К.О. МЕТЕШКІН, М.О. ГРЕК

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

РОЗРОБКА СТЕЙКХОЛДЕРНО-ОРІЄНТОВАНОГО ПІДХОДУ ДО ОЦІНКИ ВПЛИВУ МІСТОБУДІВНИХ ФАКТОРІВ НА ВИКОРИСТАННЯ ЗЕМЕЛЬ МІСТ

У роботі запропоновані напрями розробки стейкхолдерно-орієнтованого підходу до оцінки впливу містобудівних факторів на використання земель міст. Визначені напрями застосування геоінформаційних систем для реалізації стейкхолдерно-орієнтованого підходу до оцінки впливу містобудівних факторів на використання земель міст. Визначена важливість інформаційних технологій, які розроблені на основі геоінформаційних систем, що формують комплексну систему визначення напрямів та особливостей взаємодії між містобудівними, просторовими й інвестиційними факторами.

Ключові слова: містобудівні фактори, використання земель, стейкхолдерно-орієнтований підхід, інформаційні технології, геоінформаційні системи.

К.А. MAMONOV, K.O. METESHKIN, M.O. GREK
O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv

DEVELOPMENT STEYKHOLDERNO-ORIENTED APPROACH TO IMPACT ASSESSMENT OF URBAN PLANNING FACTORS IN LAND USE OF CITIES

In work areas steykholderno development-oriented approach to assess the impact of factors on urban land use cities. The directions for use of GIS implementation steykholderno-based approach to assess the impact of factors on urban land use cities.

Determined importance of information technologies, which are based on geographic information systems which form a complex system for determining trends and characteristics of the interaction between urban development, spatial and investment factors.

Keywords: urban development, factors of land use, steykholderno-centric approach, IT, GIS.

Вступ

Сучасні напрями розвитку міст, неефективне формування їх територій, низька ефективність земельних відносин та містобудівної діяльності потребують переосмислення підходів до оцінки впливу містобудівних факторів на рівень використання земель. У таких умовах особливого значення набуває

розробка та застосування підходу, який базується на визначенні містобудівних факторів, враховує рівень взаємодії між різними групами зацікавлених осіб (стейкхолдерів). У цьому контексті актуальним є питання застосування геоінформаційних систем, як універсального інформаційного інструментарію, що дозволяє комплексно проводити просторовий аналіз.

Для вирішення проблем визначення містобудівних факторів, використання земель міст застосовуються наукові розробки О. Лихогруда [1], Ю. Палехи [2], О. Панухника [3], І. Перович [4], В. Сидоренка [5], А. Третьяка [6] та ін.

Метою статті є розробка стейкхолдерно-орієнтованого підходу до оцінки впливу містобудівних факторів на використання земель міст.

Для досягнення визначеної мети вирішуються наступні завдання:

- запропонувати етапи реалізації стейкхолдерно-орієнтованого підходу до оцінки впливу містобудівних факторів на використання земель міст;
- визначити напрями застосування геоінформаційних систем для реалізації стейкхолдерно-орієнтованого підходу до оцінки впливу містобудівних факторів на використання земель міст.

Експериментальна частина

Для оцінки впливу містобудівних факторів на використання земель міст запропоновано розробити стейкхолдерно-орієнтований підхід, реалізація якого базується на комплексі взаємопов'язаних етапів, які включають:

1. Формування інформаційно-аналітичного забезпечення щодо використання земель міст, враховуючи містобудівні аспекти їх функціонування.
 2. Визначення містобудівних факторів, що впливають на використання земель міст.
 3. Формування багаторівневої системи МФ, що впливають на використання земель міст.
 4. Визначення груп стейкхолдерів, що функціонують у містобудівній сфері і впливають на використання земель міст.
 5. Побудова локальних моделей визначення інтегральних стейкхолдерного та містобудівного критеріїв, що характеризують вплив містобудівних факторів на використання земель.
 6. Визначення інтегрального стейкхолдерно-містобудівного критерію, що характеризує вплив МФ на використання земель міст на основі побудови відповідної узагальнюючої моделі.
 7. Встановлення причинно-наслідкових зв'язків між факторами, що впливають на інтегральний стейкхолдерно-містобудівний критерій, на основі економетричного моделювання.
 8. Розробка методичних рекомендацій щодо зростання ефективності використання земель міст, враховуючи вплив містобудівних факторів та рівень і особливості взаємодії між групами стейкхолдерів.
- У контексті визначених напрямів слід зазначити, що формування інформаційно-аналітичного забезпечення щодо використання земель міст, враховуючи містобудівні аспекти їх функціонування, здійснюється відповідно до нормативно-правових актів, містобудівних та земельних характеристик територій міст. Представлене забезпечення повинно відповідати принципам: повноти, системності, адаптивності, функціональності, доступності, відповідності.

Базуючись на визначених містобудівних факторах, що впливають на використання земель міст, побудована відповідна багаторівнева система, що включає функціональні, інформаційні, інфраструктурні, фактори, що визначають потенціал міста та рівень забудови територій.

Стейкхолдери, що функціонують у містобудівній сфері і впливають на використання земель міст визначаються відповідно груп. Причому, кожна із представлених груп характеризується інтегральним і локальними показниками:

1. Землевласники (S_{lo}): юридичні особи, що володіють земельними ділянками (S_{lo1}), фізичні особи, що володіють земельними ділянками (S_{lo2}).
2. Землекористувачі (S_{lu}): юридичні особи, що використовують земельні ділянки (S_{lu1}), фізичні особи, що використовують земельні ділянки (S_{lu2}).
3. Державні органи влади, що формують і реалізують земельні відносини, містобудівну політику на державному рівні, створюють нормативно-правове забезпечення (S_g): Верховна рада України (S_{g1}), Президент та його адміністрація (S_{g2}), Кабінет міністрів України (S_{g3}), міністерство аграрної політики (S_{g4}), міністерство регіонального розвитку, будівництва і житлово-комунального господарства (S_{g5}), міністерство інфраструктури (S_{g6}), Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру (S_{g7}), фонд державного майна України (S_{g8}).
4. Місцеві органи влади, що формують і реалізують земельні відносини, містобудівну політику на місцевому рівні, визначають нормативно-правове забезпечення, що входить до їх повноважень (S_{gl}): обласна рада (S_{gl1}), обласна адміністрація (S_{gl2}), міська рада (S_{gl3}), міська адміністрація (S_{gl4}), регіональне відділення Державної служби України з питань геодезії, картографії та кадастру (S_{gl5}), регіональне відділення фонду державного майна України (S_{gl6}).
5. Територіальна громада, яка впливає і реалізує право власності на землю, забезпечує функціонування містобудівної сфери (S_{lc}).
6. Фінансові установи (S_{fi}): банківські установи (S_{fi1}), інші фінансові установи, що здійснюють кредитування у сферу земельних відносин і містобудівну діяльність (S_{fi2}).

7. Інвестори, що здійснюють інвестування фінансових ресурсів у сферу використання земельних ресурсів міст та здійснення містобудівної діяльності (S_i): вітчизняні інвестори (S_{i1}), міжнародні інвестори (S_{i2}).

8. Громадські організації, які здійснюють вплив на формування й реалізацію земельної та містобудівної політики на недержавному рівні (S_g).

9. Організації, що реалізують інформаційну політику у сфері земельних відносин і містобудівної діяльності (S_{inf}): мас-медіа (S_{inf1}), організації, що реалізують інформаційну політику через інтернет ресурси (S_{inf2}), інші організації, що реалізують інформаційну політику у сфері земельних відносин і містобудівної діяльності (S_{inf3}).

Побудова локальних моделей визначення інтегральних стейкхолдерного та містобудівного критеріїв, що характеризують вплив містобудівних факторів на використання земель здійснюється відповідно запропонованих вище показників і рангових коефіцієнтів, що характеризують важливість впливу факторів відносно інтегральних критеріїв.

Слід зазначити, що для визначення локальних й інтегральних містобудівних і стейкхолдерних показників застосовується комбінований підхід, який полягає у комбінованому застосуванні аналітичних методів (для визначення рівня забудови території) та методу експертного аналізу. Відповідно до застосування останнього методу, складається відповідні анкети на основі якої визначаються значення кожного із локальних факторів, який впливає на інтегральний критерій. Слід зазначити, що значення локальний факторів визначаються як середні залежно від кількості експертів і отриманих результатів їх опитування.

На основі запропонованої анкети визначаються локальні показники і рангові коефіцієнти, у рамках яких кожному рангу відповідає значення. Зокрема, якщо показник має найвищий ранг, то ранговий коефіцієнт має значення 1, залежно від кількості факторів і визначеному рангу, що впливають на узагальнюючий критерій, представлений коефіцієнт зменшується на відповідний крок. Так, при наявності впливу шести факторів значення рангового коефіцієнту (залежно від рангу) змінюється на 0,16 у проміжку від 0 до 1.

Значення вагових коефіцієнтів, що характеризують вплив локальних факторів на узагальнюючий критерій визначаються методом експертного аналізу шляхом застосування відповідної анкети.

Значення вагових коефіцієнтів варіюються у проміжку від 0 до 1 і визначаються як середні значення від значень експертних оцінок і характеризуються із змінами, які дорівнюють 0,1.

Визначення інтегрального стейкхолдерно-містобудівного критерію (I_{sm}), що характеризує вплив містобудівних факторів на використання земель міст, здійснюється на основі побудованої узагальнюючої моделі:

$$I_{sm} = I_s + I_m, \quad (1)$$

де I_s – інтегральний стейкхолдерний критерій;

I_m – інтегральний містобудівний критерій.

Значення інтегрального стейкхолдерно-містобудівного критерію характеризують відповідний рівень впливу містобудівних факторів на використання земель міст (табл. 1).

Таблиця 1

Значення інтегрального стейкхолдерно-містобудівного критерію, що характеризує вплив містобудівних факторів на використання земель міст

Значення критерію	Рівень
0	відсутній вплив стейкхолдерних і містобудівних факторів
0,01–0,3	низький
0,31–0,6	посередній
0,61–0,9	суттєвий
0,91–1	значний
1,01 і вище	абсолютний

Таким чином, автором запропоновані значення, які може прийняти інтегральний стейкхолдерно-містобудівний критерій, що характеризує вплив містобудівних факторів на використання земель міст. Зокрема, якщо інтегральний критерій дорівнює 0, то це свідчить про відсутність впливу і взаємодії стейкхолдерних і містобудівних факторів. У таких умовах не відбувається містобудівного розвитку, відсутні ринкові умови, де взаємодіють різні групи зацікавлених осіб, використання земель відбувається лише одним землекористувачем.

При низьких значеннях інтегрального критерію, слід вказати на порушення взаємозв'язків між групами стейкхолдерів, можливостями їх впливу на містобудівну діяльність та напрями використання земель міст. Крім того, відсутня комплексна містобудівна політика, яка враховує різноаспектність містобудівного розвитку, який базується на багатофакторності при прийнятті відповідних управлінських рішень.

Посередні значення інтегрального критерію свідчать про потенційні можливості зростання ефективності містобудівної діяльності, поряд з виникненням проблемних аспектів щодо впливу і взаємодії між групами стейкхолдерів і містобудівних факторів на використання земель міст.

Суттєвий рівень значень інтегрального критерію характеризує зростання ефективності містобудівної діяльності, при сформованих умовах щодо взаємодії між групами зацікавлених осіб і врахування комплексу містобудівних факторів. Поряд з цим, деякі стейкхолдерні або містобудівні фактори вносять певні диспропорції, гальмуючи темпи зростання.

Значний рівень значень інтегрального критерію свідчить про містобудівний розвиток, який враховує комплекс містобудівних і стейкхолдерних факторів, що забезпечує ефективність використання земель міст. Проте, цей процес має нестійкі тенденції і потребує перманентних дій для забезпечення ефективного впливу містобудівних і стейкхолдерних факторів на напрями і можливості використання земель.

Абсолютний рівень значень інтегрального стейкхолдерно-містобудівного критерію, що характеризує вплив містобудівних факторів на використання земель міст свідчить про стійкі тенденції містобудівного розвитку, який має комплексний характер і забезпечує зростання ефективності використання земель.

Встановлення причинно-наслідкових зв'язків між факторами, що впливають на інтегральний стейкхолдерно-містобудівний критерій здійснюється основі економетричного моделювання, яке включає наступні етапи:

1. Формування інформаційно-аналітичного забезпечення щодо визначених містобудівних і стейкхолдерних факторів, а також показників, які впливають на використання земель міст.

2. Побудова економетричної моделі впливу факторів на інтегральний стейкхолдерно-містобудівний критерій покроковим підходом, який передбачає покрокове включення найбільш впливових факторів у економетричну модель. При цьому враховуються значення коефіцієнтів парної кореляції, які визначені у відповідній кореляційній матриці. Представлені дії здійснюються до наявності зниження коефіцієнту множинної кореляції від включення наступного фактору.

3. Перевірка побудованої економетричної моделі на основі критеріїв адекватності (коефіцієнт кореляції, детермінації, F-критерій Фішера, t-критерій Стюдента, критерій, що визначають гомо- або гетероскедастичність). Окрім представлених критеріїв, для оцінки адекватності розробленої економетричної моделі застосовується тест на перевірку наявності мультиколінеарності, сутність якої полягає у описі проблеми, коли нестрога лінійна залежність між пояснювальними факторами (x) призводить до отримання ненадійних оцінок регресії [7, с. 150]. Отже, коли два або декілька факторів моделі мають високі значення (від 0,85 до 1) коефіцієнтів кореляції, то відповідно один або декілька факторів виключається із моделі. Значення мультиколінеарності наступні:

коефіцієнт кореляції між факторами приймає значення від 0 до 0,24, то мультиколінеарність – відсутня;

коефіцієнт кореляції визначається значеннями 0,25–0,54, мультиколінеарність – слаба;

коефіцієнт кореляції – 0,55 до 0,84, мультиколінеарність – помірна;

коефіцієнт кореляції – 0,85 до 1, мультиколінеарність – сильна [7, с. 151].

4. Інтерпретація отриманих на основі розробленої економетричної моделі причинно-наслідкових зв'язків між факторами, що впливають на інтегральний стейкхолдерно-містобудівний критерій, який характеризує вплив містобудівних факторів на використання земель міст.

Розробка методичних рекомендацій щодо зростання ефективності використання земель міст здійснюється на основі врахування впливу містобудівних факторів та рівня і особливості взаємодії між групами стейкхолдерів, та отриманих значень інтегрального стейкхолдерно-містобудівного критерію і встановлених причинно-наслідкових зв'язків, що представлені у економетричній моделі.

На важливість застосування геоінформаційних технологій для визначення впливу містобудівних факторів на використання земель міст вказують вітчизняні і закордонні автори. Зокрема, О. Патиченко у системі муніципальних ГІС виділяє містобудівні муніципальні геоінформаційні системи та земельно-інформаційну систему, яка реалізується на основі геоінформаційного моделювання [8]. Аналогічну точку зору щодо застосування методів і моделей геопросторового аналізу для містобудівного розвитку територій та землеустрою розділяють вчені: А. Байдацький [9], О. Білецький [10], І. Журкін [11], О. Костишин [12], Ю. Палеха [13, 14], І. Патракеєв [15], О. Чайка [16].

Висновки

Таким чином, у результаті дослідження запропоновано стейкхолдерно-орієнтований підхід, реалізація якого базується на комплексі взаємопов'язаних етапів, що враховують напрями та особливості впливу містобудівних факторів, взаємодію між групами зацікавлених осіб, які функціонують у сфері земельних відносин міст, економетричне моделювання, що дозволяє розробити методичні рекомендації відносно зростання ефективності використання земель.

Для реалізації стейкхолдерно-орієнтованого підходу застосовуються інформаційні технології, які розроблені на основі геоінформаційних систем, що формують комплексну систему визначення напрямів та особливостей взаємодії між містобудівними, просторовими й інвестиційними факторами.

Література

1. Лихогруд О. М. Наукові підходи до визначення цінності земельних ресурсів містобудівних систем у ринкових умовах [Електронний ресурс] / О. М. Лихогруд. – Режим доступу :

http://www.agrosvit.info/pdf/6_2016/13.pdf.

2. Палеха Ю. М. Теорія і практика визначення вартості територій і оцінки земель населених пунктів України (економіко-географічне дослідження) : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. геогр. наук: спец. 11.00.02 «Економічна та соціальна географія» / Ю. М. Палеха. – К. : Національна академія наук України. Інститут географії. 2009. – 39 с.

3. Панухник О. Містобудування в адміністративному районі: модернізаційно-управлінський аспект. [Електронний ресурс] / О. Панухник. – Режим доступу : <http://visnyk.academy.gov.ua/wp-content/uploads/2013/11/2013-2-16.pdf>.

4. Перович І. Л. Економіко-математичний підхід до оцінки землі населених пунктів на основі їх функціонально-планувальної структури [Електронний ресурс] / І. Л. Перович, Л. В. Винарчик. Геодезія, картографія і аерофотознімання. 2013. – Вип. 78. – Режим доступу : <https://www.google.com.ua/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjwr>

5. Сидоренко В. Д. Аналіз використання спеціалізованих програмних комплексів для вирішення питань грошової оцінки земель у Кривому Розі [Електронний ресурс] / В. Д. Сидоренко, А. Ю. Паламар. – Режим доступу : <http://knu.edu.ua/Files/Gn96/25.pdf>.

6. Третьак А. М. Землепорядне проектування: теоретичні основи і територіальний землеустрій / А. М. Третьак. – К. : Вища освіта, 2006. – 528 с.

7. Мамонов К. А. Економіко-математичне моделювання (модульний варіант) : навч. посіб. / К. А. Мамонов, Б. Г. Скоков, С. Я. Політучий / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х. : ХНАМГ, 2009. – 226 с.

8. Патиченко О. М. Тематичні карти в нормативній грошовій оцінці земель населених пунктів [Електронний ресурс] / О. М. Патиченко. – Режим доступу : http://dipromisto.gov.ua/files/Publications/Patychenko_Article.pdf.

9. Байдацький А. Й. Геоінформаційні системи, застосування GIS Геопроект при автоматизованих зйомках територій [Електронний ресурс] / А. Й. Байдацький. – Режим доступу : <http://npcz-rivne.ucoz.ua/Text2009/Olimpiadu/222/Nem1.pdf>.

10. Білецький Б.О. Деякі аспекти інтеграції ГІС-додатків для систем підтримки прийняття рішень / Б.О. Білецький // Матеріали VI міжнар. наук-практ. конф. “ГІС-форум.2006”. – Київ, 2006. – С. 235–238.

11. Журкин И.Г. Геоинформационные системы / И.Г. Журкин, С.В. Шайтура. – М. : Кудиц-прес, 2009. – 272 с.

12. Костишин О. Планування та забудова населених пунктів із застосуванням геоінформаційних технологій [Електронний ресурс] / О. Костишин. – Режим доступу : http://archive.nbuv.gov.ua/portal/Chem_Biol/Vldau/Zem/2009/files/09kooogt.pdf.

13. Палеха Ю. Н. Применение ГИС-технологий в градостроительных проектах на государственном и региональном уровнях / Ю. Н. Палеха, А. В. Олещенко, И. В. Соломаха // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. География. – 2012. – 25 (64). – № 1. – С. 155–166.

14. Палеха Ю. Н. Развитие градостроительных ГИС в Украине на современном этапе / Ю. Н. Палеха // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского. География. – 2010. – 23 (62). – № 2 – С. 214–221.

15. Патракеєв І. М. Геоінформаційний моніторинг як засіб міждисциплінарного переносу знань / І. М. Патракеєв, В. В. Зіборов, Н. Ю. Зазоренко-Гевель // Містобудування та територіальне планування: наук.-техн. збірник / відпов. ред. М. М. Осетрин. – К. : КНУБА, 2016. – Вип. 62. Частина 1. – С. 469–476.

16. Чайка О. Г. Використання ГІС технологій у державному та муніципальному управлінні земельними ресурсами України / О. Г. Чайка // ГІС-форум 2006. – К. : КНУБА, 2006. – С. 40–44.

Отримана/Received : 20.4.2017 р. Надрукована/Printed : 11.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Лінник І.Е.

АПАРАТНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БІОМЕТРІЇ ОКА ПРИ ХІРУРГІЇ КАТАРАКТИ

В роботі зроблено огляд апаратних засобів для передопераційної біометрії ока при лікуванні катаракти. Розглянуто принципи дії приладів для вимірювання кривизни поверхні рогівки методом кератотопографії, геометричної осьової довжини передньої камери і довжини ока методами ультразвукової локації та оптичної томографії, переваги та недоліки цих методів, обмеження їх застосування. Для підвищення точності визначення оптичної сили інтраокулярної лінзи запропоновано спосіб відтворення геометричних параметрів ока після видалення кришталика під час хірургії катаракти.

Ключові слова: передопераційна біометрія ока, біометрія афакічного ока, оптична сила інтраокулярної лінзи.

I.G. CHYZH, Y.V. KOPYLOV, V.E. MYRONOVYCH

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

EYE'S BIOMETRIC HARDWARE OF CATARACT SURGERY

This paper reviews the hardware for preoperative biometry of the eye in the treatment of cataracts. The principles of action devices for measuring the curvature of the corneal surface by keratotopography, geometric axial length of the anterior chamber of the eye and the length of ultrasonic location method and optical imaging, the advantages and disadvantages of these methods, limiting their use. To increase the accuracy of optical power IOL lens provides a method of reproduction geometric parameters of the eye after removal of the lens during cataract surgery.

Keywords: preoperative biometrics, biometrics aphakia of eye, optical power IOL.

Вступ

Катаракта – помутніння кришталика – поширена патологія ока у людей похилого віку, яка може призводити до повної втрати зору. Лікування катаракти хірургічне. Воно передбачає видалення патологічного кришталика та імплантацію штучного – інтраокулярної лінзи (ІОЛ). Око з імплантованою ІОЛ втрачає акомодативну здатність. Тому перед імплантацією виконується відповідальний етап – визначається оптична сила ІОЛ, яка забезпечить оку еметропію, або по бажанню пацієнта невелику короткозорість для спостережень без окулярів об'єктів, що знаходяться на невеликій відстані від ока. Похибки визначення оптичної сили ($\Phi_{\text{ІОЛ}}$) імплантованої ІОЛ мають негативні наслідки для пацієнта, що призводять до необхідності використання однієї чи декількох пар окулярів, а іноді і до появи анізейконії – неоднакових за розмірами зображень одного і того ж об'єкта на сітківках правого та лівого ока. Тому з часів впровадження у клінічну практику імплантації штучних кришталиків в око з потреб цієї практики почали розроблятися апаратні засоби, функція яких полягала у здійсненні передопераційної біометрії ока і отриманні даних для визначення потрібної оптичної сили ІОЛ, а саме:

R – радіусу поверхні рогівки, а якщо він не є однаковим у різних перетинах рогівки, то максимального і мінімального значення радіуса, а також кутового розташування головного перетину рогівки, де радіус є мінімальним;

L – довжини ока (передне-задній відрізок) як відстані між поверхнею рогівки і сітківкою вздовж візуальної осі ока;

C – глибини передньої камери – відстані між поверхнею рогівки і кришталиком.

На цей час створено достатню кількість апаратури, яка дозволяє отримувати біометричні передопераційні дані з використанням для цього сучасних досягнень науки, техніки та технології. Проте й досі не рідкі є невдалий результат імплантації ІОЛ із різних причин, в тому числі і через похибки біометрії [1, 2].

Тому подальше вдосконалення методів біометрії ока та їх апаратного забезпечення залишається актуальною задачею.

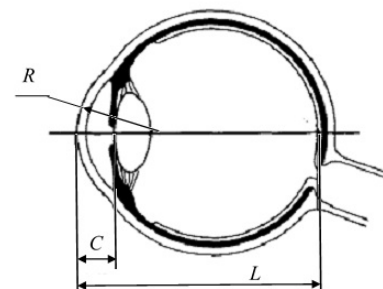


Рис. 1. Схема ока людини з відрізками R , C , L

Постановка задачі

Вирішення проблеми точного визначення оптичної сили інтраокулярної лінзи, що імплантується в око конкретного пацієнта з гарантованим забезпеченням планової післяопераційної рефракції, потребує аналізу переваг і недоліків методів вимірювань біометричних параметрів, умов їх використання, факторів, що перешкоджають досягненню планових результатів. Це дозволить критично оцінити традиційні підходи щодо підготовки імплантації ІОЛ і запропонувати інші. Метою є розробка нового методу визначення $\Phi_{\text{ІОЛ}}$ ІОЛ, який повинен бути вільним від недоліків попередніх.

Методи вимірювань параметрів R , L , C

Вимірювання радіусу поверхні рогівки R . Найбільший обсяг інформації про форму поверхні рогівки, а точніше відхилень її від сфери, надає метод кератотопографії, якій реалізовано у багатьох

вимірювальних офтальмологічних приладах [3]. Суть його полягає в тому, що перед оком встановлюється об'єкт з елементами правильної геометричної форми, наприклад випромінюючі концентричні кільця. Аналізується віддзеркалене від поверхні рогівки зображення такого об'єкту. Математична обробка зображення з виявленням геометричних параметрів зображення та його спотворень дозволяє відтворити топографію поверхні рогівки. Такі дані про форму поверхні рогівки можна отримати за допомогою сучасного кератотопографа, спрощена схема якого показана на рис. 2.

Перед оком на строго визначеній відстані встановлюється екран з кільцями Пласідо, рис. 2а.

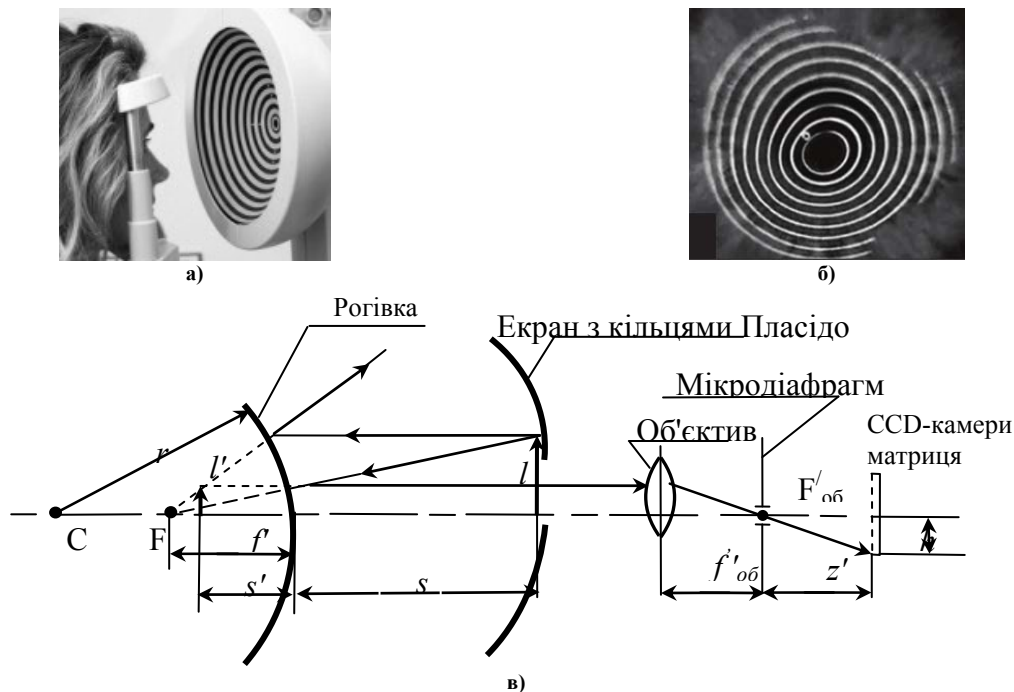


Рис. 2. Схема до пояснення дії сучасних вимірювачів параметрів геометричної форми поверхні рогівки – радіусу кривизни, сферо-циліндричності та ін.: а) екран з кільцями Пласідо, встановлений перед оком пацієнта; б) дзеркальне рогівкове зображення кілець Пласідо, зареєстроване CCD-камерою; в) оптична схема приладу для відтворення топографії поверхні рогівки за допомогою кератотопографа

Промінь, що прямує від наперед визначеної ділянки конкретного кільця Пласідо з радіусом l у напрямку дзеркального фокусу F передньої поверхні рогівки, відбивається від неї і прямує у зворотному напрямку паралельно оптичній осі рогівки та оптичній осі об'єктива. Далі він проходить через задній фокус $F'_{об}$ об'єктива і потрапляє на поверхню фотоприймача зображень (матрицю CCD-камери). Телевізійна камера, що підключена до комп'ютера, дозволяє зареєструвати зображення кілець Пласідо, сформоване рогівкою як опуклим сферичним дзеркалом, рис. 2б. По ідентифікованому зображенню ділянки кільця Пласідо визначається відстань h , а потім за формулою (1) розраховується радіус кривизни поверхні рогівки у точці, де відбивається промінь. Виділити промінь, вказаний на рис. 2в, дозволяє мікродіафрагма, розташована у фокусі об'єктива.

$$r = \frac{2s}{\frac{lz'}{hf'_{об}} - 1} \quad (1)$$

Якщо поверхня рогівки не має сферичної форми чи осьової симетрії, то зображення кілець Пласідо має вигляд деформованих децентрованих кілець, рис. 2б. Відповідна математична обробка отриманого зображення дозволяє виявити тороїдальність рогівки, яка призводить до астигматизму – аберації, що суттєво впливає на гостроту зору, зменшуючи її, і яку можна виправити підбором спеціальних сфероциліндричних інтраокулярних лінз.

Вимірювання параметрів C , L . Довжина передньої камери C та осьова довжина ока (задне-передній відрізок) вимірюються методом ультразвукової ехолокації або методом когерентної оптичної томографії.

Ультразвукова ехолокація

Ультразвук (УЗ) – механічні коливання з частотою більшою за 20 КГц. Для медичної діагностики використовуються коливання з частотою 0.8-10 МГц. Швидкість розповсюдження УЗ-хвиль у повітрі ≈ 340 м/с, а у воді та м'яких тканинах ≈ 1500 м/с, тому довжина вказаних хвиль у тканинах людини знаходиться в діапазоні (1.9 – 0.15) мм і можуть відбиватися від мікронеоднорідностей з такими ж розмірами [4].

Кожне середовище має свій хвильовий опір. Якщо два середовища мають опір R_1 та R_2 відповідно, то при відношенні $R_1/R_2=0$ перехід УЗ-хвилі з першого середовища в друге неможливий, що призводить до повного відбиття хвилі. При переході УЗ-хвилі із повітря у тіло рогівки відбиття становить майже 99.9%,

тому з повітря, тобто безконтактно, в око УЗ-хвилі практично не потрапляють. У зв'язку з цим ультразвуковий випромінювач притискається до рогівки через спеціальне желе для видалення повітряного проміжку між випромінювачем УЗ-хвилі та рогівкою.

На межі розділу середовищ, що відрізняються хоч трохи хвильовим опором, відбувається відбиття УЗ-хвилі. Її можна зареєструвати як відлуння від вказаної межі. Для цього слугують ультразвукові сканери. На рис. 3 показані сигнали-відлуння від поверхонь рогівки, кришталика та сітківки.

При відомій швидкості розповсюдження УЗ-хвилі часові інтервали між відлуннями дозволяють визначати довжину окремих ділянок ока, наприклад вздовж візуальної осі, що називається ультразвуковим А-скануванням. При середній швидкості розповсюдження імпульсу УЗ-хвилі в середовищах ока 1500 м/с відлуння від сітківки при довжині ока 25 мм надходить у А-сканер через 33 мікросекунди. За цей інтервал часу око не змінює свого положення через тремор, що сприяє точності біометрії.

Перевагою УЗ-сканування ока є те, що воно дозволяє здійснювати сканування ока від рогівки до сітківки при непрозорому кришталику, враженому катарактою. Але у цього методу все ж є свій недолік – це потреба забезпечення механічного контакту випромінювача А-сканера із рогівкою, див. рис. 3.

Притискання приладу до рогівки може призводити до недопустимих похибок вимірювання довжини передньої камери (С) та передне-заднього відрізка (L) [6, 7]. Наприклад, осьова деформація рогівки на 1 мм від притискання ультразвукового А-сканера викликає похибку вимірювання параметрів L і C , що набагато перевищує похибку самого ультразвукового сканера. Ще одним фактором, який зменшує точність ультразвукового методу, є відсутність точних апіорних даних про швидкість УЗ-хвилі у конкретних середовищах ока конкретної людини [1].

Оптична когерентна томографія ока по своїй суті аналогічна акустичній локації. Але світло розповсюджується в оптичних середовищах ока із швидкістю, яка майже у 150 тисяч раз є більшою швидкості акустичних хвиль. Тому інтервал часу для проходження світла від поверхні рогівки до сітківки і в зворотному напрямку складає приблизно $2.2 \cdot 10^{-12}$ С, виміряти який з потрібною точністю поки що технічно неможливо. Вирішити проблему вдається методами інтерферометрії і томографії [8, 9]. Ці методи дозволяють здійснювати вимірювання C , L та інших відрізків за допомогою схем двопробневих інтерферометрів з використанням в них випромінювачів світла з низькою позовдовжньою просторовою когерентністю.

На рис.4 показано спрощену схему оптичного вимірювача відрізків C , L . Він має у своєму складі джерело світла з коліматором, інтерферометр Майкельсона з референтним рухомих дзеркалом, фотоприймач з аналізатором електричного сигналу, підключений до комп'ютера. Випромінювач в цьому вимірювачі повинен генерувати світло з низькою позовдовжньою просторовою когерентністю, довжина якої повинна бути на рівні допустимої похибки вимірювання вказаних відрізків – десятих і навіть сотих часток міліметра. Світлоділник відбиває частину світлового потоку в бік референтного дзеркала, а іншу частину направляє в око пацієнта. Відбиті від референтного дзеркала світлові хвилі і ті, що відбиваються від оптичних поверхонь ока, утворюють в зоні фотоприймача рухому інтерференційну картину, що перетворюється одноелементним фотоприймачем у відповідний електричний сигнал. В той момент, коли оптична довжина шляху від референтного дзеркала до фотоприймача дорівнює оптичній довжині шляху від окремої поверхні ока до фотоприймача, інтерференційна картина із нестаціонарної перетворюється у стаціонарну завдяки когерентності цих двох хвиль. На виході фотоприймача спостерігається імпульсне зростання амплітуди гармонічного сигналу, рис.4. Якщо референтне дзеркало має стабільну швидкість переміщення вздовж осі – V , то доплерівська частота цього гармонічного сигналу ν визначається за формулою $\nu = \frac{2V}{\lambda}$, де λ – довжина світлової хвилі. В

зареєстрованому на цій гетеродинній частоті сигналу, може бути виявлено присутність відлуння від різних оптичних поверхонь ока, на яких змінюється показник заломлення чи спостерігається розсіювання світла, рис. 4.

Положення дзеркала вздовж осі – координата Z_{ref} , при якому спостерігається перше зростання

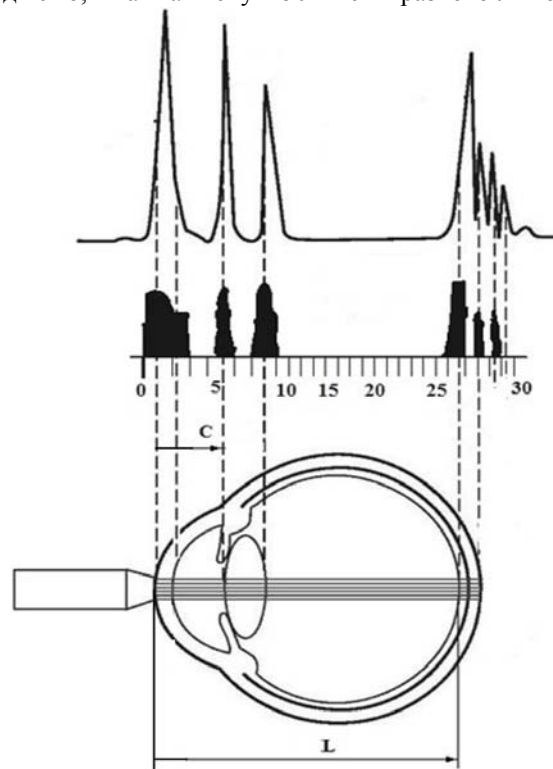


Рис. 3. Ультразвукова ехолокація ока з метою вимірювання відрізків C , L

амплітуди гармонічного сигналу завдяки відбиттю світла від передньої поверхні рогівки, слугує початком вимірювання відрізків C , L та інших.

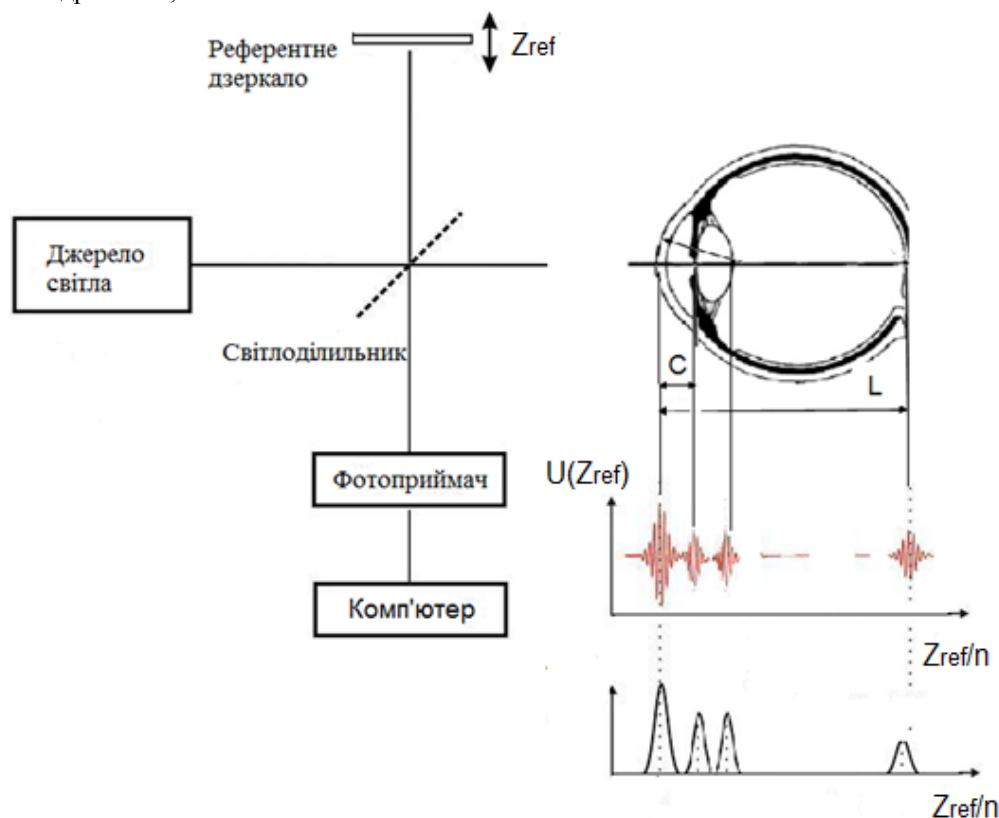


Рис. 4. Низькокогерентна томографія оптичної системи ока з метою вимірювання відрізків C , L

При визначенні довжини відрізків C, L потрібно виміряну їх оптичну довжину перевести у геометричну, поділивши відповідні значення оптичної довжини на показник заломлення n оптичних середовищ ока.

Потенційні можливості методу, щодо точності визначення відрізків C , L та інших, обмежуються поздовжньою просторовою когерентністю випромінювання [10, 11]. При використанні суперлюмінесцентних світлодіодів можна досягти поздовжньої роздільної здатності методу у декілька мікронів, яку виробники таких приладів видають за похибку вимірювання відрізків. Проте систематичні та випадкові помилки вимірювань цих відрізків можуть бути значно більшими тільки через відсутність точних апіорних даних про розподіл показника заломлення середовищ ока вздовж ліній сканування. До того ж можливості методу є обмеженими при втраті прозорості рогівки, щільних заднекапсулярних катарактах, помутніннях скловидного тіла, макулярних патологіях та ін. [12].

На цей час розроблено достатню кількість приладів для передопераційної біометрії ока. В таблиці наведені дані про деякі з них.

Таблиця 1

Прилади для передопераційної біометрії ока

Назва приладу	Виробник	Зовнішній вигляд приладу	Параметри ока, що вимірюються
1	2	3	4
Lenstar LS 900	Haag-Streit (Швейцарія)		1–7 з використанням технології Optical Low Coherence Reflectometry (OLCR)
AL-100	Tomek (Японія)		3–5, 7

Продовження табл. 1

1	2	3	4
AL Scan	NIDEK (Японія)		1, 3, 5, 7
Bioline	OPTIKON (Італія)		1, 3, 5, 7
IOL Master 500	Zeiss (Німеччина)		1, 3, 5, 7
IOL Master 700	Zeiss (Німеччина)		1, 3, 5, 7 з технологією SweptSource оптичної когерентної томографії
Alladin	Topcon (Японія)		1, 3, 5–7
ORA™ System	Алкон (США)		1, 3, 5, 7 + аберація оптичної системи ока після видалення кришталика

Параметри ока, що відтворюються приладами: 1 – радіуси кривизни рогівки (R), 2 – товщина рогівки (пахіметрія), 3 – глибина передньої камери (C), 4 – осьова товщина кришталика, 5 – довжина осі (L), 6 – діаметр радужки, 7 – розрахунок оптичної сили ІОЛ, що підлягає імплантації в око пацієнта.

Незважаючи на велику кількість досконалої біометричної апаратури, яка використовується для вимірювань біометричних параметрів ока пацієнта, результати визначення потрібної оптичної сили $\Phi_{\text{ІОЛ}}$ інтраокулярної лінзи (ІОЛ), що підлягає імплантації в око конкретного пацієнта, не завжди є задовільними [13, 14]. Так доволі часто післяопераційна рефракція ока пацієнта відхиляється від запланованою більш ніж на одну діоптрію, а буває і до трьох-п'яти діоптрій при допустимій ± 0.5 дптр і навіть ± 0.25 дптр (відповідно існуючому кроку зміни значень $\Phi_{\text{ІОЛ}}$ інтраокулярних лінз, що виробляються). Аналіз причини цього явища показує, що існує декілька діючих факторів – обмежена фактична точність біометричних вимірювань, обмежені можливості прогнозування точного розміщення ІОЛ в оці пацієнта після імплантації, похибки самих формул розрахунків $\Phi_{\text{ІОЛ}}$ ІОЛ на основі біометричних даних, зміни геометричних параметрів ока після видалення кришталика і заповнення передньої камери і кришталікового міхура рідиною для підтримки потрібного тиску в оці. Останнє може призводити до істотних розбіжностей між виміряними перед операцією значеннями геометричних параметрів ока (за допомогою яких розраховується Р ІОЛ) і фактичними значеннями цих же параметрів, які вони отримали після хірургічного втручання в око. Останній з перелічених факторів може переважати над іншими, тому на фірмі Алкон (США) реалізовано спробу доповнити офтальмологічний хірургічний мікроскоп вимірювачем хвильової аберації ока, що дозволяє здійснити аберацію ока в момент після видалення кришталика (прилад ORA™ System), [15]. За задумом авторів аераметрія афакічного ока повинна була виявити ті величини

дефокусу, осьових аберацій, первинного астигматизму та інших абераційних мод, які б дозволили більш точно визначати значення R та більш точно виправляти астигматизм. Однак використання цього приладу поки що не призвело до очікуваного суттєвого позитивного результату. Це можна пояснити істотним впливом на результати aberометрії умов її здійснення і фізичного стану ока. Під час проведення операції ці умови є далекими від потрібних, що призводить до збільшення похибок aberометрії. Наслідком можуть стати додаткові похибки післяопераційної рефракції ока. Крім того ринкова ціна апарату ORA™ System перевищує 100 тисяч доларів. Така ціна робить його недоступним для переважної більшості офтальмологічних клінік.

Нами пропонується більш простий в технічній реалізації метод визначення біометричних параметрів ока в момент після капсулорексису та факоемульсіфікації катаракти, принцип дії якого пояснюється за допомогою рис. 5.

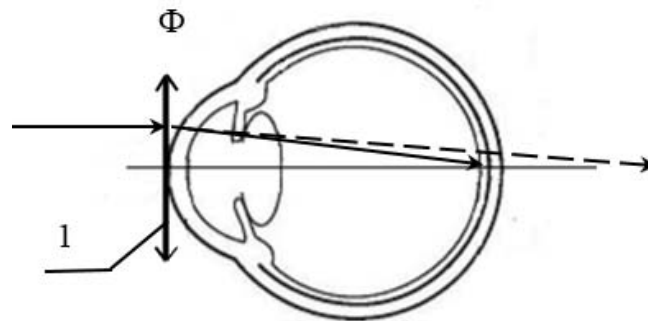


Рис. 5. До визначення осьової довжини ока та оптичної сили ІОЛ: 1 – головні площини варіокомпонента, Φ – оптична сила варіокомпонента

За допомогою спеціальної оптичної системи до передньої поверхні рогівки безконтактно впритул підводяться головні площини варіокомпонента, який може плавно змінювати оптичну силу $\Phi_{\text{ІОЛ}}$ в діапазоні від нуля до + 15 дптр. В оптичній системі ока після видалення кришталика, задній фокус опиняється далеко за сітківкою (на рис.5 показано штриховою лінією). Змінюючи оптичну силу варіокомпонента досягають того значення $\Phi = \Phi_{\text{var}}$, при якому фокус переміщується на сітківку і пацієнт через апарат чітко бачить об'єкт, віддалений на нескінченність. Факт досягнення вказаного значення Φ_{var} може встановлюватися як у автоматичному режимі об'єктивним методом, так і за участю самого пацієнта (суб'єктивним методом), який сам фіксує момент найкращої гостроти свого зору.

Знайдене у такий спосіб значення Φ_{var} дозволяє визначити за формулою (2) осьову довжину ока L , яку око отримує після видалення кришталика:

$$L = \frac{n'R f'_{\text{var}}}{R + (n' - 1)f'_{\text{var}}}, \quad (2)$$

де R – середнє значення радіусу передньої поверхні рогівки, що отримує око після видалення кришталика і заповнення ока рідиною (вимірюється тим же апаратним засобом);

$f'_{\text{var}} = \Phi_{\text{var}}^{-1}$ – фокусна відстань варіокомпонента; n' – коефіцієнт заломлення рідини, яка введена в око, цей коефіцієнт наближений до коефіцієнту фізрозчину чи природної вологи передньої камери ока.

При цьому відпадає потреба у кератометрії чи кератотопографії (рис.1), ультразвукового А-сканування ока (рис.3) чи оптичної когерентної томографії ока (рис.4), які під час проведення хірургії катаракти існуючими апаратними засобами здійснити практично неможливо.

Вимірюючи відстань від передньої поверхні рогівки до скловидного тіла, що здійснюється почерговим наведенням хірургічного мікроскопа на обидві вказані поверхні, і визначивши місце розташування в оці інтраокулярної лінзи (відрізок $C_{\text{ІОЛ}}$ – відстань від передньої поверхні рогівки до передньої головної площини ІОЛ), можна за формулою (3) розрахувати потрібну задню фокусну відстань інтраокулярної лінзи $f'_{\text{ІОЛ}}$, а за формулою (4) – її оптичну силу $\Phi_{\text{ІОЛ}}$ у діоптріях в середовищах ока:

$$f'_{\text{ІОЛ}} = \frac{(L - C_{\text{ІОЛ}})(f'_k - C_{\text{ІОЛ}})}{f'_k - L}, \quad (3)$$

де $f'_k = \frac{n'R}{n' - 1}$ – задня фокусна відстань передньої поверхні рогівки,

$$\Phi_{\text{ІОЛ}}[\text{dntpr}] = \frac{1000n'}{f'_{\text{ІОЛ}}}. \quad (4)$$

Коректність формул (2)–(4) була перевірена методом комп'ютерного моделювання процедури визначення довжини ока та потрібної оптичної сили імплантованої ІОЛ. Для цього була використана аризонська модель ока [16] та програма ZEMAX. Із моделі ока був видалений кришталик, до рогівки

впритул був встановлений параксіал-компонент. За допомогою оптимізатора ZEMAX визначено значення f'_{var} параксіал-компонента, при якому зображення точки, віддаленої на нескінченність, знаходилося на сітківці моделі ока. Після цього за формулою (2) було розраховано довжину L моделі ока вздовж осі, визначено положення ІОЛ, на це місце встановлено параксіал-компонент, шляхом оптимізації в ZEMAX знайдено його оптичну силу і це значення порівняно із результатом розрахунку оптичної сили ІОЛ за формулами (3) та (4). Розбіжність між значенням оптичної сили ІОЛ, знайденим методом комп'ютерного моделювання і за формулами (2) – (4) виявилася такою, при якій відхилення рефракційного стану моделі ока із «імплантованою» ІОЛ, розрахованою за вказаними формулами, відрізнялося від планового еметропічного стану не більше ніж на 0.12 дптр. Встановлена похибка свідчить про коректність способу визначення Р ІОЛ і вказує на можливість його використання під час хірургії катаракти.

Висновки

1. Існуюче високотехнологічне апаратне забезпечення передопераційної біометрії ока не гарантує відсутність похибок визначення оптичної сили імплантованої ІОЛ, що призводить до недопустимих похибок післяопераційної рефракції ока пацієнта, які можуть бути обумовленими зміною геометричних і оптичних параметрів оптичної системи ока, як результат хірургічного втручання.

2. Підвищення точності визначення оптичної сили ІОЛ можна забезпечити проведенням додаткової біометрії ока після видалення кришталика і заповнення ока допоміжною рідиною, для чого пропонується спосіб безконтактної рефрактометрії «редукованого» ока пацієнта.

3. Подальші роботи по впровадженню способу у клінічну практику повинні бути спрямовані на розробку апаратного засобу, який дозволить здійснювати додаткову біометрію ока в процесі проведення хірургічного лікування.

Література

1. Сергиенко Н.М. Офтальмологическая оптика / Сергиенко Н.М. – Киев : Кафедра офтальмологии НМАПО им. П.Л. Шупика, 2015. – 264 с.
2. Olsen T. Sources of error in intraocular lenspower calculation. J. CataractRefract. Surg. 1992; 18: P. 125–129.
3. <http://www.vseoglazah.ru/eye-exams/corneal-topography/>
4. Федорова В.Н. Медицинская и биологическая физика. Курс лекций с задачами : учеб.пособие / В.Н. Федорова, Е.В. Фаустов. – 2008. – 592 с.
5. Huang H., Ding X., Yang X. Desktop auxiliary app-aratus for A-scan ultrasound: Repitability and validity / J. Cataract Refract. Surg. 2012; 38: 97–101 p.
6. Findi O., Kriechbaum K., Sacu S. et al Influence of operator experience on the performance of ultrasound biometry before cataract surgery / G. Cataract Refract. Surg. 2003; 29: 1950–1955.
7. Olsen T. Nielsen P. J. Immersion versus contact technique in the measurement of axial length by ultrasound. ActaOphthalmol (Copenh) 1989; 67: 101–102.
8. Haigis W. Optical biometry using partial coherence interferometry. In: Shammas HJ, ed, Intraocular Lens Power Calculations. Thorofare, NG, Slack: 2004; 141–157. Citing.
9. Shen P., Zheng Y., Ding X., et al. Biometric measurements in highly myopic eyes / G. Cataract Refract. Surg. 2013; 39: 180–187.
10. Гуров И.П. Оптическая когерентная томография: принципы, проблемы и перспективы. Проблемы когерентной и нелинейной оптики / под ред. С.А. Козлова, И.П. Гурова. – СПб : СПб ГУ ИТМО, 2008. – С. 6–30.
11. Оптическая низкокогерентная интерферометрия и томография : учебное пособие ; под редакцией Рябухо В.П. – Саратов, 2009.
12. Packer M., Fine H., Hoffman R.S. et al. Immersion A-scan compared with partial coherence interferometry / G. Cataract Refract. Surg. 2002; 28: 239–242.
13. Mamalis N., Brubaker J., Davis D., et al. Complications of foldable intraocular lenses requiring explanation or secondary intervention / G. Cataract Refract. Surg. 2008; 34: 1584–1591.
14. MacLarenR.E. SagooM., etal. Biometry accuracy using zero- and negative-pewered intraocular lenses / G. Cataract Refract. Surg. 2005;31: 280–290.
15. <http://www.myalcon.com/products/surgical/ora-system/>
16. Сокурено В.М. Око людини та офтальмологічні прилади / Сокурено В.М., Тимчик Г.С., Чиж І.Г. Київ : ВПК «Політехніка», 2009. – 264 с.

Отримана/Received : 24.4.2017 р. Надрукована/Printed :9.6.2017 р.

Рецензент: проф. Тимчик Г.С.

ВИЗНАЧЕННЯ ТИПІВ КРОКОВИХ ПРИРОСТІВ ДЛЯ ПОБУДОВИ КОЛА НА ГЕКСАГОНАЛЬНОМУ РАСТРІ

Запропоновано типи крокових приростів для побудови кола на гексагональному растрі. Показано залежність вибору крокових приростів від октанту, в якому інтерполюється дуга кола.

Ключові слова: гексагональний растр, піксел, оцінювальна функція.

OLEKSANDR ROMANYK, OLEKSANDR MELNYK, IHOR ABRAMCHUK
Vinnytsia National Technical University

STEPPING TO DETERMINE THE TYPES INCREMENT FOR BUILDING CIRCLES ON THE HEXAGONAL RASTER

The problem of determining the types of stepping increments for constructing a circle when displayed on the screen, which includes a hexagonal pixels. Type Stepper increases proposed for constructing a circle on a hexagonal grid. The dependence of the choice of stepping increments sector which interpolates the arc of the circle. In discrete space is always some alternative choices dots that form the stepping trajectory. For maximum accuracy is selected from a set of points of the point, which is located closest to the ideal (continual) primitive. The paper defines types stepping increments for circle interpolation on a hexagonal grid.

Keywords: hexagonal raster, pixel, evaluation function.

Вступ

Для побудови графічних зображень використовують графічні примітиви. Найбільш поширеними є такі примітиви [1]: вектор (відрізок прямої), коло, еліпс. Оскільки графічні примітиви формуються в дискретному просторі (екранній системі координат), то траєкторія замінюється набором точок, які територіально розміщені ближче до ідеальної траєкторії. У дискретному просторі завжди є кілька альтернативних варіантів вибору точок, які формують крокову траєкторію. Для забезпечення максимальної точності вибирають із набору точок ту точку, яка найближче розміщена до ідеального (неперервного) примітиву.

Ставиться задача визначення типів крокових приростів для побудови кола при відображенні на екрані, який включає гексагональні пікселі.

Аналіз досліджень та публікацій

Коло відноситься до графічних примітивів, які мають найбільшу з усіх питому вагу [1]. Найпоширенішим на сьогодні є використання для формування зображень квадратного растра, особливість якого полягає у розміщенні точок на екрані, які розташовані на однаковій відстані одна від одної. Зрозуміло, що при збільшенні роздільної здатності екрану якість формування кола зростає.

Для формування кіл найбільш поширеним є метод оцінювальної функції [3]. Згідно з методом траєкторія кола формується на основі деякої функції, знак якої визначає розміщення траєкторії до кола. Коли оцінювальна функція менше нуля, то крокова траєкторія знаходиться всередині кола, яке треба формувати. При розміщенні крокової траєкторії за колом оцінювальна функція більша нуля. Якщо ж оцінювальна функція дорівнює нулю, то точка траєкторії знаходиться на колі.

Всі алгоритми оцінювальної функції для побудови кола основані на зміні оцінювальної функції таким чином, щоб знак оцінювальної функції змінився на протилежний. Максимальна похибка при інтерполяції кола не перевищує пів кроку дискретизації (рис. 1).

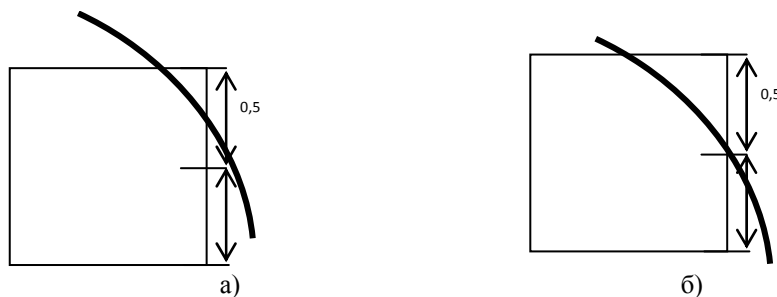


Рис. 1. Похибка 0,5 кроку при інтерполяції кола

У даному випадку при перетині колом дискретної решітки на відстані 0,5 дискрети вибирають ту, відстань до якої не перевищує вказану величину [3].

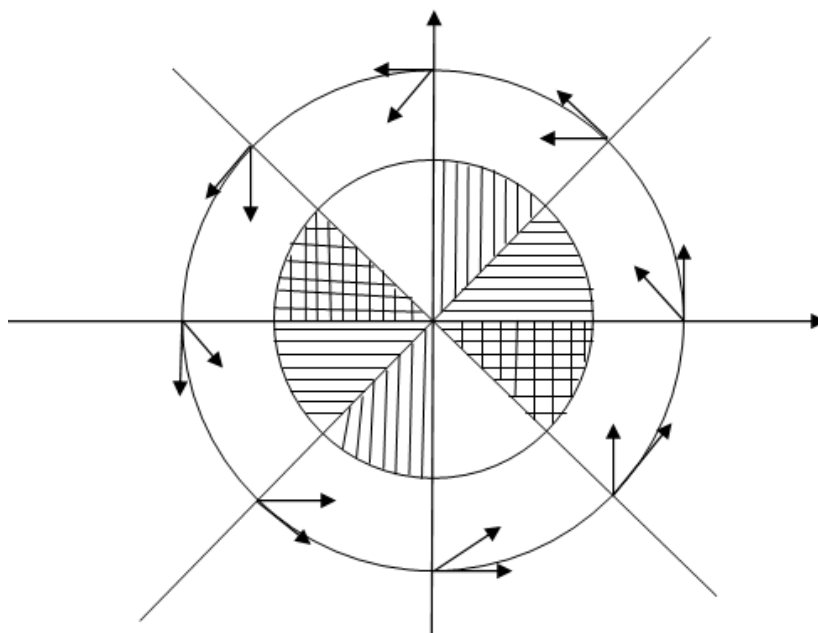


Рис. 2. Типи кроків для формування кола

Доведено, що для формування кола з максимальною точністю використовують горизонтальні, вертикальні, діагональні кроки [1, 3] (рис. 2). При використанні тільки горизонтальних і вертикальних кроків максимальна похибка може досягати відстані 1 дискрети.

На гексагональному растрі відстані на екрані між горизонтальними та вертикальними пікселями різні [2] (рис. 3).

Мета роботи – визначення типів крокових приростів при формуванні кола з максимальною точністю на гексагональному растрі.

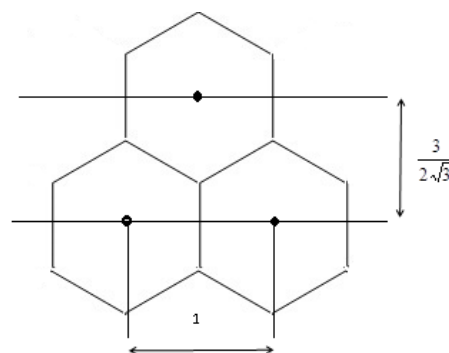


Рис. 3. Відстані між пікселями на гексагональному растрі

Визначення типів крокових приростів при формуванні кіл на гексагональному растрі

Визначимо типи крокових приростів залежно від ділянок екрану (екранної системи координат).

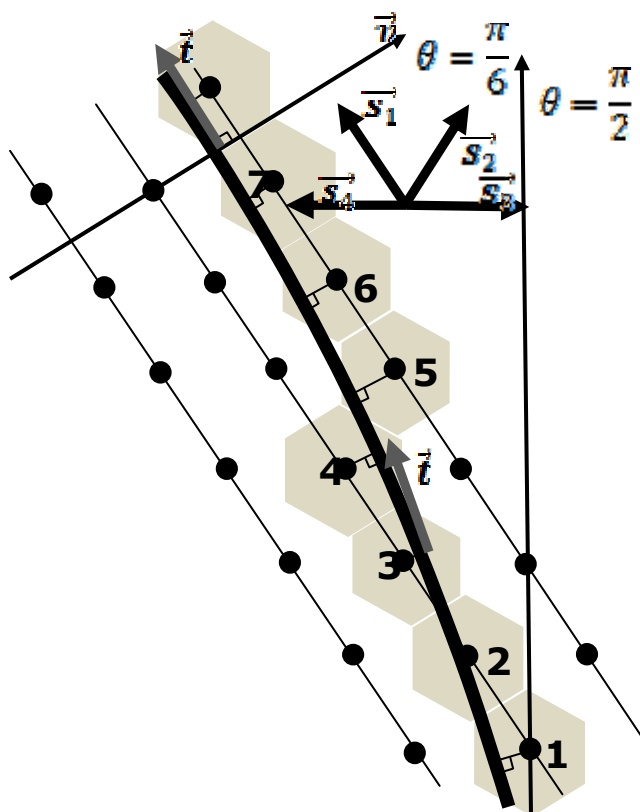


Рис. 4. Дуга кола на гексагональному растрі

Нехай потрібно відобразити на гексагональну сітку коло з центром $O(x_0, y_0)$ радіуса R . Розглянемо спочатку ділянку кола, що відповідає дузі $\theta \in \left[0, \frac{\pi}{6}\right]$, де θ – кут, утворений радіус-вектором кола з додатним напрямком осі x декартової системи координат. Нехай i надалі напрямком вектора визначає кут θ , утворений цим вектором з додатним напрямком осі x . Для вибраної ділянки кола вектор дотичної $\vec{t}$ до кола утворює кути $\theta \in \left[\frac{\pi}{2}, \frac{2\pi}{3}\right]$ (рис.4).

Вузлом називатимемо центр

Вважатимемо, що відстань є додатною, якщо вузол знаходиться праворуч від дотичної до лінії і від'ємною, якщо ліворуч. Для відображення на гексагональну сітку лінії (кола) зафарбовуються лише ті пікселі, для яких відстань до лінії найменша. Прийmemo, що відображення лінії має товщину у один піксель. Якщо лінія неперервна, то пікселі зафарбовуються неперервно, тобто для кожного зафарбованого пікселя обов'язково має бути зафарбований лише один з шести сусідніх.

Доведемо, що якщо вибрано один з пікселів гексагональної сітки (початкова точка), то зафарбувати пікселі, що відображають задану дугу кола $\theta \in \left[0, \frac{\pi}{6}\right]$ можна рухаючись від початкової точки у напрямку годинникової стрілки, переходячи від пікселя до сусіднього пікселя з використанням **лише** переходів у напрямках $\vec{S}_1$ (що відповідає $\theta = \frac{2\pi}{3}$) і $\vec{S}_2$ (що відповідає $\theta = \frac{\pi}{3}$), причому перехід у напрямку $\vec{S}_2$ не може відбуватися двічі підряд.

Доведення. Дотична $\vec{t}$ до дуги кола $\theta \in \left[0, \frac{\pi}{6}\right]$ завжди утворює гострий кут з напрямком $\vec{S}_1$.

1. Якщо вузол знаходиться з **правого боку** від лінії (додатна відстань), то при переході до сусіднього вузла у напрямку вектора $\vec{S}_1$, відстань від вузла до лінії буде зменшуватись доти, доки пряма, що проходить через зазначені вузли не перетне дугу кола. Так відбувається для послідовностей вузлів 1, 2 і 5, 6, 7 (рис. 4). Рух у всіх інших напрямках $\vec{S}_2, \vec{S}_3, \vec{S}_4$ у цьому випадку буде лише збільшувати відстань від вузла до дуги кола, оскільки ці напрямки утворюють більші кути з напрямком $\vec{t}$.

Розглянемо (рис.4.) рух у напрямках $\vec{S}_2, \vec{S}_3$, з початкового вузла (0) віддаляє від лінії (враховано взаємне розміщення і можливі кути між векторами $\vec{t}, \vec{S}_2, \vec{S}_3$). Для руху у напрямку $\vec{S}_4$ можливі випадки: а) виконано перехід у вузол (0) з вузла (-2) (напрямок $\vec{S}_1$), тоді подальший рух у цьому напрямку до вузла (1) буде тільки зменшувати відстань до дуги; б) виконано перехід у вузол (0) з вузла (-1) (напрямок $\vec{S}_2$). Раніше проаналізовано, що відстань до дуги від вузла (0) менша за відстань від вузла (4).

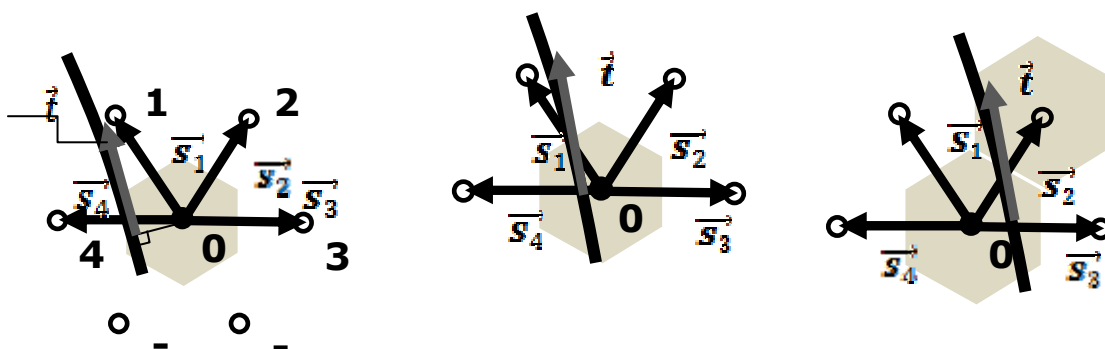


Рис. 5. Варіанти вибору кроків

У випадку, коли дуга кола перетинає відрізок, що з'єднує сусідні вузли у напрямку $\vec{S}_1$, то вузол, що знаходився зліва від дуги перейде (в напрямку $\vec{S}_1$) у вузол, що буде розташований справа від дуги, причому відстань до дуги буде завжди менше за 0.5. Те, що відстань мінімізується у напрямку $\vec{S}_1$ впливає з того, що вектори $\vec{S}_2, \vec{S}_3, \vec{S}_4$ утворюють з напрямком дотичної $\vec{t}$ більші кути

(рис.5).

2. Якщо вузол знаходиться **зліва** від дуги, то можливі два випадки:

а) при переході у напрямку $\overrightarrow{S_1}$ новий вузол залишиться найближчим до дуги (послідовність вузлів 3, 4 на рис.5), переходи в напрямках $\overrightarrow{S_3}$, $\overrightarrow{S_4}$ все одно неможливі, так як вони утворюють більші кути з дотичною $\overrightarrow{t}$;

б) якщо при переході у напрямку $\overrightarrow{S_1}$ вузол **не** буде найближчим до дуги кола, то тоді перехід у напрямку $\overrightarrow{S_2}$ дасть нам найближчий вузол, так як відстань від такого вузла до кола буде завжди меншою за 0.5 (рис.4 та послідовність вузлів 4, 5 на рис.5). При цих умовах перехід $\overrightarrow{S_4}$ забезпечить більшу похибку, ніж при переході за $\overrightarrow{S_1}$, а перехід до сусіда праворуч (напрямок $\overrightarrow{S_3}$) дає відстань, що перевищує граничне значення 0.5. Так у найкращому випадку, значення близькі до граничного 0.5 при переході праворуч, можливі лише коли дотична $\overrightarrow{t}$ до дуги утворює кут $\theta = \frac{\pi}{2}$ і дуга проходить по дотичній через праву границю гексагону, але і тоді дуга не перетинає правий сусідній піксель, тому відстань від правого вузла більше за 0.5 і не є найменшою.

Зазначимо, що два переходи у напрямку $\overrightarrow{S_2}$, виконати підряд неможливо, так як перший з них виконується у випадку 2.б): дуга знаходиться справа від вузла і тому другий перехід збільшить відстань від дуги на відстань, що перевищує граничні 0.5 (враховано допустимі межі кута дотичної $\overrightarrow{t}$).

Розглянемо тепер дугу кола, що відповідає $\theta \in \left[-\frac{\pi}{6}, 0\right]$, вона симетрична дузі $\theta \in \left[0, \frac{\pi}{6}\right]$, тому у напрямку обходу кола проти годинникової стрілки оптимальні напрямки переходу $\overrightarrow{S_1}$ і $\overrightarrow{S_2}$ зберігаються.

Об'єднаємо отримані результати: для дуги кола $\theta \in \left[-\frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{6}\right]$ напрямками побудови кола є виключно напрямки переходу $\overrightarrow{S_1}$, $\overrightarrow{S_2}$, причому два переходи у напрямку $\overrightarrow{S_2}$, виконати підряд неможливо.

Повернемо дугу кола $\theta \in \left[-\frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{6}\right]$ на кут $\frac{\pi}{3}$ проти годинникової стрілки. В результаті отримаємо дугу $\theta \in \left[\frac{\pi}{6}, \frac{\pi}{2}\right]$, причому напрямки переходу $\overrightarrow{S_1}$, $\overrightarrow{S_2}$ перейдуть, відповідно, у напрямки, що відповідають кутам $\theta = \frac{2\pi}{3}$, $\theta = \pi$.

Використаємо тепер симетрію кола відносно напрямків, паралельних осям декартової системи координат. З попередніх досліджень випливає, що у кожному з секторів кола $\theta \in \left[-\frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{3}n, \frac{\pi}{6} + \frac{\pi}{3}n\right]$, $n = 0..5$ існує лише по два напрямки переходу, причому по одному з них виконати два переходи підряд неможливо.

Висновки

У роботі визначено типи крокових пристроїв для інтерполяції кола на гексагональному растрі. Доведено залежність вибору типів крокових пристроїв від октанту в якому інтерполюється дуга кола.

Література

1. Петух А.М. Интерполяция в задачах контурного формообразования : [монография] / Петух А.М., Обідник Д.Т., Романюк О.Н. – Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2007. – 103 с.
2. Романюк О. Н. Особенности гексагональной модели пиксела / О. В. Мельник, О. Н. Романюк // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах : міжнародний науково-технічний журнал. – Хмельницький : ХНУ, 2014. – № 1 (46). – С. 91–95.
3. Романюк О.Н. Використання методу оцінювальної функції для задач антиаліаїзingu / О. Н. Романюк, М. С. Курінний // Сборник научных трудов НГУ. – Дніпропетровськ : НГУ, 2004. – № 19. – Том 2. – С. 200–208.
4. Wuthrich C. A. An Algorithmic Comparison Between Square and Hexagonal-based Grid / C. A. Wuthrich, P. Stucki // CVGIP: Graphical Models and Image Processing. – 1999. – Vol. 53. – P. 324–339.

Отримана/Received : 3.5.2017 р. Надрукована/Printed : 9.6.2017 р.

Рецензент: д. т. н., проф. Павлов С. В.

УДК: 004.932

Н.С. СВИРНЕВСКИЙ

Хмельницкий национальный университет

РАЗРАБОТКА АРХИТЕКТУРЫ ПРОГРАММЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ, СВЯЗАННЫХ С АФФИННЫМИ ПРЕОБРАЗОВАНИЯМИ ПРОСТРАНСТВА

В статье описывается процесс создания архитектуры программы для решения геометрических задач на основе математического аппарата аффинных преобразований, отталкиваясь от элементарных графических возможностей, предоставляемых C++ WinAPI приложением. Программа тестирована на примере решения задачи сканирования рупорной антенны. Продемонстрировано многообразие возможностей геометрических преобразований и эффективность управления ими.

Ключевые слова: программа, архитектура, аффинные преобразования, матрица, антенна.

N.S. SVIRNEVSKYI

Khmelnytskyi National University

DEVELOPMENT OF PROGRAM ARCHITECTURE FOR SOLVING THE PROBLEMS ASSOCIATED WITH AFFINE TRANSFORMATION OF THE SPACE

This article describes creation of program architecture for solving of geometric problems based on the mathematical apparatus of affine transformation, starting from the basic graphics capabilities provided by C++ WinAPI application. The program was tested on an example of solving the problem of scanning horn antenna. It demonstrated the variety of possible geometric transformations and their management efficiency.

Keywords: program, architecture, affine transformation, matrix, antenna.

Введение

Архитектура программы – это ее организация, воплощенная в компонентах (модулях), объединенных для выполнения определенной функции. Различают стандартные модули (библиотеки), входящие в язык программирования и пользовательские модули (программы), предназначенные для упрощения работы программистов.

Эта статья посвящена разработке программы, предназначенной для решения геометрических задач на основе аффинных преобразований пространства. К таким задачам, прежде всего, относятся – создание геометрических объектов, визуализация и обработка изображений, включая создание диалогов для поступления исходной информации и управления результатами.

Анализ исследований и публикаций

Известно большое количество стандартных модулей, обеспечивающих создание и обработку изображений [1, 2], решение многих задач в которых реализуется через аффинные преобразования [3]. При этом в них ограничены возможности для решения ряда нестандартных задач [4, 5], так как аффинные преобразования инкапсулированы в функциях и командах и предназначены лишь для конкретных действий по визуализации и обработке изображений.

На сегодняшний день, несмотря на многообразие стандартных графических библиотек и программных систем, по-прежнему, остается актуальной проблема создания эффективных пользовательских программных модулей для решения задач универсального характера, поскольку многие научные разработки выполняются именно с помощью их.

Формулирование цели

Разработать архитектуру программы для решения задач, связанных с аффинными преобразованиями пространства. Описать процесс создания программы на базе математического аппарата аффинных преобразований 2D и 3D пространства, отталкиваясь от элементарных графических

возможностей, предоставляемых в оконной (физической) системе координат.

Изложение основного материала

Хорошая архитектура программы это, прежде всего, модульная архитектура. Деление на модули лучше всего производить исходя из тех задач, которые решает программа. Основная задача разбивается на составляющие ее подзадачи, которые могут выполняться независимо друг от друга. Каждый модуль должен отвечать за решение какой-то подзадачи и выполнять соответствующую ей функцию.

Изложение теории будет идти параллельно с практической реализацией. Поэтому, для начала нам потребуется шаблон приложения. Остановим свой выбор на C++WinAPI приложении, как наиболее оптимальном для разработки графических приложений, поскольку оно не требовательно к машинным ресурсам и предоставляет достаточно возможностей для взаимодействия с пользователем.

WinAPI приложение [6] является в своей основе процедурным приложением. Оно изначально состоит из одного файла (main.cpp) и содержит два основных элемента – функции winMain() и WndProc.

Функция winMain() составляет основу любого приложения. Она служит как бы точкой входа в приложение и отвечает за следующее:

- начальную инициализацию приложения;
- создание и регистрацию объекта класса окна приложения;
- создание и инициализацию цикла обработки событий.

Обработанное в бесконечном цикле событие переправляется (опосредовано через Windows) оконной функции WndProc. События в ней идентифицируются именем константы (WM_PAINT, WM_DESTROY и др.). Рисование осуществляется при помощи объектов типа HDC (дескриптор контекста устройства).

Нарисуем треугольник, задав координаты его вершин в оконной (физической) системе координат (рис.1). Начало этой системы координат располагается в левом верхнем углу экрана. Ось X направлена слева направо, ось Y – сверху вниз. В качестве единицы длины в этой системе координат используется пиксел.

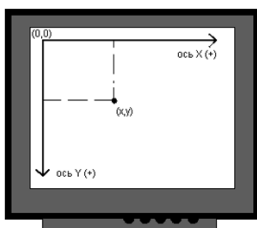


Рис. 1. Определение рисунка в оконной СК

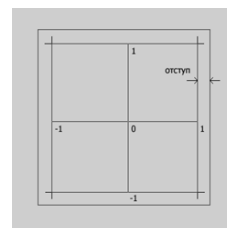
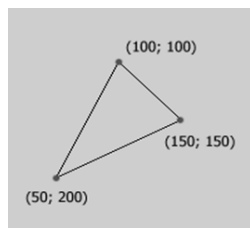


Рис. 2. Определение рисунка в логической СК

Для этого создадим новый файл draw.cpp:

```
#include <windows.h>
void Draw(HDC hdc){MoveToEx(hdc, 100, 100, NULL);
    LineTo(hdc, 150, 150); LineTo(hdc, 50, 200); LineTo(hdc, 100, 100);}
```

И файл draw.h:

```
void Draw(HDC hdc);
```

В файле main.cpp добавим в начало:

```
#include "draw.h"
```

А в событии WM_PAINT между заполнением области фоновым цветом и выводом изображения на основной контекст, появится вызов процедуры рисования:

```
Draw(hCmpDC);
```

Оконная СК неудобна для пользователя из-за непривычного расположения осей (ось y направлена вниз), задания координат в пикселях и др. Устраним эти недостатки, используя логическую СК (рис. 2), в которой:

- центр координат перенесен из левого верхнего угла в центр экрана;
- направление оси Y меняется на противоположное;
- координаты (от -1 до +1) соотнесены с шириной и высотой окна;
- введен отступ от края окна (margin).

Преобразования из логической системы координат в оконную осуществляются при помощи зависимостей:

$$X_Window = MARGIN + (1.0/2)*(X_Log + 1)*(Width - 2 * MARGIN);$$

$$Y_Window = MARGIN + (-1.0/2)*(Y_Log - 1)*(Height - 2 * MARGIN);$$

Ниже приводится новый код модуля draw.cpp:

```
#include <windows.h>
int Width, Height;
const int MARGIN = 10;
void SetWindowSize(int _Width, int _Height){Width = _Width; Height = _Height;}
int Tx(double X_Log){int X_Window;
    X_Window = MARGIN + (1.0 / 2) * (X_Log + 1) * (Width - 2 * MARGIN); return X_Window;}
int Ty(double Y_Log){int Y_Window;
    Y_Window = MARGIN + (-1.0 / 2)*(Y_Log - 1)*(Height - 2 * MARGIN); return Y_Window;}
void Draw(HDC hdc){
```

```
MoveToEx(hdc, Tx(0.0), Ty(0.5), NULL);LineTo(hdc, Tx(0.5), Ty(0.0));
LineTo(hdc, Tx(-0.5), Ty(-0.5));LineTo(hdc, Tx(0.0), Ty(0.5)); }
```

В draw.h добавляется объявление новой функции:

```
void Draw(HDC hdc);
void SetWindowSize(int _Width, int _Height);
```

В модуль main.cpp добавляем обработчик события WM_SIZE и WM_ERASEBKGD:

```
case WM_SIZE:
GetClientRect(hWnd, &Rect);
SetWindowSize(Rect.right - Rect.left, Rect.bottom - Rect.top);
break;
case WM_ERASEBKGD: return 1; break;
```

Теперь, при изменении размеров окна треугольник подстраивается под новые размеры. При изменении размеров окна происходит перерисовка изображения, поскольку событие WM_SIZE автоматически вызывает событие WM_PAINT.

Мы нарисовали треугольник в логической системе координат. Теперь обеспечим возможность поворота треугольника при каждом нажатии клавиш ← или →. Для пересчета положения каждой вершины треугольника используем преобразование координат при повороте. Рассмотрим произвольный вектор r , задающий некоторую точку в системе координат xu (рис. 3).

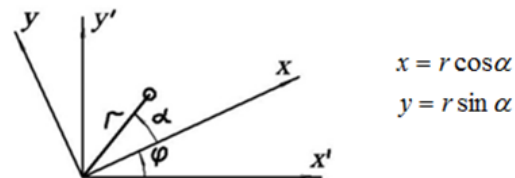


Рис. 3. Преобразование координат при повороте

При повороте на угол φ координаты точки запишутся в виде:

$$\begin{aligned}x' &= r \cos(\alpha + \varphi) = r(\cos \alpha \cos \varphi - \sin \alpha \sin \varphi) = x \cos \varphi - y \sin \varphi \\y' &= r \sin(\alpha + \varphi) = r(\sin \alpha \cos \varphi + \cos \alpha \sin \varphi) = x \sin \varphi + y \cos \varphi\end{aligned}$$

Выделим из этих уравнений 2 пары зависимостей – для пересчета координат точек в новой СК (1) и для обновления значений косинуса и синуса угла (2):

$$x' = x \cos \varphi - y \sin \varphi \quad (1)$$

$$y' = x \sin \varphi + y \cos \varphi$$

$$\cos(\alpha + \varphi) = \cos \alpha \cos \varphi - \sin \alpha \sin \varphi \quad (2)$$

$$\sin(\alpha + \varphi) = \sin \alpha \cos \varphi + \cos \alpha \sin \varphi$$

Для решения задачи пошагового вращения треугольника необходимо сохранять параметры предыдущего положения треугольника. В качестве таких параметров могут использоваться предыдущие координаты, либо суммарный угол поворота. Будем сохранять угловые характеристики – синусы и косинусы, поскольку именно они используются в выражениях (1).

В программе модифицируем все модули (main.cpp, draw.h, draw.cpp) и добавляем новые (geometry.h, matrix.h, matrix.cpp).

В файле main.cpp добавляются обработчики WM_CREATE и WM_KEYPRESSED, клавиши ← и → идентифицируются в программе константами VK_LEFT и VK_RIGHT, начальный поворот плоскости инициализируется вызовом функции InitRotation, текущий поворот – функцией AddRotation. Перерисовка изображения (вызов события WM_PAINT) обеспечивается функцией InvalidateRect.

```
case WM_CREATE: InitRotation(); break;
case WM_KEYDOWN:
int KeyPressed;
KeyPressed = int(wParam);
if (KeyPressed == VK_RIGHT){ AddRotation(-PI / 10);}
if (KeyPressed == VK_LEFT){ AddRotation(PI / 10);}
InvalidateRect(hWnd, NULL, FALSE); //вызов события WM_PAINT
break;
```

В файлы draw.h, draw.cpp и main.cpp вносим изменения, которые обеспечивают рисование треугольника в зависимости от текущего значения угла. В определение функций InitRotation и AddRotation входит вызов функции SetRotationMatrix, которая осуществляет инициализацию массива из 4-х тригонометрических характеристик угла. Переменная массива объявляется типом Matrix. Обновление массива реализует функция MultiplyMatrices. В функции Draw каждая вершина треугольника объявляется типом _Point. При каждом запуске функции Draw вершины инициализируются начальными координатами точек, затем функция ApplyMatrixToPoint обеспечивает пересчет координат в соответствии с текущими значениями массива тригонометрических характеристик угла. Поворот точек треугольника реализуется в логической системе координат, затем осуществляется преобразование в оконные координаты и рисование сторон треугольника.

draw.h

```
void Draw(HDC hdc);
void SetWindowSize(int _Width, int _Height);
void InitRotation();
void AddRotation(double alpha);
```

draw.cpp

```
#include <windows.h>
```

```

#include "geometry.h"
#include "matrix.h"
int Width, Height;
Matrix current_rot;
const int MARGIN = 10;
void InitRotation(){SetRotationMatrix(0.0, current_rot);}
void AddRotation(double alpha){
    Matrix additional_rot;
    SetRotationMatrix(alpha, additional_rot);
    MultiplyMatrices(current_rot, current_rot, additional_rot);}
void SetWindowSize(int _Width, int _Height) {Width = _Width; Height = _Height;}
_Point T(_Point point){ _Point TPoint;
TPoint.x = MARGIN + (1.0 / 2)*(point.x + 1)*(Width - 2 * MARGIN);
TPoint.y = MARGIN + (-1.0 / 2)*(point.y - 1)*(Height - 2 * MARGIN);
return TPoint;}
void Draw(HDC hdc)
{ _Point triangle[3];
  triangle[0].x = 0.0; triangle[0].y = 0.5; triangle[1].x = 0.5;
  triangle[1].y = 0.0; triangle[2].x = -0.5; triangle[2].y = -0.5;
  for (int i = 0; i < 3; i++){
      ApplyMatrixToPoint(current_rot, triangle[i]); triangle[i] = T(triangle[i]);
  }
  for (int i = 0; i <= 3; i++){
      int j = i % 3;
      if (i == 0){MoveToEx(hdc, triangle[j].x, triangle[j].y, NULL);}
      else{ LineTo(hdc, triangle[j].x, triangle[j].y);}}
}

```

Как было выше отмечено, по мере усложнения программы необходимо осуществлять ее структуризацию. Очевидно, что по функциональному признаку все действия с массивами целесообразно описать в отдельном модуле. Обратите внимание, что входными параметрами ряда описанных ниже функций есть не переменные, а ссылки на переменные. Это дает возможность при вызове этих функций обновлять входные параметры.

geometry.h

```

#ifndef _POINT
    struct _Point{double x, y;};
    #define _POINT
#endif

```

matrix.h

```

#include "geometry.h"
typedef double Matrix[4];
void SetRotationMatrix(double alpha, Matrix &matrix);
void MultiplyMatrices(Matrix &dest, Matrix &left, Matrix &right);
void ApplyMatrixToPoint(Matrix rot, _Point &point);

```

matrix.cpp

```

#include <math.h>
#include <memory.h>
#include "matrix.h"
#include "geometry.h"
void SetRotationMatrix(double alpha, Matrix &matrix){
    matrix[0] = cos(alpha);
    matrix[1] = -sin(alpha);
    matrix[2] = sin(alpha);
    matrix[3] = cos(alpha);}
void MultiplyMatrices(Matrix &dest, Matrix &left, Matrix &right){
    Matrix _dest;
    _dest[0] = left[0] * right[0] + left[1] * right[2];
    _dest[1] = left[0] * right[1] + left[1] * right[3];
    _dest[2] = left[2] * right[0] + left[3] * right[2];
    _dest[3] = left[2] * right[1] + left[3] * right[3];
    memcpy(dest, _dest, sizeof(Matrix));}
void ApplyMatrixToPoint(Matrix rot, _Point &point){
    double _x, _y;
    _x = point.x;
    _y = point.y;
    point.x = _x * rot[0] + _y * rot[1];
    point.y = _x * rot[2] + _y * rot[3];}

```

На этом этапе мы уже обеспечили возможность поворота треугольника при каждом нажатии клавиш ← или →. Теперь поставим задачу обеспечения непрерывного вращения треугольника. Для реализации задачи необходимо обеспечить изменение угла поворота треугольника с последующим обновлением изображения. Причем, это должно выполняться в цикле.

В WinAPI для работы со временем обычно используют сообщение WM_TIMER:

```

case WM_TIMER: // обработка сообщения WM_TIMER
AddRotation(PI / 10);
InvalidateRect(hWnd, NULL, FALSE); //вызов события WM_PAINT
break;

```

Это сообщение будет посылаться вашей программе через интервал времени, который вы зададите при создании таймера:

```
SetTimer(hWnd, TIMER_2SEC, 2000, NULL); // интервал две секунды
KillTimer(hWnd, TIMER_2SEC); // уничтожение таймера
```

Создание таймера необходимо предусматривать до его использования, например в событии WM_CREATE. Кроме этого необходимо в заголовке файла определить идентификатор таймера:

```
const unsigned int TIMER_2SEC = 1; // идентификатор таймера
```

Можно обеспечить запуск вращения треугольника при нажатии на клавишу Р (пуск) и остановку – при нажатии на клавишу S (stop). Пример оформления события нажатия на клавишу приводится ниже:

```
case WM_KEYDOWN:
    int KeyPressed;
    KeyPressed = int(wParam);
    if (KeyPressed == int('P')) { ... }
break;
```

Ранее мы обеспечили возможность поворота треугольника при каждом нажатии клавиш ← или →. Теперь разберемся, как поворачивать изображение (плоскость) с помощью мыши. Начнем с теории.

Пусть имеется пара точек $M_0(x_0, y_0)$, $M(x, y)$ – начальное и конечное положения мыши (рис. 4). По этим точкам нужно определить угол поворота плоскости.

Воспользуемся формулами для расчета скалярного и векторного произведения векторов:

$$\cos \varphi = \frac{x_1 x_2 + y_1 y_2}{|l_1| |l_2|} = \frac{x_1}{|l_1|} \frac{x_2}{|l_2|} + \frac{y_1}{|l_1|} \frac{y_2}{|l_2|} = \overline{x_1 x_2} + \overline{y_1 y_2}$$

$$\sin \varphi = \frac{x_1 y_2 - y_1 x_2}{|l_1| |l_2|} = \frac{x_1}{|l_1|} \frac{y_2}{|l_2|} - \frac{y_1}{|l_1|} \frac{x_2}{|l_2|} = \overline{x_1 y_2} - \overline{y_1 x_2}$$

$$l = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad \overline{x} = \frac{x}{l}, \quad \overline{y} = \frac{y}{l}.$$

Класс Rotation объединяет действия и данные, связанные с вращением. Функция Rotate устанавливает преобразования вращения, опираясь на текущее и предыдущее положения мыши. Функция InitRotation запоминает координаты курсора в объекте класса vec. Эти функции вызываются при событиях нажатия кнопки мышки и перемещения курсора. Класс Vec инкапсулирует координаты конца вектора (начало вектора в середине окна) и действия над векторами. Переопределены операции * и ^ под операции скалярного и векторного произведения векторов. Функции set, length и unit устанавливают координаты и определяют длину вектора и нормализуют его. Внесены следующие изменения в файл main.cpp (см. выделенное жирным шрифтом):

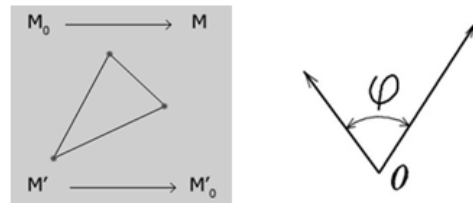


Рис. 4. Угол между векторами, определяемый точками

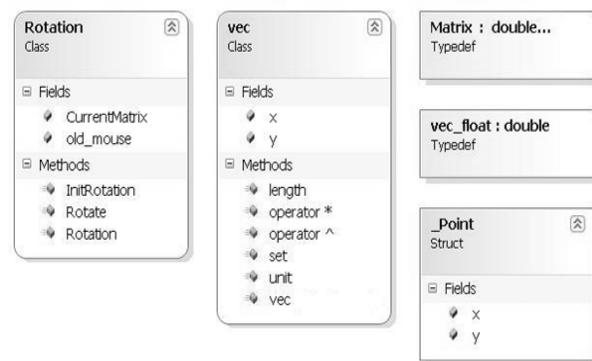


Рис. 5. Диаграмма классов

```
LRESULT CALLBACK WndProc(HWND hWnd, UINT messg, WPARAM wParam, LPARAM lParam)
{
    PAINTSTRUCT ps;
    RECT Rect;
    HDC hdc, hCmpDC;
    HBITMAP hBmp;
    static Rotation *Ball;
    static int xx, yy;
    switch (messg)
    {
        case WM_CREATE:
            //InitRotation(); // функция закомментирована
            Ball = new Rotation();
            SetBall(Ball);
            break;
        case WM_SIZE:
            GetClientRect(hWnd, &Rect);
            xx = Rect.right - Rect.left;
            yy = Rect.bottom - Rect.top;
            //SetWindowSize(Rect.right - Rect.left, Rect.bottom - Rect.top);
            SetWindowSize(xx, yy);
            break;
        case WM_LBUTTONDOWN:
            Ball->InitRotation(LOWORD(lParam) - xx/2, HIWORD(lParam) - xx/2);
            break;
        case WM_MOUSEMOVE:
            if (UINT(wParam) & MK_LBUTTON)
```

```

    {
        Ball->Rotate(LOWORD(lParam) - xx/2, HIWORD(lParam) - yy/2);
        InvalidateRect(hWnd, NULL, FALSE);
    }
    break;

```

В оконную процедуру были добавлены 2-а события – нажатие на левую кнопку мыши и перемещение мыши при нажатой клавише. При нажатии на кнопку мышки функция Ball->InitRotation принимает параметры вектора, начало которого находится в середине окна, конец вектора – в указанной точке. При перемещении мышки функции Ball->Rotate передаются те же параметры текущего вектора.

Поскольку, событие WM_MOUSEMOVE вызывается циклически, пока происходит перемещение курсора, то функция Ball->Rotate вызывается с постоянно обновляемыми параметрами. При каждом цикле происходит расчет тригонометрических функций угла между предыдущим и текущим положениями вектора (см. рис. 5). Класс Rotation описывается в файлах rotation.h и rotation.cpp.

rotation.h

```

#include "matrix.h"
#include "vec.h"
class Rotation{
public:
    vec old_mouse;
    Matrix CurrentMatrix;
    Rotation();
    void InitRotation(int x, int y);
    void Rotate(int x, int y);};

```

rotation.cpp

```

#include "rotation.h"
Rotation::Rotation(){
    CurrentMatrix[0] = 1; CurrentMatrix[1] = 0; CurrentMatrix[2] = 0; CurrentMatrix[3] = 1;}
void Rotation::InitRotation(int x, int y){old_mouse.set(x, y);old_mouse =
old_mouse.unit();}
void Rotation::Rotate(int x, int y){
    vec new_mouse(x, y);
    vec_float sina, cosa;
    new_mouse = new_mouse.unit();
    sina = new_mouse ^ old_mouse;
    cosa = new_mouse * old_mouse;
    Matrix Rot;
    SetRotationMatrixbySinCos(sina, cosa, Rot);
    MultiplyMatrices(CurrentMatrix, CurrentMatrix, Rot);
    old_mouse = new_mouse;}

```

Конструктор Rotation инициализирует матрицу через значения тригонометрических функций при угле поворота 0. Он вызывается, когда объект этого класса создается в событии WM_CREATE. Функция InitRotation вызывается при нажатии мыши. При этом запоминаются нормализованные координаты текущего вектора. Функция Rotate вызывается при перемещении курсора. Получаем вектор, указывающий на текущее положение мыши. С помощью векторных операций реализуется расчет тригонометрических функций угла между этим вектором и вектором, который указывал на предыдущее положение мыши. Функция MultiplyMatrices реализует перемножение текущей матрицы поворота CurrentMatrix на предыдущую.

файл vec.h

```

#include <math.h>
typedef double vec_float;
class vec{
public:
    vec_float x, y;
    vec(){vec_float xx, vec_float yy){x = xx; y = yy;}
    void set(vec_float xx, vec_float yy){x = xx; y = yy;}
    vec_float operator * (vec t) // скалярное произведение
    {return x * t.x + y * t.y;}
    vec_float operator ^ (vec t) // векторное произведение
    {return x * t.y - y * t.x;}
    vec_float length() // длина вектора
    {return sqrt(x * x + y * y);}
    vec unit() // нормализация вектора
    { vec_float l = length(); if (l == 0.0f) return vec(0.0f, 0.0f); return vec(x / l, y
/ l);}
};

```

В файлы matrix.h и matrix.cpp добавляется новая функция SetRotationMatrixbySinCos, которая передает матрице текущие значения синуса и косинуса угла между векторами.

matrix.h

```

#include "geometry.h"
typedef double Matrix[4];
void SetRotationMatrix(double alpha, Matrix &matrix);
void SetRotationMatrixbySinCos(double sinalpha, double cosalpha, Matrix &matrix);
void MultiplyMatrices(Matrix &dest, Matrix &left, Matrix &right);
void ApplyMatrixtoPoint(Matrix rot, _Point &point);

```

matrix.cpp

```
...
void SetRotationMatrixbySinCos(double sinalpha, double cosalpha, Matrix &matrix){
matrix[0] = cosalpha; matrix[1] = -sinalpha; matrix[2] = sinalpha; matrix[3] = cosalpha;}
...
```

Изменения в файлах draw:

draw.h

```
#include "rotation.h"
void Draw(HDC hdc);
void SetWindowSize(int _Width, int _Height);
void SetBall(Rotation *_Ball);
//void InitRotation(); // функция закомментирована
```

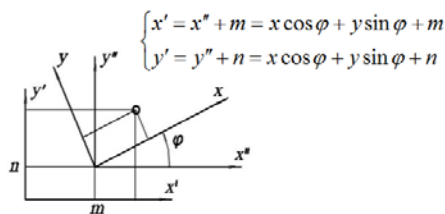
draw.cpp

```
#include <windows.h>
#include "geometry.h"
#include "matrix.h"
#include "draw.h"
int Width, Height; Matrix current_rot; const int MARGIN = 10;
Rotation *_Ball;
void SetBall(Rotation *_Ball){_Ball = _Ball;}
...
```

Ко всем точкам применяется преобразование, но теперь оно берется из объекта Ball:

```
ApplyMatrixToPoint(Ball->CurrentMatrix, triangle[i]);
//ApplyMatrixToPoint(current_rot, triangle[i]); // закомментирована
```

Выше был рассмотрен поступательный процесс создания программной системы, обеспечивающей преобразование вращения (см. рис. 3). Сохраняя специфику создания программы, обобщим ее до преобразований группы движений (рис. 6) и аффинных преобразований. Ниже приводится матричное представление системы уравнений, описывающих группу движений (3) и аффинные преобразования (4).



$$(x' \ y') = (x \ y) \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} + (m \ n) \quad (3)$$

$$(x' \ y') = (x \ y) \begin{pmatrix} a & d \\ b & e \end{pmatrix} + (c \ f) \quad (4)$$

Рис. 6. Преобразование точки в прямоугольной декартовой СК

Для использования в программе аффинные преобразования представим в однородных координатах, которые позволяют получать сложное преобразование из нескольких элементарных (композицию преобразований) путем перемножения матриц.

$$\begin{aligned} x' &= ax + by + c \\ y' &= dx + ey + f \\ 1' &= 0x + 0y + 1 \end{aligned} \quad (x' \ y' \ 1) = (x \ y \ 1) \begin{pmatrix} a & d & 0 \\ b & e & 0 \\ c & f & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

Программа базируется на рассмотренном выше приложении, описывающем преобразование вращения. Принципиальное отличие лишь в том, что вместо систем уравнений (1) и (2) и соответствующей им матрицы с 4-я коэффициентами используется матрица аффинных преобразований (5). Кроме этого реализуется композиция преобразований. В соответствии с этими особенностями программа была модифицирована, осуществлена дальнейшая ее структуризация, созданы новые классы (рис. 7).

Класс Engine объединяет функцию формирования изображения (Draw) и объекты классов Action и Viewport, обеспечивающие действия по перестройке изображения, вызванной событиями нажатия на кнопки, перемещения мышки и изменения размеров окна.

Класс Action объединяет действия и данные, связанные с аффинными преобразованиями. Функция Rotate (Translate) устанавливает преобразования вращения (перемещения), опираясь на текущее и предыдущее положение мыши. Функция InitAction запоминает координаты курсора в объекте класса vec. Эти функции вызываются при событиях нажатия кнопки мышки и перемещения курсора. Функция Transform устанавливает преобразования через инициализацию коэффициентов матрицы

Класс Viewport объединяет действия и данные, связанные с изменением размеров окна. Кроме этого, в класс включена функция T, которая выполняет преобразование точек фигуры из экранных координат экрана, в логические координаты, а также, функция T_inv, которая преобразует координаты курсора из экранных координат в логические. Функция T_inv отсутствовала в приложении, рассмотренном ранее, поскольку в нем реализовывалось лишь преобразование вращения, а значение угла поворота не зависело от СК. В этом приложении с помощью курсора задается и преобразование перемещения, а оно зависит от СК.

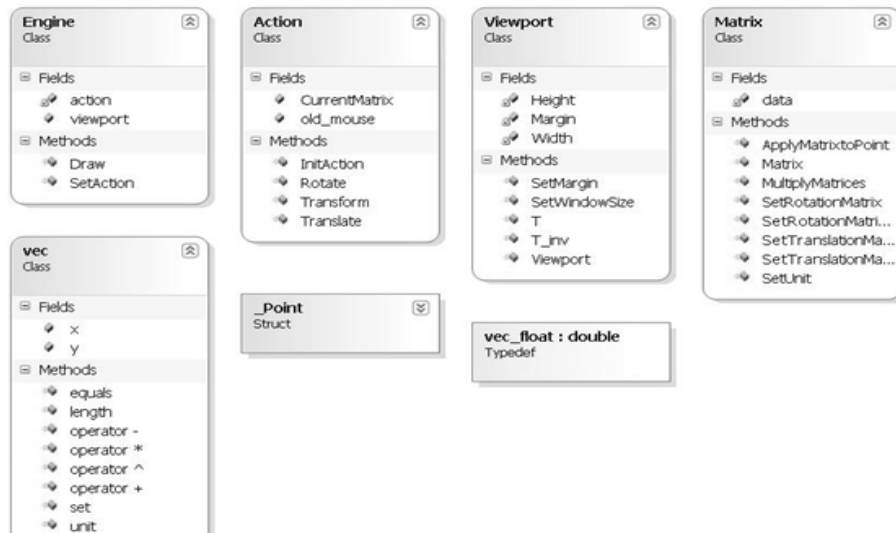


Рис. 7. Диаграмма классов приложения

В класс Matrix была добавлена функция SetTranslationMatrix, в которой непосредственно инициализируются коэффициенты матрицы преобразований.

В класс Vec добавлено переопределение операций для суммирования и вычитания векторов. Эти операции используются в программе для определения преобразования перемещения, опираясь на текущее и предыдущее положения курсора при перемещении мыши.

Практически не меняя структуры программы, обобщим ее использование до аффинных преобразований 3D пространства, где переход из одной прямолинейной координатной системы к другой описывается в общем случае системой уравнений (6):

$$\begin{aligned} x^* &= \alpha_1 x + \alpha_2 y + \alpha_3 z + \lambda \\ y^* &= \beta_1 x + \beta_2 y + \beta_3 z + \mu \\ z^* &= \gamma_1 x + \gamma_2 y + \gamma_3 z + \nu \end{aligned} \quad \begin{aligned} (x^* y^* z^* 1) &= (x y z 1) A \\ A &= \begin{pmatrix} \alpha_1 & \beta_1 & \gamma_1 & 0 \\ \alpha_2 & \beta_2 & \gamma_2 & 0 \\ \alpha_3 & \beta_3 & \gamma_3 & 0 \\ \lambda & \mu & \nu & 1 \end{pmatrix} \end{aligned} \quad (6)$$

Матрицы, соответствующие базовым геометрическим преобразованиям, приводятся на рис. 8 и 9.

Матрицы поворота

$$T_y = \begin{pmatrix} \cos \psi & 0 & -\sin \psi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin \psi & 0 & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad T_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & \sin \varphi & 0 \\ 0 & -\sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad T_z = \begin{pmatrix} \cos \chi & \sin \chi & 0 & 0 \\ -\sin \chi & \cos \chi & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Матрица переноса

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \lambda & \mu & \nu & 1 \end{pmatrix}$$

Растяжение: $\alpha, \beta, \gamma > 1$
Сжатие: $0 < \alpha, \beta, \gamma < 1$

Матрица ортогональной проекции

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Матрицы зеркального отражения

Относительно плоскости XY:

$$T_z = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Относительно плоскости YZ:

$$T_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Относительно плоскости XZ:

$$T_y = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Рис. 8. Матрицы базовых геометрических преобразований

$$(x' y' z' 1) = (x y z 1) \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & r \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = (x y 0 rz + 1) = \begin{pmatrix} x & y & 0 & 1 \\ rz + 1 & rz + 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

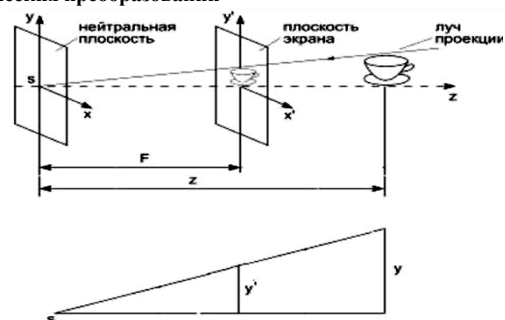


Рис. 9. Графическая интерпретация коэффициента r в матрице центрального проецирования

Разработанная программа тестировалась на примере задачи геометрических преобразований рупорной антенны, положение которой определяется в пространстве 5 параметрами (рис. 10). При запуске программы плоскость внешнего раствора рупора совпадает с картинной плоскостью (рис. 11). Необходимо обеспечить при последовательном нажатии на клавиши 1...5,0 композицию матричных преобразований $T=T_1T_2T_3T_4T_5T_0$ (рис. 12). При нажатии на клавишу 0 создается центральная проекция.

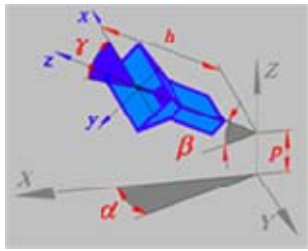


Рис. 10. Тестовое задание для программы

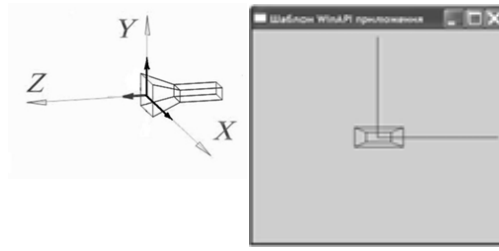


Рис. 11. Исходное положение рупорной антенны

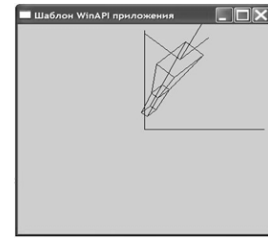


Рис. 12. Конечное положение рупорной антенны

Программа обеспечивает возможность вращения антенны вокруг оси Y при движении курсора мышки. Также обеспечивается возможность вращения антенны вокруг оси z в локальной системе координат при движении курсора мышки за счет пересчета точек объекта в новой системе координат. С помощью таймера можно запустить запуск вращения антенны вокруг этих осей при нажатии на клавишу Р (пуск) и остановку – при нажатии на клавишу S (stop).

В программе реализуются 2 способа определения ортогональной проекции объекта:

- вектор проецирования и плоскость проекций неподвижны, объект перемещается (рис. 13а);
- вектор проецирования и плоскость проекций перемещаются, объект неподвижен (рис. 13б).

В программе реализуются оба способа. Первый способ очевиден, он реализуется через последовательность соответствующих преобразований (см. рис. 8) относительно глобальной СК. Для реализации 2-го способа необходимо:

- определить новую СК, плоскость XU которой будет перпендикулярна вектору проецирования;
- пересчитать точки объекта в новой системе координат;
- обнулить координату z .

Вектор проецирования можно задавать с помощью двух углов (рис. 14а) – углом вращения относительно оси X и углом вращения относительно оси Y . Эти же углы определяют положение новой СК (рис. 14б).

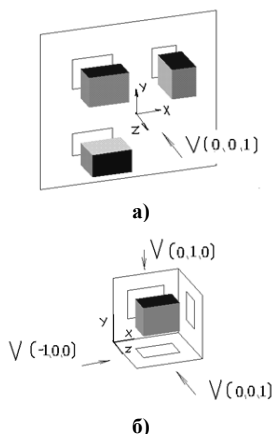


Рис. 13. Определение проекции: объект перемещается (а); вектор перемещается (б)

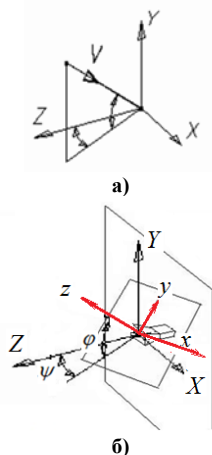


Рис. 14. Определение положения вектора (а) и новой СК (б)

$$R_y^{-1} = \begin{pmatrix} \cos \psi & 0 & \sin \psi & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \psi & 0 & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad R_x^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ 0 & \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$B^{-1} = R_y^{-1} R_x^{-1}$$

$$\begin{pmatrix} \cos \psi & \sin \psi \sin \varphi & \sin \psi \cos \varphi & 0 \\ 0 & \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ -\sin \psi & \cos \psi \sin \varphi & \cos \psi \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Рис. 15. Получение матрицы для пересчета точек объекта в новой системе координат

Положение новой СК относительно старой задается композицией 2-х матричных преобразований – вращения относительно оси X и вращения относительно оси Y (см. рис. 8). Для пересчета точек объекта в новой системе координат необходимо получить обратную матрицу, как композицию обратных матриц 2-х вращений (рис. 15). Эти преобразования в программе обеспечиваются нажатием клавиш 6 и 7.

В программе также обеспечена возможность изменения углов вектора проецирования (см. рис. 14а) с помощью курсора мышки. При движении вверх (вниз) меняется угол вращения вокруг оси X , при движении вправо (влево) – угол вращения вокруг оси Y . Для решения этой задачи используется композиция двух обратных матриц (см. рис. 15). Значения косинусов и синусов в матрице преобразований (см. рис. 15) заменены на соответствующие значения перемещений курсора мышки (t_y и t_x):

$$\sin \psi = t_x \quad \cos \psi = \sqrt{1 - t_x^2} \quad \sin \varphi = t_y \quad \cos \varphi = \sqrt{1 - t_y^2}$$

Фрагменты программной реализации приводятся ниже. При движении мышки с нажатой клавишей Ctrl управление передается функции (файл main.cpp) :

```
action->Translate(mouse_point.x, mouse_point.y);
```

Определение функции (файл action.cpp) содержит вызов функции

```
Tr.SetTranslationMatrix(delta.x, delta.y);
```

Этой функции передаются перемещения курсора мышки (ty и tx). В соответствии с принятыми обозначениями в определении этой функции (файл matrix.cpp) инициализируются коэффициенты матрицы:

```
void Matrix::SetTranslationMatrix(double tx, double ty){
    SetUnit(); // инициализация единичной матрицы
    double txx = tx*tx;
    double txy = tx*ty;
    double tyy = ty*ty;
    double tsx = sqrt(1 - txx);
    double tsy = sqrt(1 - tyy);
    data[0][0] = tsx; // a // a c p 0 //
    data[0][1] = -txy; // c // b d q 0 //
    data[0][2] = tx*tsy; // p // h f r 0 //
    //data[0][3] = 1.0; // 0 // m n l 1 //
    data[1][1] = tsy; // d
    data[1][2] = ty; // q
    data[2][0] = -tx; // h
    data[2][1] = -tsx*ty; // f
    data[2][2] = tsx*tsy; // r
}
```

Выводы

Разработана архитектура программы для решения задач, связанных с аффинными преобразованиями пространства. Описан процесс создания программы на базе математического аппарата аффинных преобразований 2D и 3D пространства, отталкиваясь от элементарных графических возможностей, предоставляемых в оконной (физической) системе координат.

Программа протестирована на примере задачи сканирования рупорной антенны. При решении этой задачи было продемонстрировано многообразие возможностей геометрических преобразований и эффективность управления ими.

Универсальность архитектуры программы подтверждается тем, что она легко модифицируется под решение ряда других задач – восстановление параметров пространственного объекта по изображению [4], реконструкции трехмерной модели по изображениям [5].

Литература

1. Херн Д. Компьютерная графика и стандарт OpenGL / Дональд Херн, М. Паулин Бейкер. – М. : Вильямс, 2005. – 1168 с.
2. Bradsky G. Learning OpenCV / Gary Rost Bradsky, Adrian Kaehler. – O'Reilly, 2008. – 556 p.
3. Свирневский Н.С. Имитация полета крылатой ракеты на основе объектно-ориентированной методологии проектирования программной системы / Н. С. Свирневский // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2012. – № 6. – С. 203–207.
4. Свирневский Н.С. Восстановление параметров пространственного объекта по изображению / Н.С. Свирневский // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2011. – № 6. – С. 74–78.
5. Свирневский Н.С. Алгоритм реконструкции трехмерной модели по изображениям / Н. С. Свирневский // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. – № 2. – С. 103–109.
6. Свирневский Н.С. Основы разработки графических приложений / Н.С. Свирневский, С.С. Ковальчук. – Хмельницький : ХНУ, 2015. – 270 с.

Отримана/Received : 14.3.2017 р. Надрукована/Printed : 9.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Сорокатый Р.В.

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ДОСТАТНОСТІ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Метою даного дослідження є розроблення інформаційної технології оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості ПЗ. У статті висвітлено також реалізацію та особливості функціонування підсистеми оцінювання достатності інформації специфікації для визначення якості ПЗ на основі порівняльного аналізу онтологій. Розроблені інформаційна технологія та підсистема дають можливість оцінити достатність інформації специфікації для оцінювання якості ПЗ; виявити відсутні у специфікації атрибути та (або) показники якості; встановити пріоритетність доповнення специфікації вимог до ПЗ відсутніми атрибутами та (або) показниками; кількісно оцінити достовірність оцінювання якості ПЗ на основі наявних у специфікації атрибутів та (або) показників; підвищити достовірність оцінювання якості ПЗ на ранніх етапах життєвого циклу.

Ключові слова: програмне забезпечення (ПЗ), специфікація вимог до ПЗ, якість програмного забезпечення, складність програмного забезпечення, достатність інформації, онтології.

T.O. HOVORUSHCHENKO
Khmelnitsky National University

INFORMATION TECHNOLOGY OF EVALUATING THE SUFFICIENCY OF INFORMATION FOR THE SOFTWARE QUALITY ASSESSMENT

The aim of this study is the development of the information technology of evaluating the sufficiency of software requirements specification (SRS) information for software quality assessment and of the subsystem of evaluating the sufficiency of the SRS information for software quality assessment based on the comparative analysis of ontologies. The developed information technology and subsystem provide: evaluating the sufficiency of the SRS information for software quality assessment by the standard ISO 25010:2011 and based on the metric analysis; identifying the missing (in the SRS) measures and (or) indicators (if the SRS information is insufficient); prioritization of the addition of the missing measures and (or) indicators in the SRS; quantify evaluating the veracity of the software quality assessment based on the available (in the SRS) measures and (or) indicators. The developed information technology provides the increasing the veracity of the software quality assessment at the early lifecycle stages.

Keywords: software, software requirements specification (SRS), software quality, software complexity, sufficiency of information, ontology.

Вступ

Аналіз впливу якості програмного забезпечення на роботу складних апаратно-програмних комплексів [1–5] виявив важливу тенденцію, яку необхідно враховувати при оцінюванні та забезпеченні якості ПЗ: оцінювання якості програмного проекту на етапі проектування надаватиме можливість раннього виявлення помилок, що забезпечить підвищення якості ПЗ та зменшення витрат на його розроблення. Аналіз робіт [1–5] також підтвердив факт, що причини майже всіх інцидентів та катастроф, пов'язаних з програмним забезпеченням, криються у специфікації вимог до ПЗ.

Отже, якість програмного забезпечення (як ступінь відповідності ПЗ потребам замовників [6, 7]) суттєво залежить від специфікації вимог, а також від достатності наявної у ній інформації. Під достатністю інформації будемо розуміти раціональну інформаційну насиченість, що виключає неповноту інформації (відсутність необхідних відомостей).

Наразі оцінювання якості ПЗ за стандартом ISO 25010:2011 [6] відбувається наступним чином – на основі атрибутів якості, визначених у ISO 25023:2016 [8], оцінюються підхарактеристики та характеристики якості, які, в свою чергу, надають комплексну оцінку якості ПЗ. Оцінювання якості та складності ПЗ на основі результатів метричного аналізу відбувається наступним чином – на основі показників якості та складності розраховуються значення метрик якості та складності, які, в свою чергу, надають комплексну оцінку якості та складності ПЗ. Метрики, які можуть бути використані на етапі проектування, обрані у [9] та описані у [9, 10].

Сьогодні оцінювання атрибутів для визначення підхарактеристик та характеристик якості ПЗ, а також показників для визначення метрик якості та складності ПЗ відбувається лише на етапі оцінювання якості ПЗ для готового програмного коду [5]. Але всі необхідні атрибути та показники закладено вже у специфікації вимог до ПЗ [5], тобто вже на основі специфікації вимог до ПЗ можна оцінити достатність інформації специфікації вимог (як наявність у специфікації ПЗ всіх необхідних атрибутів для визначення підхарактеристик та характеристик якості ПЗ, а також всіх необхідних показників для визначення метрик) для майбутнього визначення якості ПЗ. За відсутності деяких атрибутів або показників, інформація специфікації є недостатньою для майбутнього визначення якості ПЗ, і розробники повинні внести необхідні корективи у специфікацію вимог.

Оцінювання достатності інформації специфікації вимог до ПЗ (як наявності у специфікації ПЗ всіх необхідних атрибутів для визначення підхарактеристик та характеристик якості ПЗ, всіх необхідних показників для визначення метрик) забезпечує можливість вибору програмного проекту з позицій його

прогнозованої якості, підвищує ефективність управління проектом за рахунок обґрунтованості рішень, скорочує час на їх прийняття, зменшує витрати на збір і обробку відомостей. Недостатність інформації специфікації вимог до ПЗ знижує результативність та достовірність оцінювання якості ПЗ.

Тоді *актуальною задачею* є задача оцінювання достатності інформації специфікації вимог до ПЗ (як наявності атрибутів та (або) показників якості ПЗ у специфікації вимог), а також кількісне оцінювання достовірності оцінок якості ПЗ на основі наявної у специфікації інформації. Аналіз існуючих автоматизованих засобів аналізу специфікацій вимог (IBM Rational RequisitePro, IBM Rational/Telelogic DOORS, Borland Caliber RM, Sybase PowerDesigner, Open Source Requirements Management Tool, Sigma Software, DEVPRO, CASE.Analyst) [11–13] показав, що всі вони призначені для роботи з вимогами та специфікаціями, причому деякі з них спрямовані на контроль за реалізацією вимог, але жоден з них не визначає достатності інформації специфікації вимог для визначення якості ПЗ. Тому *метою даного дослідження* є розроблення інформаційної технології оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості ПЗ.

Інформаційна технологія оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення

Структуру інформаційної технології оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення можна представити у наступному вигляді – рис. 1.

З рис. 1 видно, що основу розробленої інформаційної технології складають:

- 1) формалізована і онтологічна моделі якості ПЗ на основі стандарту ISO 25010:2011 (розроблені та представлені у [14]);
- 2) формалізовані і онтологічні моделі якості та складності програмного забезпечення на основі метричного аналізу (розроблені та представлені у [15]);
- 3) формалізована і онтологічна моделі специфікації вимог до програмного забезпечення (розроблені та представлені у [14, 15]);
- 4) методи оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення (за стандартом ISO 25010:2011) на основі онтологій (розроблені та представлені у [14]);
- 5) методи оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення складності та якості програмного забезпечення (на основі використання результатів метричного аналізу) на основі онтологій (розроблені та представлені у [15]);
- 6) інтелектуальний метод оцінювання результатів проектування та прогнозування характеристик програмного забезпечення (розроблений та представлений у [9]);
- 7) підсистема оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення на основі порівняльного аналізу онтологій;
- 8) інтелектуальна підсистема оцінювання і прогнозування складності та якості програмного забезпечення на основі результатів метричного аналізу (розроблена та представлена у [9]).

Інформаційна технологія оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення				
Об'єкт – процеси аналізу, оцінювання та забезпечення якості програмного забезпечення	Мета – розв'язання наукової проблеми розроблення методології оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення (за стандартом ISO 25010:2011 та на основі результатів метричного аналізу)	Моделі: - формалізована та онтологічна моделі якості ПЗ на основі ISO 25010:2011; - формалізовані та онтологічні моделі якості та складності ПЗ на основі метричного аналізу; - формалізовані та онтологічні моделі специфікації вимог до ПЗ (з точки зору наявності атрибутів якості ПЗ та показників для визначення метрик складності та якості ПЗ)	Методи: - методи оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості ПЗ (згідно ISO 25010:2011) на основі онтологій; - онтологічні методи оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення складності та якості ПЗ на основі використання результатів метричного аналізу; - інтелектуальний метод оцінювання результатів проектування та прогнозування характеристик програмного забезпечення	Засоби: - підсистема оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення на основі порівняльного аналізу онтологій; - інтелектуальна підсистема оцінювання і прогнозування складності та якості програмного забезпечення на основі результатів метричного аналізу

Рис.1. Структура інформаційної технології оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості ПЗ

Для завершення формування інформаційної технології оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення необхідно розробити необхідну спроектувати та реалізувати підсистему оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення на основі порівняльного аналізу онтологій, чому й буде присвячено подальше дослідження.

Підсистема оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості ПЗ на основі порівняльного аналізу онтологій

На вхід підсистеми оцінювання достатності інформації для визначення якості ПЗ на основі порівняльного аналізу онтологій подаються множини:

1) $\{qms_1, \dots, qms_{nm}\}$ ($nm \leq 138$) наявних у специфікації вимог до ПЗ атрибутів якості, необхідних для оцінювання підхарактеристик та характеристик якості ПЗ (згідно зі стандартом [8], підхарактеристики якості залежать від 203 атрибутів, але всього від 138 різних атрибутів);

2) $\{sqcxi_1, \dots, sqcxi_{ni}\}$ ($ni \leq 42$) наявних у специфікації вимог до ПЗ показників, необхідних для виконання метричного аналізу складності та якості ПЗ (обрані у [9] метрики якості та складності ПЗ етапу проектування залежать від 72 показників, але всього від 42 різних показників).

Результатом роботи розробленої підсистеми є:

1. висновок про достатність інформації специфікації вимог до ПЗ для визначення якості програмного забезпечення за стандартом ISO 25010:2011;

2. рекомендації щодо необхідності та пріоритетності доповнення специфікації вимог до ПЗ атрибутами для визначення якості програмного забезпечення за стандартом ISO 25010:2011;

3. оцінка достовірності оцінювання якості ПЗ за стандартом ISO 25010 на основі наявної у специфікації інформації;

4. висновок про достатність інформації специфікації вимог до ПЗ для визначення якості та складності програмного забезпечення на основі результатів метричного аналізу;

5. рекомендації щодо необхідності та пріоритетності доповнення специфікації вимог до ПЗ показниками для визначення якості та складності ПЗ на основі результатів метричного аналізу;

6. оцінка достовірності оцінювання якості ПЗ за результатами метричного аналізу на основі наявної у специфікації інформації.

Структура підсистеми оцінювання достатності інформації для визначення якості ПЗ на основі порівняльного аналізу онтологій представлена на рис. 2.

Розроблена підсистема складається з наступних компонентів:

1) модуль введення атрибутів специфікації вимог до ПЗ – зчитує інформацію користувача щодо наявних значень атрибутів $\{qms_1, \dots, qms_{nm}\}$ ($nm \leq 138$) специфікації вимог до конкретного ПЗ; користувачу пропонується список всіх 138 атрибутів якості у базовій онтології, з яких він видаляє атрибути, відсутні у аналізованій специфікації, формуючи онтологію для визначення якості конкретного ПЗ;

2) модуль введення показників специфікації вимог до ПЗ – зчитує інформацію користувача щодо наявних значень показників $\{sqcxi_1, \dots, sqcxi_{ni}\}$ ($ni \leq 42$) у специфікації вимог до конкретного ПЗ; користувачу пропонується список всіх 42 показників якості та складності у базовій онтології, розділених за розділами специфікації, з яких він видаляє показники, відсутні у аналізованій специфікації, формуючи онтологію для визначення складності та якості конкретного ПЗ;

3) модуль електронної підтримки користувача – надає користувачу інформацію про: структуру специфікації вимог до ПЗ, атрибути специфікації, необхідні для оцінювання якості ПЗ за стандартом ISO 25010, показники специфікації, необхідні для оцінювання складності та якості ПЗ на основі результатів метричного аналізу (при цьому необхідні атрибути та показники представлені з врахуванням розподілу за розділами специфікації у вигляді онтологій (рис. 3–6), які є шаблонами специфікації вимог до ПЗ з точки зору наявності атрибутів та показників якості), а також про процес формування результатів роботи підсистеми;

4) модуль оцінювання достатності інформації специфікації вимог до ПЗ для визначення якості програмного забезпечення за стандартом ISO 25010:2011 – працює згідно методів оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення (за стандартом ISO 25010:2011) на основі онтологій [14]: виконується генерування та наповнення шаблону онтології для визначення якості конкретного ПЗ, враховуючи наявні атрибути $\{qms_1, \dots, qms_{nm}\}$ ($nm \leq 138$); виконується порівняльний аналіз онтології для визначення якості конкретного ПЗ із розробленою базовою онтологією предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення (частина «Якість ПЗ»)), результатом якого є список відсутніх у специфікації атрибутів; якщо при порівняльному аналізі онтологій не виявлено розбіжностей, то інформації специфікації достатньо для визначення якості програмного забезпечення за стандартом ISO 25010; якщо ж при порівняльному аналізі онтологій встановлено розбіжності, то у специфікації недостатньо атрибутів для визначення певних підхарактеристик та характеристик якості ПЗ, тоді відбувається порівняльний аналіз онтології для визначення якості конкретного ПЗ із зваженою базовою онтологією предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення (частина «Якість ПЗ»)), внаслідок чого відбувається сортування всіх відсутніх атрибутів специфікації за спаданням значень вагових коефіцієнтів,

тобто встановлюється рекомендована пріоритетність їх доповнення у специфікацію вимог до ПЗ; виконується кількісна оцінка достовірності оцінювання якості ПЗ на основі наявних у специфікації атрибутів;

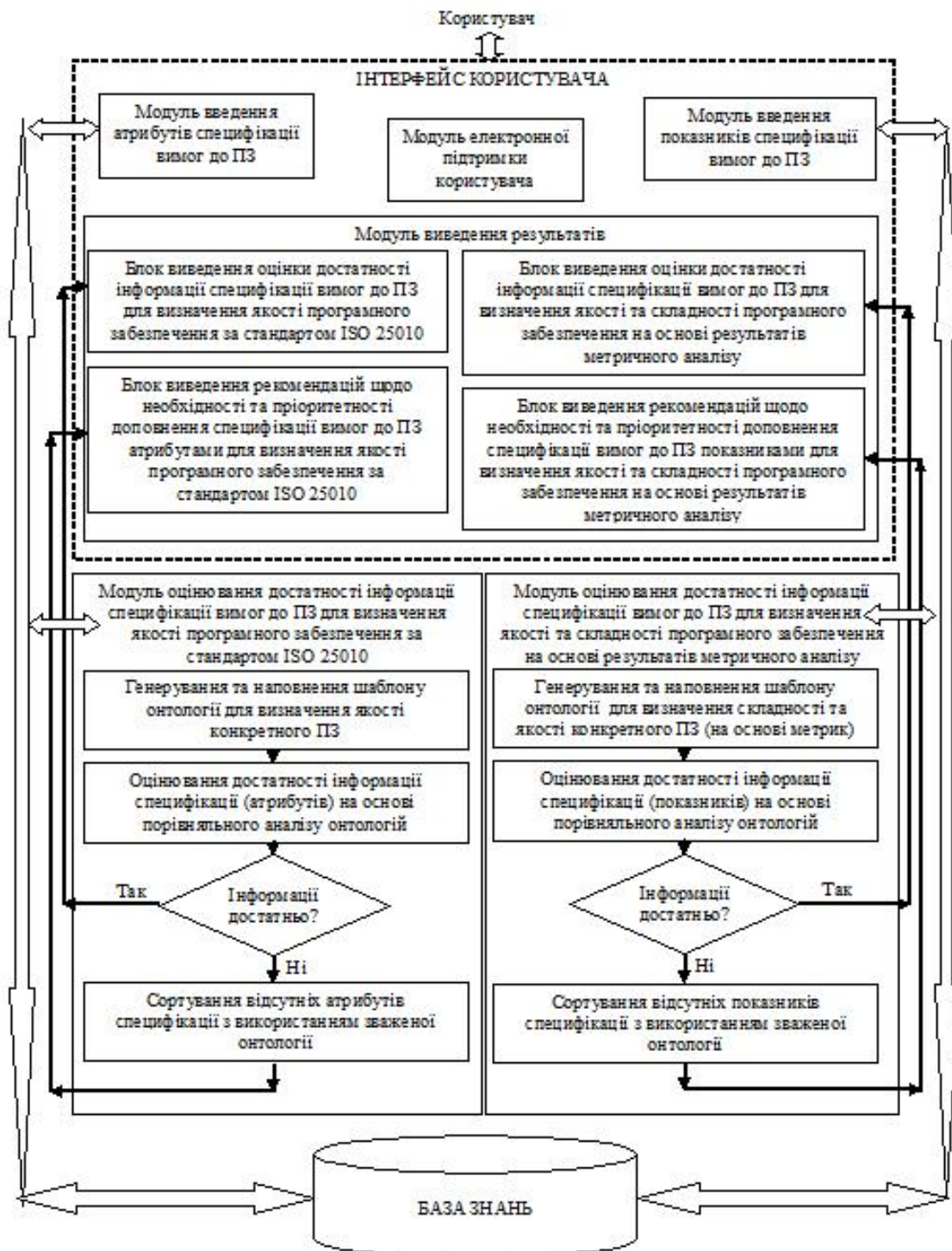


Рис.2. Структура підсистеми оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості ПЗ на основі порівняльного аналізу онтологій

5) модуль оцінювання достатності інформації специфікації вимог до ПЗ для визначення якості та складності програмного забезпечення на основі результатів метричного аналізу – працює згідно методів оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості та складності програмного забезпечення (за результатами метричного аналізу) на основі онтологій [15]: виконується генерування та наповнення шаблону онтології для визначення якості та складності конкретного ПЗ, враховуючи наявні показники $\{sqcx_1, \dots, sqcx_{n_i}\}$ ($n_i \leq 42$); виконується порівняльний аналіз онтології для визначення якості та складності конкретного ПЗ із розробленою базовою онтологією предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення (частина «Якість та складність ПЗ. Метричний аналіз»)), результатом якого є список відсутніх

у специфікації показників; якщо при порівняльному аналізі онтологій не виявлено розбіжностей, то інформації специфікації достатньо для визначення якості та складності програмного забезпечення на основі метричного аналізу; якщо ж при порівняльному аналізі онтологій встановлено розбіжності, то у специфікації недостатньо показників для визначення певних метрик якості та складності ПЗ, тоді відбувається порівняльний аналіз онтологій для визначення якості та складності конкретного ПЗ із зваженою базовою онтологією предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення (частина «Якість та складність ПЗ. Метричний аналіз»)), внаслідок чого відбувається сортування всіх відсутніх показників специфікації за спаданням значень вагових коефіцієнтів, тобто встановлюється рекомендована пріоритетність їх доповнення у специфікацію вимог до ПЗ; виконується кількісна оцінка достовірності оцінювання якості та складності ПЗ на основі наявних у специфікації показників;

6) база знань – містить базові та зважені базові онтології предметної галузі «Інженерія ПЗ» (частини «Якість ПЗ» та «Якість і складність ПЗ. Метричний аналіз»), сформовані користувачем онтології для конкретного ПЗ, а також продукційні правила формування логічного висновку про достатність інформації специфікації вимог для визначення якості ПЗ за стандартом ISO 25010:2011 і для визначення складності та якості програмного забезпечення на основі використання результатів метричного аналізу;

7) модуль виведення результатів – компоненти цього блоку виводять користувачу сформовані висновки, рекомендації та оцінки.

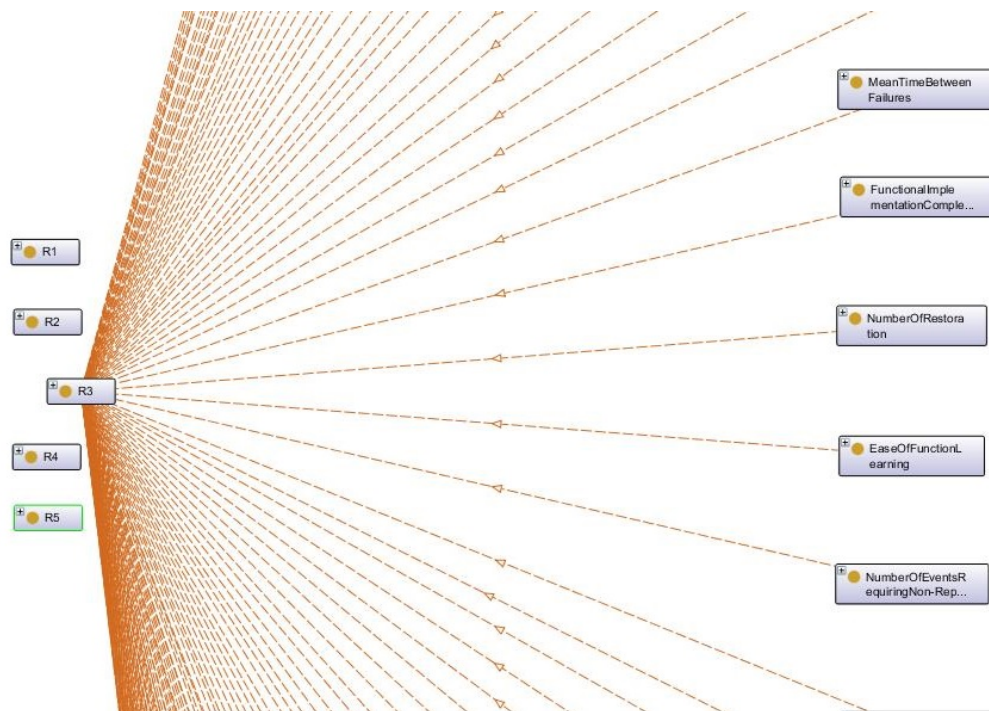


Рис.3. Фрагмент онтології предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення» (частина «Специфікація вимог до ПЗ (атрибути якості)»)

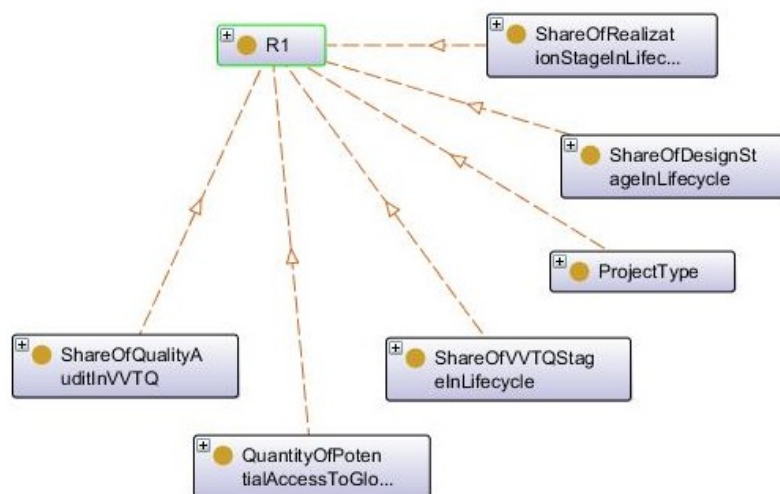


Рис.4. Складова онтології предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення» (частина «Специфікація вимог до ПЗ (показники складності та якості)» – показники, які містяться у розділі 1 специфікації

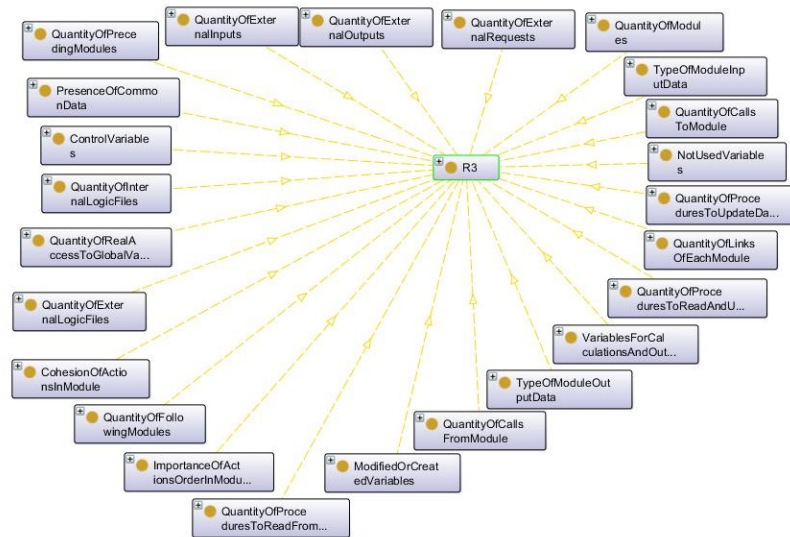


Рис.5. Складова онтології предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення» (частина «Специфікація вимог до ПЗ (показники складності та якості)») – показники, які містяться у розділі 3 специфікації

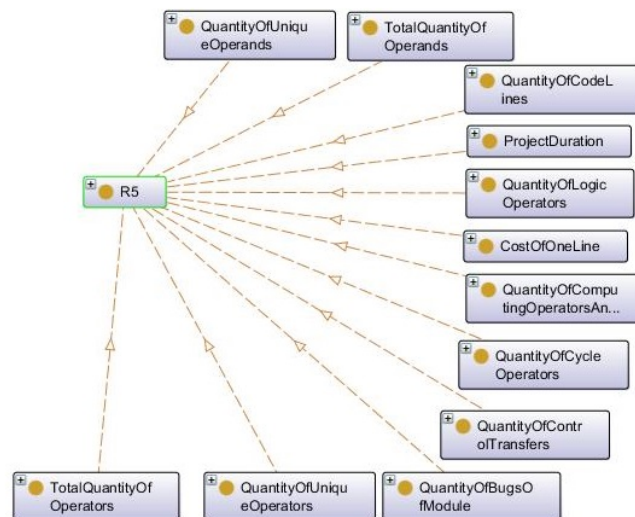


Рис.6. Складова онтології предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення» (частина «Специфікація вимог до ПЗ (показники складності та якості)») – показники, які містяться у розділі 5 специфікації

Продукційні правила формування логічного висновку про достатність інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення за стандартом ISO 25010:2011 сформовані на основі базової онтології предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення (частина «Якість ПЗ»))» та зваженої базової онтології предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення (частина «Якість ПЗ»))». 138 правил для атрибутів мають вигляд «якщо-то» і побудовані наступним чином: для кожного атрибуту (якщо він відсутній у специфікації) відбувається збільшення лічильників відсутніх атрибутів для відповідних підхарактеристик та характеристик, а також відбувається присвоєння вагового коефіцієнту розглядуваного атрибуту в елемент масиву вагових коефіцієнтів відсутніх атрибутів (індекс якого дорівнює розглядуваному атрибуту). Правило №139 має вигляд: якщо лічильники відсутніх атрибутів для всіх підхарактеристик одночасно дорівнюють 0, то у специфікації вимог до ПЗ достатньо даних для визначення всіх підхарактеристик, інакше: у специфікації вимог до ПЗ недостатньо атрибутів для визначення певних підхарактеристик якості ПЗ (із зазначенням підхарактеристик, для визначення яких атрибутів специфікації недостатньо). Правило №140 має вигляд: якщо лічильники відсутніх атрибутів для всіх характеристик одночасно дорівнюють 0, то у специфікації вимог до ПЗ достатньо даних для визначення всіх характеристик якості ПЗ (із зазначенням характеристик); відбувається сортування масиву вагових коефіцієнтів відсутніх атрибутів за спаданням значень; виводяться значення елементів сортованого масиву вагових коефіцієнтів відсутніх атрибутів як рекомендована пріоритетність доповнення атрибутів у специфікацію вимог до ПЗ.

Підсистема оцінювання достатності інформації для визначення якості ПЗ виконує пошук правила (серед 138 правил для атрибутів) для кожного з елементів множини відсутніх атрибутів, згідно яких ведеться підрахунок підхарактеристик та характеристик якості ПЗ, які неможливо достовірно визначити на основі наявних у специфікації вимог атрибутів. Після цього виконується аналіз інформації специфікації

вимог на достатність для визначення якості ПЗ і, у разі недостатності, формуються висновки, для визначення яких підхарактеристик та характеристик якості ПЗ недостатньо інформації, а також формується сортований (за ваговими коефіцієнтами) список відсутніх атрибутів (згідно правил №139, 140) як рекомендована пріоритетність доповнення атрибутів у специфікацію вимог.

Далі виконується оцінка достовірності оцінювання якості ПЗ на основі наявної у специфікації інформації:

$$q_{chr} = fy / 15 + ry / 30 + ey / 26 + uy / 49 + my / 33 + sy / 23 + cy / 9 + py / 18, \quad (1)$$

де q_{chr} – кількість характеристик якості, які неможливо обчислити за наявних у специфікації атрибутів; $fy, ry, ey, uy, my, sy, cy, py$ – лічильники відсутніх атрибутів для характеристик якості ПЗ; числа в знаменниках дробів вказують кількість атрибутів для кожної характеристики якості згідно стандартів [6, 8];

$$D_{chr} = (8 - q_{chr}) / 8, \quad (2)$$

де D_{chr} – достовірність оцінювання якості ПЗ на основі наявних у специфікації атрибутів.

Зважаючи на те, що методи оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення (за стандартом ISO 25010:2011) на основі онтологій [14] є ітераційними, то після формування висновків про недостатність інформації відбуватимуться доповнення специфікації вимог необхідними атрибутами, які призводитимуть до збільшення достовірності оцінювання якості ПЗ.

Для оцінювання приросту достовірності оцінювання якості ПЗ спочатку слід виконати оцінку достовірності оцінювання якості ПЗ на основі наявної у специфікації вимог інформації після доповнення:

$$q'_{chr} = fy' / 15 + ry' / 30 + ey' / 26 + uy' / 49 + my' / 33 + sy' / 23 + cy' / 9 + py' / 18, \quad (3)$$

де q'_{chr} – кількість характеристик якості, які неможливо обчислити за наявних після доповнення (доповнень) атрибутів; $fy', ry', ey', uy', my', sy', cy', py'$ – лічильники відсутніх у специфікації атрибутів після доповнення;

$$D'_{chr} = (8 - q'_{chr}) / 8, \quad (4)$$

де D'_{chr} – достовірність оцінювання якості ПЗ на основі наявних після доповнення (доповнень) атрибутів.

Тоді приріст достовірності оцінювання якості ПЗ після доповнення (доповнень) специфікації вимог необхідними атрибутами обчислюватиметься наступним чином:

$$\Delta q_{chr} = q_{chr} - q'_{chr} = (fy / 15 - fy' / 15) + (ry / 30 - ry' / 30) + \dots + (py / 18 - py' / 18), \quad (5)$$

де Δq_{chr} – кількість характеристик якості, які стало можливим обчислити за наявних після доповнення (доповнень) специфікації атрибутами;

$$\Delta D_{chr} = D'_{chr} - D_{chr} = \Delta q_{chr} / 8, \quad (6)$$

де ΔD_{chr} – приріст достовірності оцінювання якості ПЗ після доповнення (доповнень) специфікації атрибутами.

Продукційні правила формування логічного висновку про достатність інформації специфікації вимог для визначення якості та складності програмного забезпечення на основі метричного аналізу сформовані на основі базової та зваженої онтологій предметної галузі «Інженерія програмного забезпечення (частина «Якість і складність ПЗ. Метричний аналіз»)). 42 правила для показників мають вигляд «якщо-то» і побудовані наступним чином: для кожного показника (якщо він відсутній у специфікації) відбувається збільшення лічильників відсутніх показників для відповідних метрик, а також відбувається присвоєння вагового коефіцієнту розглядуваного показника в елемент масиву вагових коефіцієнтів відсутніх показників (індекс якого дорівнює розглядуваному показнику). Правило №43 має вигляд: якщо лічильники відсутніх атрибутів для всіх метрик одночасно дорівнюють 0, то у специфікації вимог до ПЗ достатньо даних для визначення всіх метрик, інакше: у специфікації вимог до ПЗ недостатньо показників для визначення певних метрик (із зазначенням метрик); відбувається сортування масиву вагових коефіцієнтів відсутніх показників за спаданням значень; виводяться значення елементів сортованого масиву вагових коефіцієнтів відсутніх показників як рекомендована пріоритетність доповнення показників у специфікацію вимог до ПЗ.

Підсистема оцінювання достатності інформації для визначення якості ПЗ виконує пошук правила (серед 42 правил для показників) для кожного з елементів множини відсутніх показників, згідно яких ведеться підрахунок метрик, які неможливо достовірно визначити на основі наявних у специфікації вимог показників. Після цього виконується аналіз інформації специфікації вимог на достатність для визначення якості ПЗ і, у разі недостатності, формуються висновки, для визначення яких метрик недостатньо інформації, а також формується сортований (за ваговими коефіцієнтами) список відсутніх показників (згідно правила №43) як рекомендована пріоритетність доповнення показників у специфікацію вимог.

Далі виконується оцінка достовірності метричного аналізу на основі наявної у специфікації вимог інформації:

$$q_{metr} = chm / 5 + jam / 2 + mcm / 5 + km / 4 + ch / 2 + cpl / 5 + \dots + eab / 2 + dtb / 2, \quad (7)$$

де q_{metr} – кількість метрик, які неможливо обчислити за наявних у специфікації показників; змінні у чисельнику – це лічильники відсутніх у специфікації показників для метрик; числа в знаменниках дробів вказують кількість показників для кожної метрики згідно [9, 10];

$$D_{metr} = (24 - q_{metr}) / 24, \quad (8)$$

де D_{metr} – достовірність метричного аналізу на основі наявних у специфікації показників.

Зважаючи на те, що онтологічні методи оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості програмного забезпечення на основі результатів метричного аналізу є ітераційними, то після формування висновків про недостатність інформації відбуватимуться доповнення специфікації вимог необхідними показниками, які призводитимуть до збільшення достовірності метричного аналізу.

Для оцінювання приросту достовірності оцінювання якості ПЗ спочатку слід виконати оцінку достовірності оцінювання якості ПЗ на основі наявної у специфікації вимог інформації після доповнення (доповнень):

$$q'_{metr} = chm' / 5 + jam' / 2 + mcm' / 5 + km' / 4 + ch' / 2 + cpl' / 5 + \dots + eab' / 2 + dtb' / 2, \quad (9)$$

де q'_{metr} – кількість метрик, які неможливо обчислити за наявних після доповнення (доповнень) показників; змінні у чисельнику – це лічильники відсутніх у специфікації показників для метрик після доповнення;

$$D'_{metr} = (24 - q'_{metr}) / 24, \quad (10)$$

де D'_{metr} – достовірність метричного аналізу на основі наявних після доповнення (доповнень) показників.

Тоді *приріст достовірності метричного аналізу після доповнення (доповнень) специфікації вимог необхідними показниками* обчислюватиметься наступним чином:

$$\Delta q_{metr} = q_{metr} - q'_{metr} = (chm / 5 - chm' / 5) + (jam / 2 - jam' / 2) + \dots + (dtb / 2 - dtb' / 2), \quad (11)$$

де Δq_{metr} – кількість метрик, які стало можливим обчислити після доповнення специфікації показниками;

$$\Delta D_{metr} = D'_{metr} - D_{metr} = \Delta q_{metr} / 24, \quad (12)$$

де ΔD_{metr} – приріст достовірності метричного аналізу після доповнення (доповнень) специфікації показниками.

Експерименти: оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості ПЗ

Для експерименту було проаналізовано специфікацію вимог до ПЗ автоматизованої системи (АС) широкоформатного фотодруку. Було визначено атрибути якості ПЗ, наявні в конкретній специфікації. Розроблено онтологію для визначення якості конкретного програмного проекту [14]. Порівняння (в Protégé 4.2) розробленої онтології для конкретного ПЗ з фрагментами базової онтології для предметної галузі «Інженерія ПЗ» (частина «Якість ПЗ») дало можливість виявити, що у розробленій онтології конкретного ПЗ відсутні 4 атрибути: «Number Of Functions», «Operation Time», «Number Of Data Items», «Number Of Test Cases», які складають множину відсутніх атрибутів: $\{qms_{1_{AS}}, \dots, qms_{4_{AS}}\}$.

Проводиться пошук правила для кожного елементу множини $\{qms_{1_{AS}}, \dots, qms_{4_{AS}}\}$ серед 138 правил для атрибутів. Відповідно до цих правил, підраховуються лічильники відсутніх атрибутів. Згідно правила №139, було встановлено, що у специфікації вимог до ПЗ АС широкоформатного фотодруку недостатньо атрибутів для визначення 23-х підхарактеристик якості ПЗ (із зазначенням підхарактеристик). Згідно правила №140, було встановлено, що у цій специфікації вимог недостатньо атрибутів для всіх восьми характеристик якості ПЗ. Після встановлення факту недостатності інформації специфікації вимог до ПЗ: проводиться сортування масиву відсутніх атрибутів за спаданням значень елементів (вагових коефіцієнтів відсутніх атрибутів); виведення індексів тих елементів відсортованого масиву, які мають значення, відмінне від 0, – як пріоритетність і порядок розгляду та доповнення атрибутів якості у специфікацію вимог до ПЗ. Так, для підвищення достовірності оцінювання якості ПЗ специфікація повинна бути доповнена наступними показниками в такій послідовності: 1) «Operation Time»; 2) «Number Of Functions»; 3) «Number Of Data Items»; 4) «Number Of Test Cases».

Далі виконується оцінка достовірності оцінювання якості ПЗ на основі наявної у специфікації вимог інформації:

$$q_{chr_{AS}} = 5 / 15 + 6 / 30 + 3 / 26 + 5 / 49 + 7 / 33 + 6 / 23 + 4 / 9 + 5 / 18 = 1,95;$$

$D_{chr_{AS}} = (8 - 1,95) / 8 = 0,76$. Отже, для аналізованої специфікації вимог було сформовано висновок про недостатність даних для визначення якості ПЗ, а за наявних у специфікації атрибутів оцінити якість ПЗ можна з достовірністю 76%.

Відбулось доповнення специфікації вимог до ПЗ. Після доповнення специфікації вимог було знову розроблено онтологію (версію 2) для визначення якості конкретного ПЗ. Порівняльний аналіз розробленої онтології (версія 2) з фрагментами базової онтології предметної галузі «Інженерія ПЗ» (частина «Якість ПЗ») виявив, що специфікацію вимог до ПЗ було доповнено 2 атрибутами «Number Of Functions» (2-й у сортованому списку), «Number Of Data Items» (3-й у сортованому списку), тоді множина відсутніх атрибутів: $\{qms'_{1_{AS}}, qms'_{2_{AS}}\} = \{ "OperationTime", "NumberOfTestCases" \}$.

Проводиться пошук правила для кожного елементу множини $\{qms'_{1_{AS}}, qms'_{2_{AS}}\}$ серед 138 правил для атрибутів. Згідно правила №139, було встановлено, що у специфікації вимог до ПЗ АС широкоформатного фотодруку все ще недостатньо атрибутів для визначення 18 підхарактеристик якості ПЗ

(із зазначенням цих підхарактеристик). Згідно з правилом №140, було встановлено, що у розглядуваній специфікації вимог до ПЗ все ще недостатньо атрибутів для всіх восьми характеристик якості ПЗ. Після встановлення факту недостатності інформації специфікації вимог: проводиться сортування масиву відсутніх атрибутів за спаданням значень елементів; виведення індексів тих елементів відсортованого масиву, які мають значення, відмінне від 0. Так, для підвищення достовірності оцінювання якості ПЗ специфікація повинна бути доповнена наступними показниками в такій послідовності: 1) «Operation Time»; 2) «Number Of Test Cases».

Далі виконується оцінка достовірності оцінювання якості ПЗ на основі наявної (після доповнення) у специфікації вимог інформації: $q'_{chr_{AS}} = 2/15 + 5/30 + 2/26 + 2/49 + 4/33 + 4/23 + 2/9 + 1/18 = 0,99$; $D'_{chr_{AS}} = (8 - 0,99)/8 = 0,88$. Замовник розроблюваної АС широкоформатного фотодруку прийняв рішення, що подальше доповнення специфікації економічно недоцільне, тому було сформовано висновок, що за наявних (після доповнення) у специфікації атрибутів оцінити якість ПЗ можна з достовірністю 88%.

Приріст достовірності оцінювання якості ПЗ після доповнення специфікації вимог необхідними атрибутами складає: $\Delta q_{chr_{AS}} = 1,95 - 0,99 = 0,96$; $\Delta D_{chr_{AS}} = 0,96/8 = 0,12$. Отже, розроблені інформаційна технологія та підсистема оцінювання достатності інформації специфікації вимог забезпечили приріст достовірності оцінювання якості ПЗ для автоматизованої системи широкоформатного фотодруку на 12%.

Розглянемо тепер роботу розроблених інформаційної технології та підсистеми для оцінювання достатності інформації специфікації для проведення метричного аналізу. Для експерименту було також проаналізовано специфікацію вимог до ПЗ АС широкоформатного фотодруку. Було визначено показники складності та якості ПЗ, наявні в конкретній специфікації. Розроблено онтологію для визначення якості та складності конкретного програмного проекту на основі метричного аналізу. Порівняння (в Protégé 4.2) розробленої онтології для конкретного програмного проекту з фрагментами базової онтології для предметної галузі «Інженерія ПЗ» (частина «Якість і складність ПЗ. Метричний аналіз») дало можливість виявити, що у розробленій онтології конкретного програмного проекту відсутні 9 показників: «Control Variables», «Cost Of One Line», «Project Duration», «Project Type», «Quantity Of Code Lines», «Quantity Of Links Of Each Module», «Quantity Of Modules», «Share Of Design Stage In Lifecycle», «Total Quantity Of Operators», які складають множину відсутніх показників $\{sqcxi_{AS}, \dots, sqcxi_{AS}\}$.

Проводиться пошук правила для кожного елементу множини $\{sqcxi_{AS}, \dots, sqcxi_{AS}\}$ серед 42 правил для показників. Відповідно до цих правил, підраховуються лічильники відсутніх показників. Згідно правила №43, було встановлено, що у специфікації вимог до ПЗ АС широкоформатного фотодруку недостатньо атрибутів для 20 (з 24) метрик складності та якості ПЗ і, відповідно, до проведення метричного аналізу з високим рівнем достовірності. Після встановлення факту недостатності інформації специфікації вимог: проводиться сортування масиву відсутніх показників за спаданням значень елементів (вагових коефіцієнтів відсутніх показників); виведення індексів тих елементів відсортованого масиву, які мають значення, відмінне від 0. Так, для підвищення достовірності метричного аналізу специфікація вимог повинна бути доповнена наступними показниками в такій послідовності: 1) «Quantity Of Code Lines»; 2) «Quantity Of Modules»; 3) «Project Duration»; 4) «Total Quantity Of Operators»; 5) «Cost Of One Line»; 6) «Project Type»; 7) «Share Of Design Stage In Lifecycle»; 8) «Control Variables»; 9) «Quantity Of Links Of Each Module». Достовірність метричного аналізу на основі наявних показників: $q_{metr_{AS}} = 13,92$; $D_{metr_{AS}} = 0,42$.

Відбулось доповнення специфікації вимог до ПЗ. Після доповнення специфікації було знову розроблено онтологію (версію 2) для визначення якості конкретного ПЗ. Порівняльний аналіз розробленої онтології з фрагментами базової онтології предметної галузі «Інженерія ПЗ» (частина «Якість і складність ПЗ. Метричний аналіз») виявив, що специфікацію вимог до ПЗ було доповнено 2 показниками «Quantity Of Modules» (2-й у сортованому списку), «Total Quantity Of Operators» (4-й у сортованому списку). Тоді для підвищення достовірності метричного аналізу специфікація вимог повинна бути доповнена наступними показниками в такій послідовності: 1) «Quantity Of Code Lines»; 2) «Project Duration»; 3) «Cost Of One Line»; 4) «Project Type»; 5) «Share Of Design Stage In Lifecycle»; 6) «Control Variables»; 7) «Quantity Of Links Of Each Module». Достовірність метричного аналізу на основі наявних (після доповнення) показників: $q'_{metr_{AS}} = 10,57$; $D'_{metr_{AS}} = 0,56$. Приріст достовірності: $\Delta q_{metr_{AS}} = 3,35$, $\Delta D_{metr_{AS}} = 0,14$. Отже, розроблені інформаційна технологія та підсистема оцінювання достатності інформації специфікації вимог забезпечили приріст достовірності метричного аналізу для АС широкоформатного фотодруку на 14%.

Висновки

У статті вперше запропоновані інформаційна технологія оцінювання достатності інформації специфікації вимог для оцінювання якості ПЗ та структура підсистеми оцінювання достатності інформації специфікації вимог для оцінювання якості ПЗ. Вони призначені для підтримки оцінювання якості ПЗ на ранніх етапах життєвого циклу. Вони надають: висновок про достатність або недостатність інформації специфікації для оцінювання якості ПЗ за стандартом ISO 25010 та на основі результатів метричного аналізу; пріоритетність доповнення специфікації вимог до ПЗ відсутніми атрибутами та (або) показниками

(якщо інформації специфікації недостатньо); кількісну оцінку достовірності оцінювання якості ПЗ на основі наявних у специфікації атрибутів та(або) показників.

Експерименти довели, що використання розробленої інформаційної технології оцінювання достатності інформації специфікації вимог для визначення якості ПЗ навіть після одного доопрацювання специфікації вимог дало можливість підвищити достовірність оцінювання якості ПЗ за стандартом ISO 25010:2011 на 12% та достовірність оцінювання якості ПЗ на основі результатів метричного аналізу на 14% для автоматизованої системи широкоформатного друку.

Запропонована інформаційна технологія дає можливість підвищити достовірність оцінювання якості ПЗ на ранніх етапах життєвого циклу, а також підвищити якість ПЗ на ранніх етапах життєвого циклу.

Література

1. Jones C. The economics of software quality / C. Jones, O. Bonsignour. – Boston : Pearson Education, 2012. – 588 p.
2. Ishimatsu T. Hazard analysis of complex spacecraft using systems-theoretic process analysis / T. Ishimatsu, N. G. Levenson, J. P. Thomas, C. H. Fleming, M. Katahira, Yu. Miyamoto, R. Ujiie, H. Nakao, N. Hoshino // *Journal of Spacecraft and Rockets*. – 2014. – Vol. 51. – No. 2. – P. 509–522.
3. Yourdon E. Death March: The complete software developer's guide to surviving "Mission impossible" projects : 2nd edition / E. Yourdon. – Prentice Hall, 2003. – 256 p.
4. Шамие К. Системная инженерия для «чайников» / К. Шамие. – New York : John Wiley & Sons, 2014. – 76 с.
5. Маевский Д. Где и когда формируется качество программного обеспечения? / Д. Маевский, Ю. Козина // *Электротехнические и компьютерные системы*. – 2015. – № 18. – С. 55–59.
6. Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). System and software quality models : ISO/IEC 25010:2011. – [Introduced 01.03.2011]. – Geneva (Switzerland) : ISO, 2011. – 34 p. – (International standard).
7. Software Engineering. Guide to the software engineering body of knowledge (SWEBOK) : ISO/IEC TR 19759:2015. – [Introduced 01.10.2015]. – Geneva (Switzerland) : ISO, 2015. – 336 p. – (International standard).
8. Systems and software engineering. Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE). Measurement of system and software product quality : ISO 25023:2016. – [Introduced 31.03.2016]. – Geneva (Switzerland) : ISO, 2016. – 45 p. – (International standard).
9. Pomorova O. The Intelligent Decision Support System for Choice of Software Project / O. Pomorova, T. Hovorushchenko // *Journal of Information, Control and Management Systems*. – 2012. – Vol. 10. – No. 1. – P. 87–96.
10. Fenton N. Software Metrics: A Rigorous and Practical Approach / N. Fenton, J. Bieman. – CRC Press, 2014. – 617 p.
11. Поморова О. В. Аналіз методів та засобів оцінки якості програмних систем / О. В. Поморова, Т. О. Говорущенко // *Радіоелектронні і комп'ютерні системи*. – 2009. – № 6. – С. 148–158.
12. Chen A. Visual models for software requirements / A. Chen, J. Beatty. – Washington : MS Press, 2012. – 444 p.
13. Rehman T. Analysis of requirement engineering processes, tools/techniques and methodologies / T. Rehman, M. N. A. Khan, N. Riaz // *International Journal of Information Technology and Computer Science*. – 2013. – Vol. 5. – No. 3. – P. 40–48.
14. Hovorushchenko T. Ontological Approach to the Assessment of Information Sufficiency for Software Quality Determination / T. Hovorushchenko, O. Pomorova // *CEUR-WS*. – 2016. – Vol. 1614. – P. 332–348.
15. Hovorushchenko T. Models and Methods of Evaluation of Information Sufficiency for Determining the Software Complexity and Quality Based on the Metric Analysis Results / T. Hovorushchenko // *Central European Researchers Journal*. – 2016. – Vol. 2. – Issue 2. – P. 42–53.
16. Systems and software engineering. Life cycle processes. Requirements engineering : ISO/IEC/IEEE 29148:2011. – [Introduced 01.12.2011]. – Geneva (Switzerland) : ISO, 2011. – 28 p. – (International standard).

Отримана/Received : 19.4.2017 р. Надрукована/Printed : 9.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., професор О.В. Боровик

УДК 621.391 160164

С.М. ЛИСЕНКО, К.Ю. БОБРОВНИКОВА, В.І. ДМИТРУК, А.С. АДАМЕНКО

Хмельницький національний університет

МЕТОД ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЖИВУЧОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ В КОРПОРАТИВНИХ МЕРЕЖАХ НА ОСНОВІ САМОАДАПТИВНОСТІ

В роботі представлено метод забезпечення живучості комп'ютерних систем в корпоративних мережах на основі самоадаптивності. Метод дозволяє забезпечити живучість комп'ютерних систем в корпоративних мережах шляхом адаптивного переналаштування конфігурації мережі та параметрів комп'ютерних систем. Метод базується на кластерному аналізі ознак, отриманих шляхом дослідження появи кібер-загроз щодо комп'ютерних систем в корпоративних мережах.

Ключові слова: адаптивні системи, самоадаптивність, резильєнтність, кібер-загроза, кібер-атака, шкідливе програмне забезпечення, DDoS-атака, фішинг.

S. LYSENKO, K. BOBROVNIKOVA, V. DMYTRUK, A. ADAMENKO

Khmelnitskyi National University

TECHNIQUE FOR COMPUTER SYSTEMS RESILIENCE IN THE CORPORATE AREA NETWORKS BASED ON THE SELFADAPTIVITY

The paper presents a technique for computer systems resilience in the corporate area networks based on the selfadaptivity. It allows the persisting of the computer systems resilience in networks by adaptive based on the reconfiguring of the network configuration and computer systems parameters. The method is based on cluster analysis using the features obtained by analysis of the of cyber threats concerning to the computer systems in corporate area networks. An approach employs the semi-supervised fuzzy c-means clustering. Use of the developed method makes it possible to keep the computer systems functioning in the situation of cyber –attacks.

Keywords: computer systems, adaptive systems, selfadaptivity, resilience, cyber threat, attack, malware, DDoS attack, fishing.

Вступ. На сьогоднішній день кібер-загрози є однією з найбільш небезпечним явищем в інформаційному світі [1], а також одним з основних можливостей нелегального заробітку в мережі Інтернет. Відомими кібер-загрозами є DDoS атаки (розподілені атаки типу «відмова в обслуговуванні»), атаки для здійснення збору та викрадення конфіденційної інформації користувачів, розсилання спаму з шкідливим програмним забезпеченням (ШПЗ), застосування засобів нав'язування реклами, фішинг, накрутка клік-лічильників (клікфрод), створення пошукового спаму, використання інфікованих комп'ютерів для зберігання нелегального матеріалу (піратське ПЗ, порнографія тощо) та в якості проксі-серверів для анонімізації доступу в мережі Інтернет. Щороку по всьому світу кібер-атакам піддаються близько 800 млн комп'ютерних систем (КС), щосекунди – близько 60 ПК. За попередній рік кібер-атаки нанесли збитків світовій економіці в \$110 млрд [2].

Відомі методи боротьби з кібер-атаками демонструють їх недостатню ефективність, оскільки у випадку успішної атаки з боку зловмисника не вирішують проблему подальшого нормального функціонування комп'ютерної системи в корпоративній мережі, тобто не забезпечують її живучість (резильєнтність).

Тому постає актуальна науково-практична задача розробки методу забезпечення живучості (резильєнтності) комп'ютерних систем в корпоративних мережах на основі самоадаптивності.

Самоадаптивні системи як засоби резильєнтності комп'ютерних систем в умовах здійснення кібер-атак. Поява нових кібер-загроз, збільшення кількості шкідливого програмного забезпечення вимагає нових інноваційних підходів до забезпечення інформаційної безпеки комп'ютерних систем в корпоративних мережах [3]. Наслідком безперервної еволюції кібер-загроз, системи інформаційної безпеки повинні ставати більш універсальними, гнучкими та самоадаптивними, а саме такими, що здатні до самопереконфігурації в залежності до зміни експлуатаційних контекстів і умов. Велика кількість умов, що впливають на нормальне функціонування КС з точки зору їх захисту та забезпечення живучості у випадку здійснення кібер-атак, вимагає пошуку нових методів, які б мали здатність системи здійснювати налаштування її поведінки у відповідь на його атаки.

Одним з найперспективніших напрямків, що вирішують проблеми забезпечення живучості (резильєнтності) є самоадаптивні системи [4].

Адаптивні системи в процесі функціонування здатні накопичувати інформацію з метою здійснення оцінки змін зовнішніх та/або внутрішніх умов та пристосовуватись до цих змін шляхом пасивної або активної адаптації власної поведінки. Пасивна адаптація передбачає реагування адаптивної системи на зміну умов шляхом оптимальної зміни її внутрішнього стану, активна адаптація полягає у здійсненні системою впливу на зовнішні умови з метою оптимальної зміни цих умов. Адаптація систем, що самоналаштовуються, досягається за рахунок зміни параметрів системи. Адаптивні системи, що самоорганізуються, пристосовуються до зміни зовнішніх умов шляхом зміни власної структури (організації). Метою адаптації може бути покращення функціональності, ефективності роботи системи та забезпечення її живучості в умовах повної або часткової невизначеності факторів, які можуть здійснювати

вплив на адаптивну систему [5].

Метод забезпечення живучості комп'ютерних систем в корпоративних мережах на основі само адаптивності. Запропоновано метод забезпечення живучості комп'ютерних систем в корпоративних мережах на основі самоадаптивності. Метод дозволяє забезпечити живучість комп'ютерних систем в корпоративних мережах шляхом адаптивного переналаштування конфігурації мережі та параметрів КС. Метод базується на кластерному аналізі ознак, отриманих шляхом дослідження появи потенційних кібер-загроз щодо комп'ютерних систем в корпоративних мережах.

Запропонований метод використовує нечітку кластеризацію с-середніх з частковим навчанням. Використання нечіткої кластеризації дозволяє отримати вищу точність та змістовність результату кластеризації в умовах інформаційної невизначеності [6].

Об'єктами кластеризації є вектори ознак, побудовані на основі відслідковування подій, що можуть вказувати на появи кібер-загрози, як комп'ютерних системах, так і в корпоративній мережі.

Метою методу є генерація сценаріїв поведінки комп'ютерних систем в мережі в умовах кібер-атак.

Метод складається з наступних кроків (рис.1):

- 1) збір вхідного мережного трафіка;
- 2) аналіз результатів роботи антивірусних засобів комп'ютерних систем;
- 3) побудова вектора ознак, вилучених з вхідного трафіка та звітів антивірусних засобів;
- 4) здійснення нечіткої кластеризації з частковим навчанням. Метою є кластеризації продукування результуючого сценарію, який адаптивно здійснює переналаштування сумісно множини параметрів щодо КС та мережі та дозволить продовження функціонування КС, а саме забезпечить її резильєнтність;
- 5) застосування вказівок щодо сценарію.

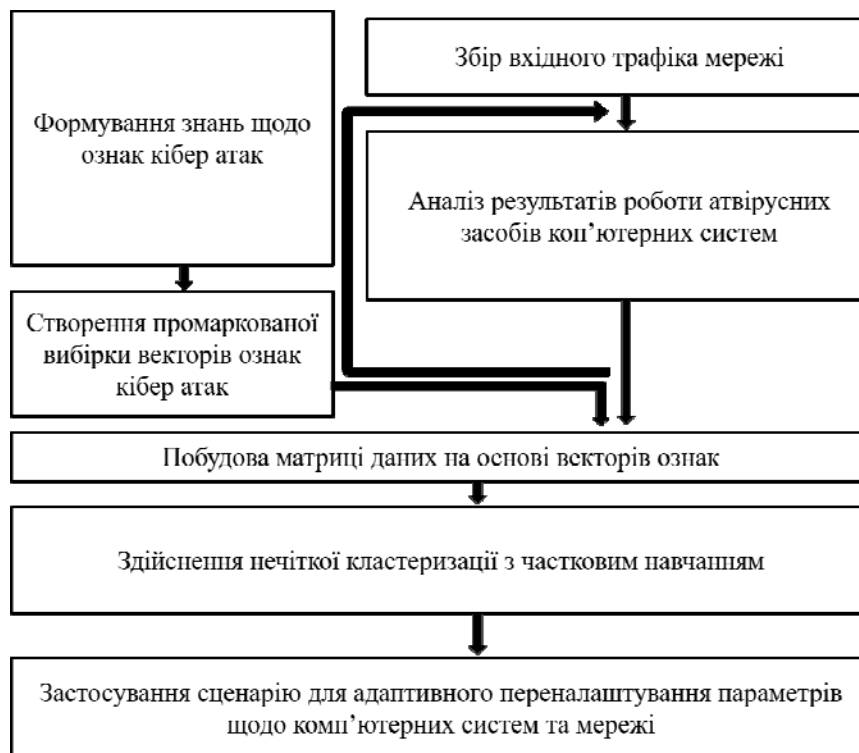


Рис. 1. Схема функціонування запропонованого методу

Формування знань щодо ознак, отриманих з вхідного мережного трафіка та з комп'ютерних систем в мережі.

З метою виявлення кібер-атак мережного типу здійснюється моніторинг активності мережі, і виконується постійний запис усіх параметрів, що можуть вказувати на появу кібер-атаки.

З боку комп'ютерних систем здійснюється постійне відслідковування системних подій, активності процесора, активності системних процесів та ін. Також виконується аналіз звітів антивірусних засобів комп'ютерних систем.

Таким чином, зібрану інформацію можна подати як вектор ознак, що вказуватиме на природу можливої кібер-загрози щодо КС:

$$\overline{W}_{d_i} = (t, o_V, o_T, o_W, o_B, o_{LB}, o_S, o_M, o_R, a_{exp}, a_{buf}, a_{DoS}, a_{pf}, a_s, a_{ps}, a_{mm}, a_{SQL}, a_{XSS}, a_{ph}, a_{DNSsp}, a_{IPsp}), \quad (1)$$

де t – тип КС;

o_V – поява ШПЗ типу вірус;

o_T – поява ШПЗ типу троянська програма;

o_W – поява ШПЗ типу worm-вірус;
 o_B – поява ШПЗ типу в Backdoors;
 o_{LB} – поява ШПЗ типу Logic Bombs;
 o_S – поява ШПЗ типу Spyware;
 o_M – поява ШПЗ типу Mailbombing;
 o_R – поява ШПЗ типу Rootkit;
 a_{exp} – exploit-атака;
 a_{buf} – атака типу buffer overflows;
 a_{DoS} – поява Denial-of-Service атаки щодо КС;
 a_{pf} – ping flooding атака;
 a_s – smurf атака;
 a_{ps} – ping sweep атака;
 a_{mm} – man-in-the-middle атака;
 a_{SQL} – SQL/PHP-ін'єкції без відома адміністратора ресурсу;
 a_{XSS} – XSS-атака;
 a_{ph} – Phishing-атаки
 a_{DNSsp} – DNS spoofing атака;
 a_{IPsp} – IP spoofing атака.

Знання формуються на основі ознак властивих відомим кібер-загрозам, а також підозрілою поведінкою трафіка в мережі та програмного забезпечення в комп'ютерній системі:

$$\text{if } ((T_{\text{ins}}) \text{ and } (IP_{\text{ins}} \in A)) \text{ or } ((T_{\text{out}}) \text{ and } (IP_{\text{out}} \notin A)) \Rightarrow sc_1,$$

де $T_{\text{ins}}, T_{\text{out}}$ – вхідний та вихідний трафік відповідно;
 $IP_{\text{ins}}, IP_{\text{out}}$ – IP-адреси джерел вхідного та вихідного трафіка відповідно;
 A – множина IP-адрес локальної мережі;
 sc_1 – множина дій по відсіканню вхідного/вихідного трафіка.

$$\text{if } (T_{\text{type}} = \text{type}) \text{ and } (T_{\text{vol}} > \lim_{\text{type}}) \Rightarrow sc_2, \text{ де}$$

T_{type} – тип трафіка;

T_{vol} – обсяг трафіка;

$\lim_{\text{type}}$ – припустимі межі обсягу для даного типу трафіка;

sc_2 – множина дій по обмеженню обсягу потенційно шкідливого трафіка.

$$\text{if } (t_{\text{mod}} \in [0, 900] \text{ and } t_{\text{med}} \in [0, 900] \text{ and } t_{\text{aver}} \in [0, 900]) \text{ and}$$

$$\text{if } ((n_A \in (5, \infty) \text{ and } s_A \in (65535, \infty)) \text{ or } (n_{UA} \in (8, \infty) \text{ and } s_{UA} \in (65535, \infty))) \Rightarrow sc_2$$

$$\text{if } t_{\text{mod}} \in [0, 900] \text{ and } t_{\text{med}} \in [0, 900] \text{ and } t_{\text{aver}} \in [0, 900] \text{ and}$$

$$\text{and } f_S = 0 \text{ and } n_D \in [8; \infty] \Rightarrow sc_3$$

$$\text{if } t_{\text{mod}} \in [0, 900] \text{ and } t_{\text{med}} \in [0, 900] \text{ and } t_{\text{aver}} \in [0, 900] \text{ and}$$

$$\text{and } n_{IP} \in (5, \infty) \text{ and } s_{IP} \in (65535, \infty) \Rightarrow sc_4$$

$$\text{if } ((l_N \in [75, 255] \text{ and } n_U \in (27, 37]) \text{ or } (e_N \geq f_{E_{B32}} \text{ or}$$

$$\text{or } (e_R \geq f_{E_{B64}} \text{ or } e_R \geq f_{E_{B256}}) \text{ or } f_{UR} = 1) \text{ and } l_p > 300 \Rightarrow sc_5$$

(2).

sc_5 – множина дій по локалізації та блокуванню ШПЗ типу бот.

Створення промаркованої вибірки векторів ознак кібер-загроз на основі знань.

Вибірка формується на основі знань щодо ознак кібер-загроз. На основі наявної вибірки здійснюється часткове навчання кластеризатора. Також на базі знань також створюється промаркована навчальна вибірка векторів ознак кіберзагроз. Прийнемо промарковану вибірку даних як $X = \{x_i\}_{i=1}^{N_x}$, тоді немаркована вибірка позначиться як $Y = \{y_i\}_{i=1+N_x}^{N_z}$, де N_x – кількість об'єктів в промаркованій вибірці даних, N_z – загальна кількість об'єктів.

Прийmemo $H = \{h_i\}_{i=1}^{N_h}$ – множина наперед визначених кластерів об'єктів, де N_h – кількість кластерів, належність вектора ознак кластеру h_i свідчить про застосування одного з можливих сценаріїв переконфігурації параметрів мережі і/або комп'ютерної системи. Кожен вектор ознак з промаркованої вибірки даних належить одному з множини наперед визначених кластерів.

З векторів ознак атаки формується матриця даних V , кожен рядок якої є вектором ознак атак $\overline{W_d}$ щодо певної КС в мережі, $V = (v_{ij})_{i=1, j=1}^{N_z, N_q}$, $V(i, \cdot) = \overline{W_d}$, де N_q – загальна кількість ознак, які вказують на здійснення атаки щодо КС в мережі.

Здійснення нечіткої кластеризації з частковим навчанням з метою генерації сценарію переналаштування параметрів мережі та КС.

На даному етапі здійснюється нечітка кластеризація векторів ознак атаки щодо КС з частковим навчанням на основі промаркованої навчальної вибірки. Задача кластеризації з частковим навчанням може опишемо функцією $f_{cluster} : W \rightarrow H$.

Результатом кластеризації є ступені приналежності векторів ознак до h кластерів $H = \{h_i\}_{i=1}^{N_h}$, де належність вектора ознак $\overline{W}$ кластеру h_i , свідчить про обраний сценарій здійснення адаптивного переналаштування параметрів мережі та КС в залежності від типу атаки. В якості відстані між об'єктом кластеризації та центром кластера в роботі було застосовано норму Махаланобіса.

Застосування сценаріїв. На основі приналежності певного вектора ознак атаки до певного кластера здійснюється застосування сценарію, що містить інформацію щодо адаптивного переналаштування параметрів мережі та КС залежно від типу атаки. З цією метою виконується розсилання інформації про атаку, а також вказівки КС мережі.

Експерименти. Для визначення ефективності роботи запропонованого методу було проведено ряд експериментів. З цією метою було згенеровано тестове програмного забезпечення, що емувало ряд кібер-атак щодо комп'ютерних систем в мережі. Дане програмне забезпечення було застосовано на КС локальної мережі, а також було використано ззовні по відношенню до вказаної мережі. Для експериментів була використана локальна мережа з 50 комп'ютерних систем. Експеримент тривав 24 години. Для проведення експериментів в якості навчальної вибірки було промарковано 10% векторів ознак щодо атак.

На рис. 2 відображено навчальну вибірку у вигляді проекції на площину множини векторів ознак атак, розподілених на результуючі кластери.

Результати роботи методу представлені на рис. 3, де продемонстровано прийняття рішення щодо певних атак.

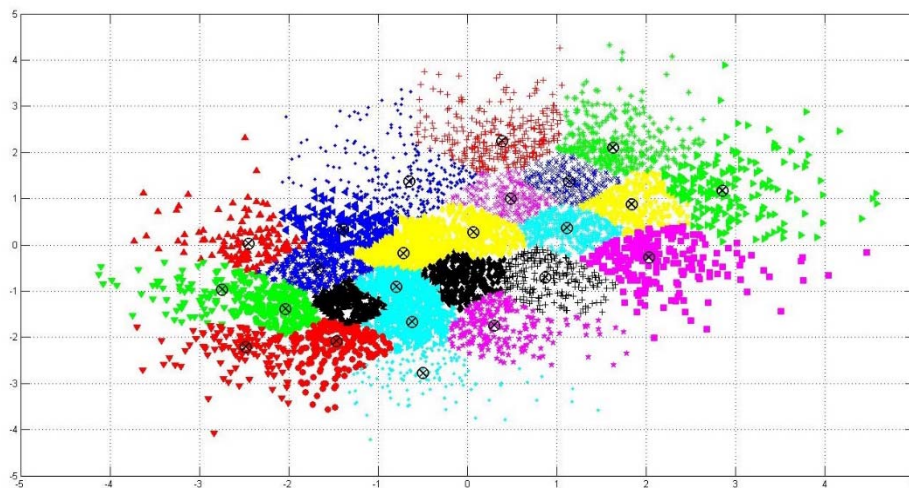


Рис. 2. Навчальна вибірка у вигляді проекції на площину множини векторів ознак атак, розподілених на результуючі кластери

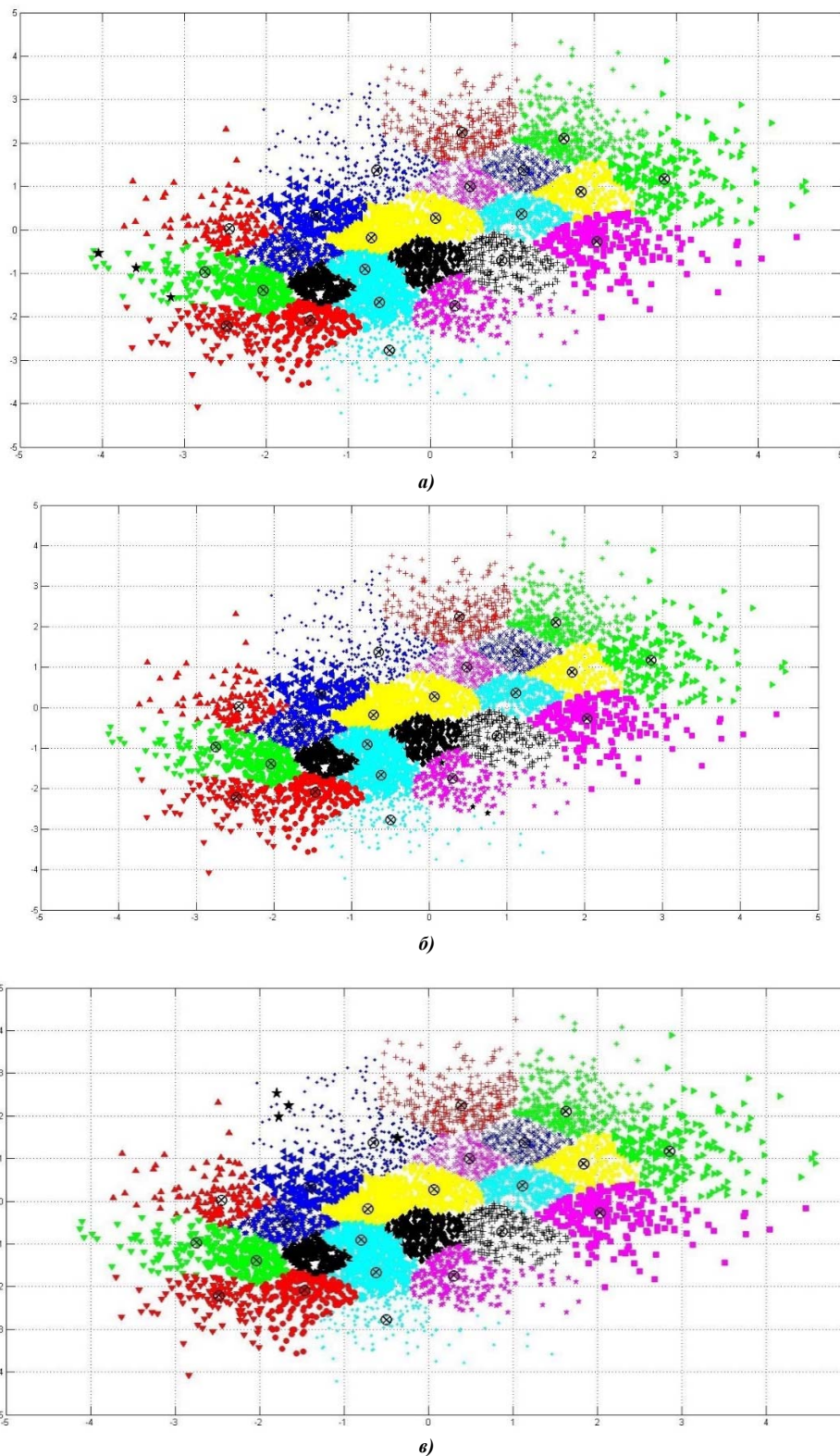


Рис. 3. Результати кластеризації (маркери у вигляді зірок):
а) для smurf атаки; б) для ping flooding атаки; в) ping sweep атаки

Таким чином залучення методу демонструє здатність забезпечення резильєнтності комп'ютерних систем в умовах кібератак шляхом залучення адаптивних підходів до їх захисту.

Висновки. Запропоновано метод забезпечення живучості комп'ютерних систем в корпоративних мережах на основі самоадаптивності. Метод дозволяє забезпечити живучість комп'ютерних систем в корпоративних мережах шляхом адаптивного переналаштування конфігурації мережі та параметрів комп'ютерних систем. Метод базується на кластерному аналізі ознак, отриманих шляхом дослідження появи потенційних кібер-загроз щодо комп'ютерних систем в корпоративних мережах.

Запропонований метод використовує нечітку кластеризацію с-середніх з частковим навчанням. Використання нечіткої кластеризації дозволяє отримати вищу точність та змістовність результату

кластеризації в умовах інформаційної невизначеності.

Література

1. Sochor, T., Zuzcak, M., Bujok, P. Analysis of attackers against windows emulating honeypots in various types of networks and regions. In: International Conference on Ubiquitous and Future Networks, 2016, pp. 863-868.
2. Tom C. W. Lin Financial Weapons of War Minnesota Law Review, Vol. 100, p. 1377, 2016 Temple University Legal Studies Research Paper No. 2016.
3. Kizza Joseph Migga Computer Network Security. Springer. ISBN: 0-387-20473-3.
4. Betty H.C. Cheng, Rog'erio de Lemos, Holger Giese, Paola Inverardi, Jeff Magee Software Engineering for Self-Adaptive Systems: A Research Roadmap. International Journal of Software Engineering & Applications (IJSEA), Vol.6, No.4, 2015.
5. Macías-Escrivá F. D. et al. Self-adaptive systems: A survey of current approaches, research challenges and applications. Expert Systems with Applications. – 2013. – Т. 40. – №. 18. – С. 7267-7279.
6. A comparison of distance-based semi-supervised fuzzy c-means clustering algorithms. Lai, D.T.C., Garibaldi, J.M.: Fuzzy Systems (FUZZ), In 2011 IEEE International Conference, 2011. – pp. 1580-1586.

Отримана/Received : 21.5.2017 р. Надрукована/Printed : 10.6.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф.. Боровик В.В.

УДК 004.942:378.147

К.М. ЯЛОВА, К.В. ЯШИНА

Дніпровський державний технічний університет, м. Кам'янське

УНІВЕРСАЛЬНА ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛЬ АКАДЕМІЧНОЇ MASSIVE OPEN ON-LINE COURSE ПЛАТФОРМИ

В роботі представлено результати побудови універсальної функціональної моделі академічної Massive open on-line course платформи. Запропонований графічний опис розробленої моделі надає наочне представлення про діючі особи предметної області, їх функції та схеми обміну інформацією. Наведена математична модель описує предметну область у формалізованому вигляді, що дозволяє більш поглиблено вивчати процеси внутрішнього трансферу знань у системі «студент-викладач». Виявлені функціональні залежності дозволяють перейти до логічного та фізичного проектування бази даних платформи та її програмної реалізації.

Ключові слова: дистанційне електронне навчання, функціональна модель, MOOC-платформа, внутрішній трансфер знань

K. YALOVA, K. YASHYNA

Dnipro State Technical University, Ukraine

UNIVERSAL FUNCTIONAL MODEL OF THE ACADEMIC MASSIVE OPEN ONLINE COURSE PLATFORM

The main aim of the article is to provide results of the data domain analysis by the means of the academic massive open on-line course platform universal functional model as effective distance e-learning tools. In the article the results of the academic massive open on-line course platform universal function model creation are provided. Authors have developed the universal functional model on the base of the functional requirements and results of the comparative analysis of the modern distance and e-learning systems. The offered graphic representation of the developed model provides the visual description of data domain actors, their functions and information exchange diagrams. The using of the created functional model has allowed developing of the academic massive open on-line course platform architecture. The revealed functional dependencies are given the possibilities for modelling of the logical and physical platform database and its software. The given mathematical model describes data domain in the formalized form which allows studying more profoundly processes of an internal knowledge transfer in the «student-teacher» system.

Keywords: distance and e-learning, functional model, MOOC-platform, internal knowledge transfer.

Вступ

Швидкий розвиток інформаційних технологій (ІТ) дозволяє використовувати комп'ютерну техніку не тільки для обробки, зберігання або передачі інформаційних ресурсів (ІР), але також в якості засобу організації навчального середовища [1]. Розвиток технологій дистанційного навчання пройшов стадії від розповсюдження навчальних матеріалів через електронну пошту, системи електронного дистанційного навчання (ЕДН) на кшталт Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment (MOODLE) до масивних відкритих платформ он-лайн курсів - Massive open on-line courses (MOOC). Серед яких слід відзначити EDX Гарвардського університету (США). MOOC – це навчальний курс із масовою кількістю інтерактивних користувачів, які використовують технології електронного навчання та відкритого доступу до знань через Інтернет. У загальному розумінні академічна MOOC-платформа – це система, що створена засобами інформаційних та цифрових технологій і забезпечує процес набуття знань, коли джерело інформації та студенти відокремлені часом та відстанню один від одного [2]. Слово «академічна» в даному визначенні відноситься до обов'язкового правила відповідності навчальних матеріалів платформи до встановлених нормативних документів певного університету, з певного напрямку підготовки чи

спеціальності. До таких нормативних документів відносяться загальнодержавні стандарти підготовки фахівців, навчальні плани напрямів та спеціальностей і робочі програми дисциплін.

В цілому, розробка та впровадження академічної МООС-платформи до навчально-інформаційного простору будь-якого сучасного університету дозволяє [3]:

- надати розподілений доступ до електронних версій навчально-методичної літератури, що розробляється викладачами, за циклами дисциплін навчальних планів, у рамках певної форми навчання, кваліфікаційного рівня, року та семестру;
- оптимізувати процес розповсюдження та уніфікованого надання електронних версій навчальних матеріалів;
- надати інструментарій створення електронних завдань і тестів для оцінювання отриманих знань студентів (проведення проміжних, підсумкових контролів та самооцінювання);
- застосовувати різноманітні форми представлення теоретичних матеріалів: відео-лекції, мультимедійні ролики, он-лайн семінари тощо;
- отримувати статистичні дані стосовно активності студентів, кількості їх звернення до навчальних матеріалів та результатів оцінювання їх знань.

Постановка проблеми

В умовах постійного реформування вищої освіти, неупинного зменшення годин аудиторного навантаження та підвищення вимог до професійного рівня випускників вищих учбових закладів України з боку роботодавців, наступні питання формують перед науковцями ряд актуальних задач, а саме:

- створення методик застосування світового досвіду підтримки належного рівня вищої освіти за рахунок впровадження дистанційних форм навчання та перевірки отриманих знань;
- розробка механізмів підвищення інтелектуального потенціалу молоді;
- підвищення творчої активності та рівня ІТ-компетенцій студентів і викладачів у відповідності до інновацій та нововведень у сфері ІТ.

Метою даної статті є представлення результатів аналізу предметної області (ПрО) при розробці академічної МООС-платформи. В якості задач дослідження автори визначили наступне:

- встановлення функціональних вимог до академічної МООС-платформи, як до сучасного інструментарію дистанційного набуття знань;
- опис схеми обміну ІР в системі «викладач-студент»;
- розробка функціональної моделі ПрО, що представляє її у вигляді пов'язаного набору функцій діючих осіб;
- представлення створеної функціональної моделі в наочному графічному вигляді засобами методології моделювання бізнес-процесів - Business Process Model and Notation (BPMN) та у вигляді математичної моделі;
- розробка архітектури академічної МООС-платформи, що визначає рівні, складові та структуру програмних модулів системи.

Аналіз останніх досліджень

Дослідження в сфері ЕДН розподіляються за видами інформаційних систем (ІС) та засобів, що забезпечують навчання у відриві від джерела знань, а саме:

- системи ЕДН (distance learning and e-learning system), масивні відкриті он-лайн курси, віртуальні навчальні кімнати (virtual classroom, virtual synchronous classrooms, virtual campus), хмарні навчальні середовища (cloud computing learning environment). Це засоби, що підвищують ефективність інформаційно-навчального середовища та стосуються безпосередньо процесу опанування новими знаннями;
- системи керування навчанням (Learning management systems (LMS)) – це системи, що використовуються лише для керування та поширення навчальних он-лайн матеріалів із забезпеченням сумісного доступу до них;
- системи керування контентом (Contents management systems (CMS)) – це ІС або комп'ютерні програми, що використовуються для забезпечення і організації сумісного процесу створення, редагування та керування вмістом систем ЕДН, LMS, МООС;
- системи поширення інтерфейсу та контенту (Screen share applications (SSA) та Contents sharing application (CSA)) – це системи, що задають механізми відображення навчальних матеріалів засобами різноманітних браузерів користувачів.

В Україні питаннями розвитку дистанційної та електронної освіти займалися А. А. Андреев, Б. І. Шуневич, Є. С. Полат, Н. В. Казарінова, Г. Яценко, С. Степаненко, В. Ю. Стрельников, В. Г. Кремень та ін. Авторами цієї статті був здійснений порівняльний аналіз найбільш популярних сучасних провайдерів навчальних он-лайн сервісів, а саме: систем ЕДН – Sakai, WRC e-Education System, Atutor, ILIAS, віртуальних навчальних середовищ – Moodle, Prometey, МООС-платформи – EDX [4]. На світовому рівні науковцем, що займається розробкою нових інформаційно-комп'ютерних засобів ЕДН та питаннями впровадження таких засобів до вищих навчальних закладів є професор Е. Smutnova-Trybulska (університет Силезії, Польща), роботи якої присвячені питанням впровадження нових інформаційно-комунікаційних технологій до сфери вищої освіти, наприклад [5]. В роботі [6] професора С. D. Sixto (університет Екстремадура, Іспанія) з аналізом та пропозиціями описується модель впровадження он-лайн навчання до сучасної вищої освіти, професор М. Сарау (університет Константина Філософа, Словаччина) в роботі [7]

наводить результати аналізу процесу розробки он-лайн курсів засобами системи Moodle та встановлює можливість використання цього уніфікованого середовища для підготовки фахівців-програмістів. В роботі [8] професор Р. Kommers (університет Твенте, Нідерланди) визначає педагогічні методи навчання із застосування електронних та комп'ютерних засобів і систем. Професор Т. Issa (Куртін університет, Австралія) в роботі [9] представляє результати порівняльного аналізу та оцінки рівня застосування новітніх інформаційно-комп'ютерних засобів для організації дистанційного навчання в Австралії, Чехії, Нідерландах, Польщі, Португалії, Росії, Словаччині, Іспанії та Україні.

Незважаючи на глибину проведених досліджень та різноманітність наукових праць, актуальними завданнями досліджень залишаються: опис процесу розробки систем ЕДН, аналіз вимог для їх програмної реалізації. Не достатнього висвітлення набули питання розробки універсальних функціональних, об'єктних та математичних моделей ПрО, що формалізують процес дистанційного набуття знань засобами ІС. Особливої уваги також заслуговує вирішення питання встановлення місця і ролі ЕДН в традиційних денній та заочній освіті та імплементації систем ЕДН у сферу діяльності університетів України.

Результати дослідження

Як і для будь-якої ІС життєвий цикл академічної МООС-платформи складається з п'яти основних етапів: аналізу функціональних вимог замовника або аналізу ПрО, проектування, програмної реалізації, тестування та експлуатації. Використання спіральної моделі життєвого циклу, що була обрана авторами для розробки академічної МООС-платформи, дозволяє одночасно мати робочу версію програмного застосування, уточнювати вимоги до проекту, визначати якість прийнятих проектних рішень і планувати роботу наступної версії системи.

Відповідно до мети та задач дослідження в основній частині роботи автори представляють результати виконання аналізу ПрО. Під аналізом ПрО розуміється вид наукового дослідження, при якому реальний або уявний об'єкт розподіляють на складові частини (елементи), а зв'язки між ними, схеми взаємодії та ресурси, що супроводжують цю взаємодію піддають формальному опису. Вхідними даними для аналізу ПрО є функціональні вимоги до ІС, що розробляється та задачі, що підлягають автоматизації. Саме це формує систему граничних умов, що накладають обмеження на кількість, склад та докладність атрибутивного опису діючих осіб, статичних та динамічних сутностей ПрО. Результатом аналізу ПрО є розроблені функціональна та об'єктна моделі ПрО, що можуть бути представлені в графічному вигляді для наочності і простоти сприйняття опису та у вигляді математичної моделі.

Функціональна модель – це опис ПрО, в якому акцентується функціональний аспект існування ПрО, який базується на аналізі семантики об'єктів та явищ, виконаний без орієнтування та прив'язки до конкретних програмних або технічних комп'ютерних засобів [10].

При розробці функціональної моделі ПрО автори застосовували наступні вимоги до неї [11]:

- наявність чіткої формалізації, що забезпечує однозначний опис структури ПрО;
- зрозумілість для замовників і розробників на основі застосування графічних нотацій функціонально-орієнтованої методології;
- можливість реалізації, що передбачає наявність засобів фізичної реалізації моделі ПрО засобами існуючих програмних засобів та ІТ;
- відсутність надмірності інформації (видалення зайвих або повторюваних даних);
- забезпечення оцінки ефективності реалізації моделей ПрО на основі певних методик та показників.

Особливістю розробленої функціональної моделі ПрО є її універсальність – властивість, яка дозволяє представити дані та знання про ПрО в стандартному узагальненому вигляді, що буде зрозумілим не лише для професіоналів із розробки ІС, але і звичайним діючим особами ПрО. До відмінних рис універсальної функціональної моделі ПрО можна віднести:

- узагальнений опис ПрО за допомогою стандартних функціональних залежностей та структурних особливостей об'єктів без прив'язки до конкретного університету, напряму підготовки чи дисципліни;
- опис схеми взаємодії діючих осіб відображає реальні процеси ПрО у вигляді ієрархічних залежностей дій, функцій та подій реальних об'єктів, які відбуваються з ними у визначений час або інтервал часу [12];
- застосування природної ієрархічної класифікації об'єктів ПрО, що об'єктивно відображає складну структуру у вигляді зв'язку «один-до-багатьох».

Універсальний опис функціональних залежностей об'єктів ПрО дає змогу здійснити швидкий та простий перехід до програмної реалізації бази даних та програмного забезпечення академічної МООС-платформи.

Зазвичай, функціональна модель ПрО будується на трьох рівнях: на зовнішньому рівні (визначення вимог), на концептуальному рівні (специфікація вимог) і внутрішньому рівні (реалізація вимог). Так, на зовнішньому рівні модель відповідає на запитання, що повинна виконувати система, тобто визначається склад основних компонентів системи: об'єктів, функцій, подій, організаційних одиниць, технічних засобів. На концептуальному рівні модель відповідає на запитання, як повинна функціонувати система. Інакше кажучи, визначається характер взаємодії компонентів системи одного і різних типів. На внутрішньому рівні модель відповідає на запитання: за допомогою яких програмно-технічних засобів реалізуються вимоги до

системи.

Склад функціональної моделі суттєво залежить від контексту конкретного ІТ-проекту та може бути представлений у вигляді вербального опису або набору графічних діаграм. Функціональну модель ПрО часто називають моделлю бізнес-процесів або прецедентів ПрО [13]. Бізнес-процес визначається як логічно завершений набір взаємопов'язаних і взаємодіючих видів діяльності, що підтримує функціонування організації та реалізує її політику, направлену на досягнення поставлених цілей.

Розробка функціональної моделі ПрО спиралася на визначені авторами наступні функціональні вимоги до академічної МООС-платформи. Загально функціональні вимоги до платформи, як до системи ЕДН:

- забезпечення своєчасної і цілодобової доставки навчальних матеріалів засобами Інтернет;
- отримання інформаційної підтримки від системи у вигляді консультацій, порад, підказок та еталонних розв'язків завдань. Інформаційне забезпечення процесів отримання теоретичних знань, практичних навиків та контролю рівня засвоєння нової інформації;
- надання можливості корегувати або задавати власний ритм навчання та об'єм знань, що призводить до підвищення інтелектуального потенціалу за рахунок самоорганізації навчання.
- формування єдиного центру агрегованих та узагальнених знань заданої ПрО, що дозволяє зменшити час пошуку необхідної інформації навчального характеру.

Специфічні функціональні вимоги до академічної МООС-платформи:

- відповідність структури та змісту он-лайн курсів нормативним установчим документам підготовки фахівців із певного напрямку, спеціальності та дисципліни;
- побудова логічно-змістовних траєкторій ЕДН, що відповідають міждисциплінарним зв'язкам та складу всіх видів початкової діяльності;
- реалізація віртуальних практикумів або лабораторних занять відповідно до змісту та мети кожної навчальної дисципліни;
- автоматизоване формування журналів поточного контролю викладача з автоматичним внесенням результатів набуття знань та проведення контролів;
- представлення навчальних матеріалів у різних форматах включно із відео-форматом та мультимедією;
- програмне забезпечення механізмів зворотного зв'язку між студентом та викладачем із можливістю накопичення розв'язків завдань студентів в єдиній базі даних.

Зіставивши визначені функціональні вимоги та встановленні переваги і недоліки існуючих програмних рішень, авторами була розроблена функціональна модель ПрО типу AS-TO-BE (як повинно бути), що наведена на рисунку 1 засобами графічних нотацій методології проектування бізнес-процесів BPMN 2.0.



Рис. 1. Функціональна модель академічної МООС-платформи

Обґрунтування адекватності розробленої функціональної моделі базується на властивостях стійкості та об'єктивності графічних нотацій методології BPMN 2.0, яка є сучасним стандартом моделювання бізнес-процесів, що задає графічну мову для відображення ПрО у вигляді набору діаграм. Методологія BPMN 2.0 формує алфавіт інтуїтивно зрозумілих елементів, який дозволяє описати складні семантичні конструкції та зв'язки [14]. Окрім того, специфікація BPMN 2.0 визначає як діаграми, що описують бізнес-процеси, можуть бути трансформовані у виконавчі моделі на мові BPEL (Business Process Execution Language) – мові на основі XML для формалізованого опису бізнес-процесів і протоколів їх взаємодії між собою. BPEL розширює модель взаємодії веб-служб і додає до неї підтримку транзакцій.

Розробка функціональної моделі академічної МООС-платформи дозволяє визначити діючих осіб ПрО, зіставити їх із ролями користувачів системи (студенти, викладачі, співробітники центру моніторингу якості навчання та незареєстровані користувачі) і описати їх прецеденти (доступні дії) для кожного типу користувачів.

Дія, з якої починається робота з платформою – це авторизація користувача, результати якої ідентифікують користувача та накладають обмеження на доступні дії через веб-форми додатку, а саме:

- для незареєстрованих користувачів – тільки перегляд загальних даних стосовно структури напрямів, спеціальностей та курсів, за якими ведеться підготовка студентів;
- для авторизованого студенту – перегляд контенту дисциплін кожного року навчання, перегляд власних досягнень, перегляд поточних дисциплін та їх оцінок, засвоєння навчального матеріалу, організація зворотного зв'язку. Авторизаційні дані студента дають змогу системі визначити поточний напрям підготовки, курс та сформувати логічно-структуру схему навчання зі списку навчальних дисциплін навчального плану;
- для авторизованого викладача – перегляд списку дисциплін та їх контенту, отримання даних стосовно активності та досягнень студентів, ведення чату та журналу контролю;
- для адміністраторів системи – внесення змін до контенту платформи та кожного окремого курсу.

Для формалізованого подання інформації стосовно функціональної моделі академічної МООС-платформи авторами була розроблена математична модель, яка задається наступним чином:

$$C = \langle E, G, S \rangle, \quad (1)$$

де C – це ПрО, що обмежена вимогами та задачами автоматизації, яку можна описати як систему;

E – множина процесів ПрО, яка задається у вигляді $E = \{E_1, \dots, E_N\}$. Процеси ПрО розглядаються з позиції функцій або дій, що виконують діючі особи ПрО;

G – відношення між процесами E ПрО;

S – словник глосаріїв кожного рівня моделі, що формує уніфікований, семантично значущий опис всіх дефініцій ПрО та використовується при формуванні природної ієрархічної структури об'єктів та функцій ПрО.

Кожний бізнес-процес ПрО E_i , описується вхідними і вихідними впливами, впливами управління та механізмів. Множини входів, виходів, управлінь та механізмів можуть бути описані у вигляді інформаційних, матеріальних, трудових або фінансових ресурсів ПрО. Необхідно зауважити, що при розробці функціональної моделі приймалося до уваги, що жоден процес не може бути безрезультативним оскільки він є перетворенням вхідного впливу до вихідного потоку. Крім того бізнес-процеси ПрО не можуть відбуватися без застосування ресурсів та без використання певного алгоритму їх здійснення.

Кожний i -й вхідний потік бізнес-процесу E_i визначається як:

$$I_i = \{i_1, \dots, i_N\}, \quad (2)$$

де I – це множина вхідних впливів ПрО.

Кожний вихідний потік бізнес-процесу E_i описує вихідні дані, отримані в ході взаємодії суб'єктів навчання в рамках академічної МООС-платформи:

$$O_i = \{o_1, \dots, o_N\}, \quad (3)$$

де O – це множина вихідних впливів ПрО.

Кожний вплив управління бізнес-процесу E_i – це множина потоків управління, яка описує, регламентує і задає правила, алгоритм та обмеження здійснення процесу в ПрО.

$$L_i = \{l_1, \dots, l_N\}, \quad (4)$$

де L – множина керівних впливів ПрО.

Множина потоків-ресурсів процесу E_i , яка описує ресурси, що використовуються або які виконують процеси взаємодії із платформою визначається як:

$$M_i = \{m_1, \dots, m_N\}, \quad (5)$$

де M – множина впливів механізмів ПрО.

Кожний бізнес-процес ПрО може бути описаний наступним чином:

$$E_i = \langle I_i, O_i, L_i, M_i \rangle. \quad (6)$$

Множина відношень G між процесами $\{E_1, \dots, E_N\}$, які визначають постійні зв'язки та динамічні

взаємодії компонентів системи, задається в узагальненому випадку наступним простором значень:

$$G = \langle G_{OI}, G_{OL}, G_{OM} \rangle, \quad (7)$$

де G_{OI} – відношення між процесами, де результат i -го процесу є вхідним впливом на j -й процес;

G_{OL} – відношення між процесами, де результат i -го процесу задає правила, алгоритми або обмеження на хід виконання j -го процесу;

G_{OM} – відношення між процесами, де результат i -го процесу виступає в якості ресурсу j -го процесу.

В рамках ПрО були визначені лише співвідношення G_{OI} типу вихід-вхід, де G_{OI} – множина вихідних потоків процесу E_i , які перетворюються у вхідні потоки процесу E_j , а їх наявність дасть змогу запустити виконання процесу E_j , тобто вихід k_1 i -го процесу є входом k_2 для j -го процесу:

$$v_i^{k_1} = G_{OI}(e_i), \quad i_j^{k_2} = v_i^{k_1}. \quad (8)$$

Беручи до уваги сказане, вираз (1) може бути записаний в наступному вигляді:

$$C = \langle E, G_{IO}, S \rangle. \quad (9)$$

Отримана математична модель надає змогу відобразити аналізовану ПрО у формалізованому вигляді з урахуванням її декомпозиції на елементарні функціональні дії, описати зв'язки між об'єктами, схеми та алгоритми їх взаємодії.

Результати функціонального моделювання ПрО надають змогу встановити правила розподілу прав доступу до даних на основі ролей користувачів системи та розробити архітектуру академічної МООС-платформи, визначивши її програмні рівні і модулі. Архітектуру академічної МООС-платформи доцільно розподілити на п'ять рівнів:

- рівень користувацького доступу до даних, що включає графічний інтерфейс платформи, який передається засобами браузера клієнта;
- рівень сервісів, які забезпечують керування ідентифікуючими даними користувачів, відповідають за синхронну та асинхронну обробку запитів клієнтів, задають часові прив'язки дій користувачів та підтримують загальний потік операцій клієнтів із платформою;
- рівень навчальних сервісів, які забезпечують керуванням електронним навчально-методичним контентом платформи в різних форматах;
- рівень збереження всіх даних платформи, де в якості сховища можуть бути використані реляційні та довільно структуровані (No-SQL) бази даних або файли XML-формату;
- рівень інфраструктури, що формує клієнт-серверну мережу за рахунок апаратних засобів та програмного забезпечення, використовуючи стандартні Інтернет-протоколи.

Для керування електронним контентом платформи адміністраторам надаються функції додавання, видалення, редагування, модерації IP, пошук даних, отримання результатів інтелектуальної обробки та вибірки даних. Дані стосовно кількості користувачів, об'ємів даних, що передаються, необхідної пропускної здатності мережі, обмеження часу очікування отримання результатів запитів дають можливість задати технічні та апаратні характеристики серверів і клієнтських місць академічної МООС-платформи.

Висновки

З метою формалізації результатів аналізу ПрО при розробці академічної МООС-платформи автори розробили універсальну функціональну модель, що врахувала функціональні вимоги до сучасного інструментарію ЕДН. Універсальність та адекватність розробленої моделі ґрунтується на об'єктивному описі реальних, узагальнених даних стосовно процесу набуття знань у сучасній системі вищої освіти України та за рахунок використання формальних графічних нотацій методології BPMN і математичного апарату.

В даній роботі, на відміну від існуючих, вперше представлено універсальну функціональну модель, що описує діючі особи ПрО, функції кожної ролі користувачів, правила розподілу доступу до даних та схеми обміну IP. Результати функціонального моделювання представлені в наочній графічній і формалізованій математичній формі та дозволяють більш поглиблено вивчати процеси внутрішнього трансферу знань в системі «студент-викладач».

Базуючись на результатах розробки функціональної моделі, автори запропонували архітектуру академічної МООС-платформи, що складається з п'яти рівнів, розбудова яких може відбуватися незалежно один від одного.

Розроблена на основі представленої універсальної функціональної моделі академічна МООС-платформа буде володіти наступними характеристиками:

- безкоштовність, низькі системні вимоги до програмно-апаратної платформи, відсутність необхідності застосування ліцензійного програмного забезпечення для її функціонування;
- на відміну від існуючих систем ЕДН, вона буде забезпечувати автоматизований режим керування навчальним процесом студентів усіх форм навчання;
- наявність можливості автоматизованого оцінювання якості отриманих знань та формування статистичних даних системи;
- відтворення традиційної взаємодії викладача із студентом за рахунок механізму підтримки обміну даними та файлами й ефективного зворотного зв'язку між всіма суб'єктами навчання.

- забезпечення ефективної інтерактивної навігації по навчальним матеріалам у залежності від встановленої траскторії навчання;
- представлення електронного навчально-методичного контенту, електронних завдань та тестів у різних форматах і виглядах із застосуванням засобів мультимедіа.

Авторами роботи були визначенні перспективні питання подальших наукових досліджень, а саме:

- розробка методів, інструментів та технологій створення віртуальних лабораторій для дистанційного набуття практичних навичок;
- розробка нових та оптимізація існуючих методів оцінки якості набутих теоретичних знань;
- розробка нових підходів до організації координованого контролю і самоконтролю набутих знань та вмій в рамках академічної МООС-платформи;
- застосування методів стиску даних та зменшення надмірності даних баз даних для ефективного збереження відео- та мультимедійних файлів великих об'ємів;
- організація ефективних механізмів захисту даних платформи;
- застосування отриманих результатів при розробці інфраструктури системи трансферу знань сучасного університету.

За рахунок своєї універсальності розроблена функціональна модель може бути ефективно використана для ідентифікації та теоретичного обґрунтування нових принципів, форм і методів використання інформаційно-комп'ютерних технологій та дистанційних форм навчання у вищій освіті України.

Література

1. Yalova K. Challenges and prospects in development of e-learning system for IT students / K. Yalova, V. Zavgorodnii, L. Sorokina, M. Romanykha // *Int. J. Cont. Engineering Education and Life-Long Learning*. – 2016. – vol. 26. – № 1. – pp. 25-43.
2. Johnson A. Representation sequencing in computer-based engineering education / A. Johnson, J. Reisslein, M. Reisslein // *Computers & Education*. – 2014. – № 72. – pp. 249-261.
3. Yalova K. Conceptual propositions of the modern university's information field development. Innovation in higher education – modern communications and collaboration at the university using specific IT tools / K. Yalova, V. Zavgorodnii: [International collective monograph]. – Dniprodzerzhinsk: DDTU, Dniprodzerzhinsk, 2015, pp. 355-369. – ISBN 978-966-175-114-8.
4. Ялова К. М. Технології та засоби програмної реалізації систем електронного навчання / К. М. Ялова, В. В. Завгородній // *Збірник наукових праць Дніпродзержинського державного технічного університету*. – Дніпродзержинськ : Дніпродзержинський державний технічний університет. – 2016. – № 1(28). – С. 149–155.
5. Morze N. Ways of formation of effective students' collaboration skills based upon the usage of WBT / N. Morze, L. Varchenko, E. Smymova-Trybulska // *Int. J. Web-Based Communities*. – 2015. – vol. 11. – № 1. – pp. 25-41.
6. Sixto C. D. A model to assess online learning: analysis and proposal / C. D. Sixto, L. Alonso-Díaz, R. Y. Tosina, G. D. Puerto, P. G. Esteban, J. A. Masa // *Open Educational E-Environment of Modern University*. – Kyiv: Borys Grinchenko Kyiv University, 2016. – 352 p.
7. Cápay M. The role of new technologies in the learning process: use of modules of third-party in LMS Moodle or how it is possible to determine the activity of the students in the course / M. Magdin, M. Cápay // *Emerging e-Learning Technologies and Applications*. – 2013. – № 11. – pp. 271-274.
8. Kommers P. Mixing Problem based learning and conventional teaching methods in an analog electronics course / Podges J. M., Kommers P., Winnips K., Joolingen W. R. // *American journal of engineering education*. – 2014. – vol. 5. – pp. 99-120.
9. Issa T. Contrastive analyses and evaluation of the ICT and E-Learning and intercultural competences in Australia, Czech Republic, The Netherlands, Poland, Portugal, Russia, Slovakia, Spain and Ukraine within the framework of the IRNET international research network project / T. Issa, P. Kommers, E. Trybulska-Smyrnova, N. Morze and other. – Katowice: STUDIO NOA for University of Silesia, 2014. – pp. 13-30.
10. Соловьев С. В. Методологии моделирования предметной области / С. В. Соловьев, Р. И. Цой. – М. : Издательство академии естествознания, 2011. – 340 с.
11. Антонов В. В. Построение формальной модели предметной области с применением нечеткой кластеризации / В. В. Антонов // *Системный анализ, управление и обработка информации*. – М. : Издательский центр Академия, 2011. – Вып. 15. – № 5(15). – С. 2–11.
12. Есин В. И. Универсальная модель данных и ее отличительные особенности / В. И. Есин // *Вестник Харьковского национального университета*. – Харьков : ХНУ, 2011. – № 960. – С. 141–147.
13. Рач В. А. Системно-целостный метод графического представления результатов исследований в отдельных предметных областях (на примере области управления образовательными проектами) / В. А. Рач, А. Ю. Борзенко-Мирошниченко // *Управління проектами та розвиток виробництва*. – Луганськ : ЧНУ ім. В. Даля, 2012. – № 2 (42). – С. 152–163.
14. BPMN [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.bpmn.org/>.

Отримана/Received : 17.4.2017 р. Надрукована/Printed : 10.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Самохвалов С.Є.

АРХІТЕКТУРА КАРКАСУ MODEL-VIEW-CONTROLLER ПРИ РОЗРОБЦІ ВЕБ-ДОДАТКІВ

У роботі розглянуто патерни проектування MODEL-VIEW-CONTROLLER (MVC) та MODEL-VIEW-VIEWMODEL (MVVM), способи взаємодії і ролі кожного компонента архітектурних каркасів, можливості застосування сервісів при розробці програми. Наведено діаграми *http-request-response* при використанні сервісів і без них. Описано основні можливості фреймворка AngularJS. Показана структура взаємодії компонентів веб-додатку при використанні фреймворка.

Ключові слова: MVC, AngularJS, JavaScript, сервіс, патерн, веб-додаток.

T.K. SKRYPNYK, E.A. MANZIUK, S.O. SVISTUN
Khmelnytsky National University

MVC SOFTWARE ARCHITECTURE PATTERN FOR WEB-APPLICATION

Web application - a special kind of software that is available to users over the network that uses the browser as a client. The main advantages of web applications include cross-platform interoperability and the ability to update and maintain the application without installing software on client devices. The main criteria in choosing web application architecture - possibility of modular development, maintenance, documentation and structuring code. Design pattern Model-view-controller (MVC) provides separation of application data, user interface and control logic. To use MVC for web applications, authors used a combination of scripts and server components and common objects to implement various components of the application. As an alternative to this solution is supposed to separate connection of controller and model by such called Service. Services, acting as reusable code libraries for other program components. They ensure application functionality, such as Logging, error handling, check permissions, exchange messages and caching. Based on the foregoing analysis, we can conclude about targeted on-appropriateness of using MVC pattern in the web application. This approach will greatly simplify the modular development and further support software.

Keywords: MVC, AngularJS, JavaScript, service, pattern, web-application.

Вступ. Стрімке зростання мережі Інтернет – це, щонайменше, часткова заслуга її використання в якості інструменту особистої публікації. Спочатку дані, якими люди обмінювались по мережі, складалися в основному з статичної інформації, що зберігається в файлах. Файли можна було редагувати, але дійсно динамічних інформаційних служб було мало.

Ситуація набула якісних змін з появою динамічної мережі, що є результатом розвитку динамічних служб. З'явилися нові сервіси – від CGI скриптів для пошукових машин до пакетів програм, що сполучали веб-додатки з базами даних. Стало недостатнім створення веб-сайту – виникла необхідність проектувати веб-додаток [1].

Веб-додаток – особливий вид програмного продукту, який доступний користувачам по мережі, використовує браузер в якості клієнта і складається з набору клієнт-серверних сценаріїв, HTML-сторінок та інших ресурсів, які можуть бути розподілені між кількома серверами. Сам додаток доступний користувачам за певним шляхом всередині веб-сервера.

До основних переваг веб-додатків можна віднести крос-платформенну сумісність і можливість оновлювати і підтримувати додаток без установки програмного забезпечення на клієнтські пристрої.

Постановка задачі. На початковій стадії розробки програмних додатків стоїть завдання вибору архітектури. Архітектура програмного забезпечення в традиційному сенсі включає визначення всіх модулів програм, їх ієрархії і сполучення між ними і даними.

Основними критеріями при виборі архітектури веб-додатка – можливість модульної розробки, супроводу, документації і структуризації коду.

Виклад основних матеріалів дослідження. Патерн MVVM. MVVM – це шаблон проектування додатків для розділення коду користувацького інтерфейсу і іншого коду. MVVM дозволяє декларативно визначати користувацький інтерфейс і використовувати розмітку прив'язки даних, що дає змогу зв'язати з іншими рівнями додатку, які містять логіку та дані. За допомогою прив'язки даних застосовується вільний взаємозв'язок, який синхронізує користувацький інтерфейс і пов'язані дані, а також відправляє командам вхідні дані, які ввів користувач.

Враховуючи мету зменшення працездатності на розробку складного програмного забезпечення, припустимо, що необхідно використовувати готові уніфіковані рішення. Адже шаблонність дій полегшує комунікацію між розробниками, дозволяє посилаючись на відомі конструкції, знижує кількість помилок.

З перших кроків створення користувацьких інтерфейсів програм різні шаблони спрощували роботу розробників. Наприклад, шаблон модель – подання – презентатор (MVP) був популярний на різних платформах програмування користувацьких інтерфейсів. MVP – це вид шаблонів модель-подання-контролер, який існує вже кілька десятиліть. Суть його полягає в тому, що подання потребує презентатор для заповнення даними моделі, реакції на дії користувача, надання перевірки вводу (у тому числі за рахунок передачі цієї функції моделі) та інших подібних завдань.

Якщо говорити про відмінності MVVM і MVP, то модель подання не потребує посилання на

подання. Подання прив'язується до властивостей моделі подання, яка, в свою чергу, представляє дані в об'єктах моделі та інших станах, потрібних для цього подання. Модель у даному випадку встановлюється в якості контексту подання (Data Context), тому легко створювати прив'язки між нею та поданням. Усі дані в моделі подання автоматично оновлюються через механізм прив'язки. Коли користувач натискає кнопку в поданні, для потрібної дії виконується команда в моделі подання.

Класи подання не знають про існування класів моделі, а модель подання і модель не знають про подання. Модель насправді взагалі не має уявлення про те, що існують модель подання та подання. Це дуже слабо пов'язана конструкція, і це дає ряд переваг.

MVVM – своєрідна загальноприйнята мова розробників WPF, тому що вона добре пристосована для платформ на XAML, а такі платформи створювалися для спрощення збірки застосувань за допомогою шаблону MVVM (та інших). У корпорації Майкрософт MVVM використовувався для внутрішніх цілей при розробці додатків WPF, наприклад, Microsoft Expression Blend, поки основна платформа WPF ще тільки створювалася. Багато частин WPF, наприклад, модель контролю без перегляду та шаблони даних, використовують значний розподіл показу від стану та поведінки, що застосовується в MVVM.

Одним з найважливіших моментів, який робить MVVM дуже зручним шаблоном, – це інфраструктура прив'язки даних. За рахунок механізму прив'язки властивостей подання до моделі подання виходить слабке зв'язування цих компонентів, що повністю звільняє розробника від необхідності писати в моделі подання код, який безпосередньо відповідає за оновлення подання. Дана система також підтримує перевірку допустимості введення, яка перевіряє наповнення введених даних.

Крім функцій WPF і Silverlight, за рахунок яких MVVM стає ефективним способом структурування додатку, цей шаблон популярний ще й тому, що додаток, організований відповідно йому, легко піддається модульному тестуванню. Якщо логіка взаємодії додатку знаходиться в наборі класів моделі подання, стає легко написати тестуючий код. У якомусь сенсі подання і модульні тести – різні типи споживачів моделі подання. Набір тестів для моделі подання додатка забезпечує вільне і швидке регресійне тестування, яке зменшує вартість підтримки програми в майбутньому.

Крім зручності створення автоматичних регресійних тестів, тестування класів моделі подання може допомогти правильно проектувати інтерфейси, для яких легко робити теми оформлення. Проектуючи додаток, часто треба вирішувати що помістити в подання або в модель подання, уявивши собі, чи потрібно буде писати модульний тест, який використовує модель подання. Якщо можна написати модульні тести для моделі подання, не створюючи об'єкти користувацького інтерфейсу, то можна повністю укласти модель подання в тему оформлення, так як у неї немає залежності від певних візуальних елементів.

Нарешті, для розробників, які співпрацюють з проектувальниками інтерфейсів додатків, використання MVVM полегшує створення безперервного потоку робіт розробника і проектувальника. Так як подання – не більше ніж необов'язковий споживач моделі подання, то неважко замінити існуюче подання іншим, яке б відповідало даній моделі подання. Ця проста дія дозволяє швидко створювати прототипи і оцінювати користувацькі інтерфейси, зроблені проектувальниками.

Шаблон MVVM – простий і ефективний набір рекомендацій для проектування та реалізації додатків. Він дозволяє розділяти дані, поведінку і подання, а значить, контролювати той хаос, який називається розробкою програмного забезпечення. Слід зазначити, що чітко дотримуватися тільки одного шаблону проектування – не завжди найкращий вибір. Наприклад, використовувати MVVM для розробки додатків на основі Windows Forms через властивості елементів управління Bindings. Основна мета – це відокремити подання від бізнес-логіки і логіки, яка їх пов'язує. Застосування, з одного боку, повинно легко тестуватися і підтримуватися, а з іншого бути зрозумілим для аналітиків.

Патерн MVC. Веб-додаток, на відміну від статичних HTML сторінок, може динамічно представляти контент з урахуванням параметрів запиту, дії користувача і налаштувань безпеки.

Як правило, веб-додаток складається з декількох під-додатків. Та частина додатку системи моніторингу, яку бачать звичайні користувачі володіє досить навантаженим інтерфейсом, що складається з різних модулів. Всі ці модулі мають власні дані і керуючу логіку.

При проектуванні додатків необхідно підібрати відповідні об'єкти, віднести їх до різних класів, дотримуючись розумну ступінь деталізації, визначити інтерфейс класів і встановити суттєві відносини між класами.

Патерни або шаблони проектування дають можливість повторно використовувати ті рішення, які виявилися вдалими в минулому і спрощують повторне використання вдалих проектних і архітектурних рішень. Пройшовши перевірку часових методик у вигляді патернів проектування полегшує доступ до них з боку розробників нових систем. Патерни дають розробнику можливість швидше знайти «правильний шлях», тут під патерним проектуванням розуміється опис взаємодії об'єктів і класів, адаптованих для вирішення загальної задачі проектування в конкретному контексті [2].

Архітектурний патерн Model-view-controller (MVC) передбачає поділ даних програми, призначеного для користувача інтерфейсу і керуючої логіки на три окремих компонента: Модель, Представлення та Контролер – так, що модифікація кожного компонента може здійснюватися незалежно.

Вперше поняття MVC виникло в мові Smalltalk-80 при підході до розробки багаторівневих графічних користувацьких інтерфейсів в кінці 1970-х, початку 1980-х. Надалі патерн зарекомендував себе як вдала архітектура програмного забезпечення.

В даний час патерн MVC доступний для багатьох мов програмування і добре проявив себе в таких фреймворках, як Apache Struts для Java, Maypole для Perl і Rails для Ruby.

Хоча більшість сучасних фреймворків намагаються розвивати парадигми MVC, для кращої відповідності потребам розвитку веб-додатків, залишається один фреймворк, який дотримується класичного патерну, описаного в Smalltalk-80

Модель, як перший компонент шаблону, обробляє стан програми та може містити в собі будь-які дані, наприклад, масив координат. Даний компонент не має інформації про стан HTML або веб-серверів, його завдання – забезпечити можливість запиту стану об'єкта і визначити шляхи його зміни.

Другий компонент – Представлення, відображає призначений для користувача інтерфейс. У додатку, як правило, використовується кілька Представлень. Основна функція Представлення – запит даних з Моделі, без можливості зміни її стану. У веб-додатках на базі MVC Представлення створюється з використанням HTML, яке в кінцевому підсумку або відображається як повноцінна сторінка, або підставляється в потрібне місце на сторінці.

Всі дії користувача, які він виробляє в Представленні обробляються третім компонентом MVC – Контролером. Він отримує запит користувача (HTTP-запит), обробляє його і переводить в послідовність дій, які повинні виконати Модель. Крім того, контролер вибирає відповідний режим для обробки відповіді Моделі.

Наступна функція Контролера – вибір відповідної сторінки (Представлення), в залежності від статусу, який повертає Модель. Адже в залежності від того, чи має Модель запитовані дані чи ні, користувачеві необхідно або відобразити їх, або повідомити про помилку. Ця функція корисна не тільки при розробці великих програм з великою кількістю сторінок, але і для простих односторінкових додатків. За допомогою Контролера можна обробляти, наприклад, такі дії, як аутентифікації і управління сесіями.

MVC для веб-додатків. Щоб застосувати MVC для веб-додатків, автори використовували комбінацію скриптів, серверних компонентів і звичайних об'єктів для реалізації різних компонентів в рамках програми. На рис. 1 представлена діаграма запит-відповідь.

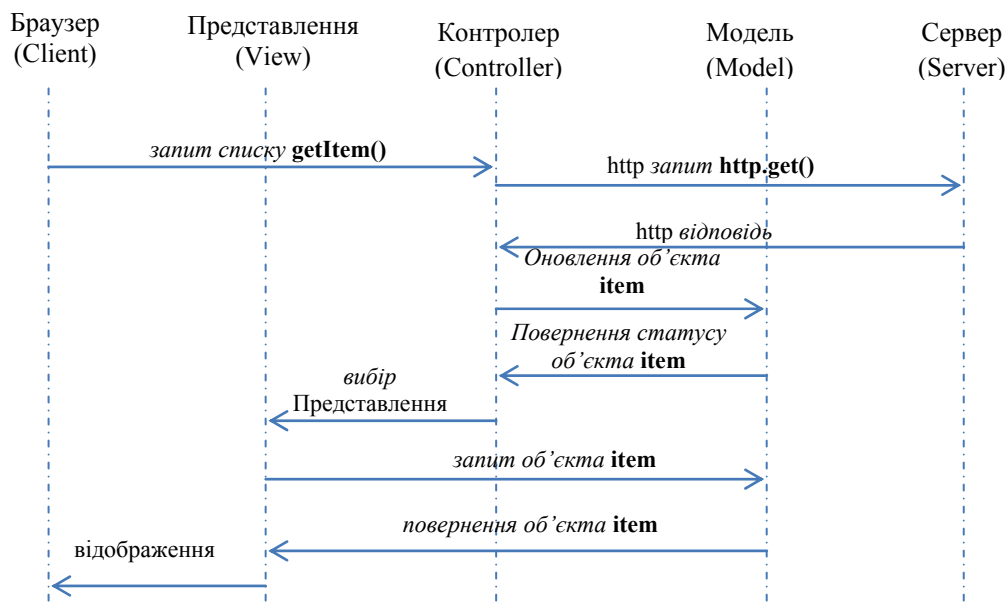


Рис. 1. Діаграма запит-відповідь

Сервіси. При розробці веб-додатку виникають ситуації, коли Модель і Контролер взаємодіють досить тісно і практично неможливо розділити код на два компоненти. Для виключення цього ефекту використовують схему, при якій Контролер надає мінімальні дії, наприклад, тільки обробку HTTP-запитів і передачу результату в Модель. В цьому випадку Модель може містити в собі необхідні методи обробки результатів і форматування вихідних даних.

В якості альтернативи цьому рішення передбачається відокремити від зв'язки Модель-Контролер так званий Сервіс.

Сервіси, виступають в ролі бібліотек багаторазового використання коду для інших компонентів програми. Вони забезпечують додаток функціоналом, наприклад, Логування, обробкою помилок, перевіркою прав доступу, обміном повідомлень і кешуванням. Сервіси можуть містити код для запиту і зберігання даних з зовнішніх серверів. Вони також можуть включати в себе функціональні можливості для сортування, фільтрації та перетворення даних в різні формати в міру необхідності [3].

На рис. 2 представлена діаграма запит-відповідь на прикладі запиту з використанням сервісу для роботи з даними.

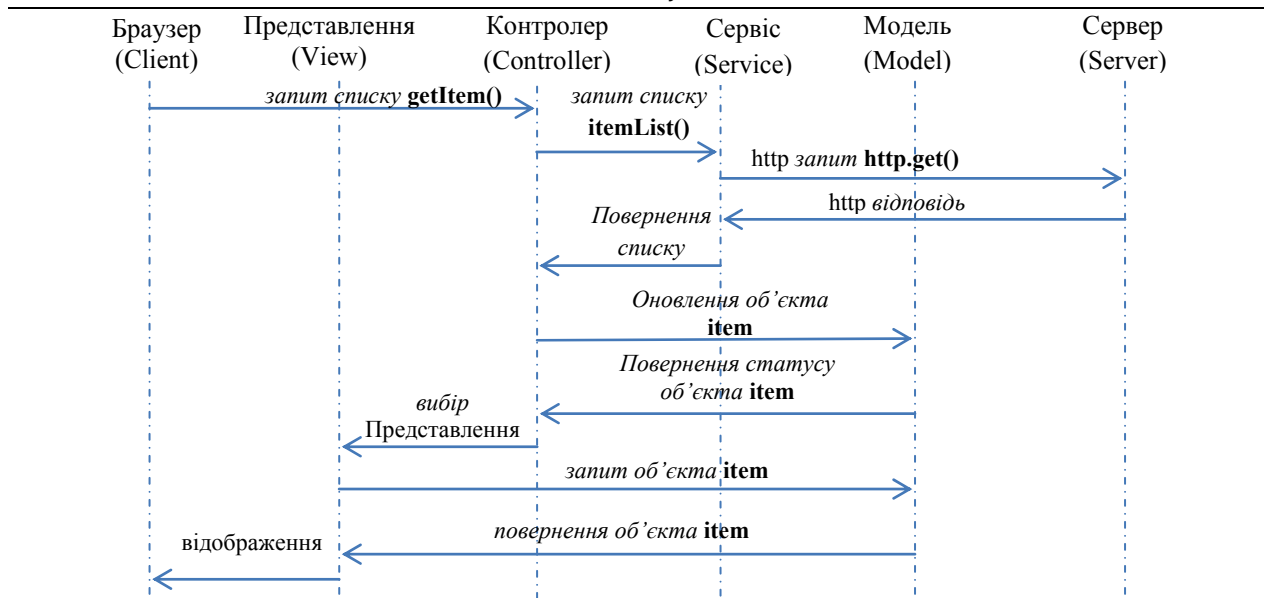


Рис. 2. Діаграма запит-відповідь за наявності Сервісу

Фреймворк AngularJS. Реалізація веб-додатку з використанням патерну MVC можлива в наступній зв'язці: як реалізації компонента Представлення можливе застосування мови розмітки HTML, компоненти Модель і Контролер реалізовані на мові JavaScript, загальний функціонал патерну забезпечує каркас або так званий фреймворк AngularJS.

AngularJS – це клієнтський фреймворк, написаний на JavaScript і виконується у браузері. Основна мета фреймворку – розширення браузерних додатків на основі MVC шаблону, а також спрощення тестування і розробки. AngularJS адаптує і розширює традиційний HTML, щоб забезпечити двосторонню прив'язку даних для динамічного контенту, що дозволяє автоматично синхронізувати Модель і Представлення. Механізм побудови Представлення не потребує явно оновлювати дерево DOM, так як фреймворк здатний слідує за діями користувача, подіями браузера і змінами в Моделі і вчасно виявляє, коли і яке Представлення потрібно оновити [4].

AngularJS має в запасі механізм впровадження залежностей (Dependency Injection), який істотно спрощує збірку веб-додатків з невеликих, надійно протестованих служб. Загальна структура взаємодії компонентів MVC в рамках модуля програми для формування звітів з використанням даного фреймворка показана на рис. 3.

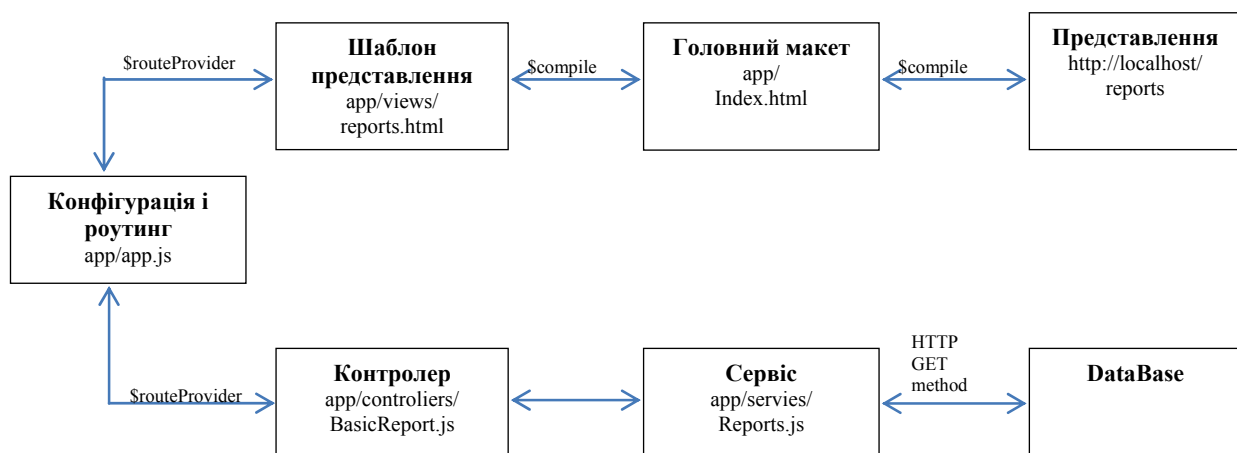


Рис. 3. Загальна структура взаємодії компонентів MVC в AngularJS

Важливим фактором є декларативний підхід AngularJS до конструювання користувацького інтерфейсу. З практичної точки зору це означає, що Представлення описує бажаний ефект, а не способи його досягнення. Можливість декларативного опису Представлення дозволяє швидко створювати складні і інтерактивні інтерфейси. А прийняття рішень про те, коли і як змінювати елементи DOM бере на себе фреймворк.

Висновки. В роботі розвивається підхід до реалізації програмного патерну проектування MVC щодо веб-додатків. На основі викладеного аналізу можна зробити висновок, про цільових перевірок доцільність застосування патерну MVC при розробці веб-додатків. Даний підхід дозволить значно спростити модульну розробку і подальший супровід програмного продукту.

Література

1. Шкляр Л. Архитектура веб-приложений / Л. Шкляр, Р. Розен. – М. : Эксмо, 2011. – С. 55–60.
2. Гамма Э. Приемы объектно-ориентированного проектирования / Э. Гамма, Р. Хелм, Р. Джонсон, Дж. Влиссидес. – С. 15–44.
3. Торрес Р. Практическое руководство по проектированию и разработке пользовательского интерфейса / Р. Торрес. – М. : Вильямс, 2002. – 400 с.
4. Lavin J. AngularJS Services. Pack Publishing Ltd., Aug. 2014, ch. 1, P. 8–11.
5. Козловский П. Разработки веб-приложений с использованием AngularJS / П. Козловский, П. Дарвин. – М. : ДМК-Пресс, 2014. – С. 21–60.
6. Scott Millett Professional ASP.NET Design Patterns - Wiley Publishing, 2010. P. 8–26.

Отримана/Received : 19.4.2017 р. Надрукована/Printed : 10.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Сорокати Р.В.

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, e-mail: zaspa_yuriy@ukr.net

КОНТАКТНЕ ДИНАМО ЯК ГЕНЕРАТОР КОГЕРЕНТНИХ КОСМІЧНИХ ФОРМ РУХУ ТА ДЖЕРЕЛО ПЛАНЕТАРНОЇ, СОНЯЧНОЇ, ГАЛАКТИЧНОЇ І МЕТАГАЛАКТИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ТА ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМУ. ЧАСТИНА VII

На основі відповідного замикання системи рівнянь Максвелла наведені основні співвідношення контактної електромагнітної гідродинаміки (КЕМГД), яка заміняє собою існуючі магнітно-гідродинамічні (МГД) моделі генерації магнітного поля в космічних системах. Відзначається, що демонстративне ігнорування струму зміщення (змінного в часі електричного поля) в МГД-моделях робить їх неадекватними реальності. Розглянуті фізичні механізми контактної генерації внутрішніх гідродинамічних та електромагнітних хвиль, що характеризуються спільною фазовою швидкістю у складі когерентних структур руху. Аналізується топологія таких структур. Показано, що топологічним аналогом магнітного поля є поле завихореності контактної внутрішньої хвилі. Структура останнього зберігається внаслідок занулення сили Лоренца (і струму провідності) в окремій моді руху. Взаємний вплив різних мод в контактній згенерованій космічній турбулентності, між тим, обумовлює дисипацію електромагнітної енергії. Наведені експериментальні результати щодо генерації електромагнітних хвиль в процесах контактної взаємодії металів в технічних системах. Спільність основних спектральних компонент акустичної та електромагнітної емісії в цих процесах прямо підтверджує запропонований механізм контактної генерації когерентних структур руху. Розглянута турбулентна трансформація таких структур в космічних системах. Показано, що розпад цих форм на периферії систем пов'язаний із зменшенням електропровідності плазми. Це пояснює розсіяння електромагнітної енергії, зокрема, в активних зонах на Сонці, на зовнішній границі геліосфери, а також потужне електромагнітне випромінювання в радіогалактиках. Відмічено, що саме електрична компонента контактної наведеного електромагнітного поля прискорює електрони (та інші заряджені частинки) до релятивістських та ультрарелятивістських швидкостей, що в присутності крупно масштабної магнітної компоненти обумовлює відоме магнітно-гальмівне (синхротронне) випромінювання в космічних системах. Такий механізм не потребує штучних теоретичних конструкцій на кшталт чорних дір, магнітарів, темної енергії і т.п. Припускається, що зникнення магнітного поля на Місяці та Венері пов'язано з вичерпанням металізованого водню в контактних розривах ядер цих космічних об'єктів. В той же час, наявність цього метастабільного активатора контактної динамо-процесу у відповідних розривах супутників Юпітера Іо та Ганімеда забезпечує контактну генерацію електромагнітного поля на цих супутниках. Аналізується ієрархічна взаємопов'язаність підсистем космічної турбулентності та каскадний транспорт енергії збурень між ними, що виключає застосування відомої теореми віріала до окремо взятої підсистеми та відкидає необхідність темної матерії та темної енергії, спекуляція якими є основою сучасної астрофізики та космології. Відмічено, що діапазон часових та просторових масштабів космічного контактного динамо перевищує п'ятдесят порядків величини.

Ключові слова: контактне динамо, космічна система, когерентна структура руху, електромагнітне поле, електромагнітні хвилі, внутрішні хвилі, контактна електромагнітна гідродинаміка, магнітна гідродинаміка, рівняння Максвелла, синхротронне випромінювання, турбулентність, енергетичний каскад, металічний водень.

CONTACT DYNAMO AS A GENERATOR OF THE COHERENT SPACE FORMS OF MOTION AND A SOURCE OF THE PLANETARY, SOLAR, GALACTIC, AND METAGALACTIC ENERGY AND ELECTROMAGNETISM. PART VII

On the basis of corresponding Maxwell's equations closure system basic relations of contact electromagnetic hydrodynamics (CEMHD) is displayed. This hydrodynamics replaces the existing magnetic-hydrodynamic (MHD) models of the generation of magnetic fields in the space systems. It is marked that the demonstrative ignorance of the bias current (alternating in time electric field) in MHD models makes them inadequate according to the reality. There was made the analysis of the physical mechanisms of internal hydrodynamic waves and electromagnetic waves contact generation that are characterized by the common phase rate as a part of coherent space movement forms. Topology of such structures is analyzed. It is revealed that the topological analogue of the magnetic field is the field of vortex motion of coherent internal waves. The structure of this field remains unchanged because Lorentz force (and current-carriency) equals zero in separate vibration mode. The mutual influence of different modes in contact generated space turbulence causes dissipation of electromagnetic energy. The experimental results about the generation of electromagnetic waves in the metal contact interaction processes in technical systems are revealed. The generality of the main spectral components of acoustic and electromagnetic emission in these processes directly confirms the proposed mechanism of contact generating of coherent forms of movement. The space systems turbulent transformation is examined. It is displayed that the disintegration such forms of movement at the periphery is associated with a decrease in plasma conductance. That explains the electromagnetic energy dissipation in the Earth's magnetic fields, on active zones of the sun, on the heliosphere outer boundary and also the powerful electromagnetic radiation in radio-galaxies. It is noted that the electrical component of the contact electromagnetic field accelerates electrons (and other charged particles) to relativistic and ultrarelativistic speeds which with the presence of large-scale magnetic component makes well-known cyclotron (synchrotronic) radiation in space systems. Such mechanism does not need artificial theoretical constructions such as black holes, magnetars, dark energy etc. It is assumed that the disappearance of the magnetic field on the Moon and on Venus is associated with depletion of metallic hydrogen nuclei in contact breaks of these space objects. At the same time, the presence of such metastable activator of contact dynamo-process in appropriate breaks of Jupiter Io and Ganymede satellites provides contact generation of electromagnetic fields on these satellites. There was made the analyzes of hierarchic relation between subsystems of space turbulence and cascading energy disturbances transport between them, which excludes the use of well-known virial theorem to a single subsystem and puts away the importance of dark matter and dark energy, the speculation of which is the basis of modern astrophysics and cosmology. It is marked that the range of time and dimensional scales of space contact dynamo exceeds fifty orders of magnitude.

Key words: contact dynamo, space system, coherent structure movement, electromagnetic field, electromagnetic waves, contact electromagnetic hydrodynamics, magnetic-hydrodynamics, Maxwell's equation, cyclotron radiation, turbulence, power, stage, metallic hydrogen.

Вступ

Нижченаведена частина роботи присвячена встановленню конкретних фізичних механізмів контактної генерації планетарного, сонячного, галактичного та метagalacticного електромагнітного поля. Як виявилось, мову слід вести саме про електромагнітне (а не лишень магнітне) поле у вигляді контактної наведених електромагнітних хвиль у високопровідному космічному середовищі. Всі існуючі на-сьогодні магнітно-гідродинамічні теорії генерації магнітного поля космічних систем демонстративно ігнорують струм зміщення (змінне в часі електричне поле) в рівняннях Максвелла [1–4], що автоматично унеможливає встановлення реальної картини генерації такого поля в рамках магнітної гідродинаміки (МГД). Нижченаведений перехід до контактної електромагнітної гідродинаміки (КЕМГД) практично вирішує цю вельми давню проблему в фізиці.

Контактно-наведені внутрішні та відповідні їм електромагнітні хвилі

Попередньо розглядалися контактні-згенеровані внутрішні хвилі в космічних системах [5–8]. Нижче на основі рівнянь Максвелла будуть розглянуті відповідні їм (когерентні) електромагнітні хвилі у високопровідному середовищі (плазмі та металах). Аналіз ведеться в Гаусовій системі одиниць, оскільки, на наше переконання, введення у вжиток системи СІ (де електричне та магнітне поля мають різну розмірність) слід вважати другою диверсією в фізиці – після першої – загальної теорії відносності Ейнштейна.

Для електронейтрального провідного середовища система рівнянь Максвелла має вигляд:

$$\operatorname{rot} \vec{H} = \frac{4\pi}{c} \vec{j} + \frac{1}{c} \frac{\partial \vec{D}}{\partial t}, \quad \operatorname{rot} \vec{E} = -\frac{1}{c} \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (1, 2),$$

$$\operatorname{div} \vec{B} = 0, \quad \operatorname{div} \vec{D} = 0 \quad (3, 4).$$

тут $\vec{E}, \vec{H}$ – напруженості електричного та магнітного поля, $\vec{D}, \vec{B}$ – індукції відповідних полів, $\vec{j}$ – густина струму провідності, c – швидкість електромагнітних хвиль у вакуумі. Система (1) – (4) породжує проблему замикання через необхідність формалізації зв'язків між напруженостями та індукціями полів, а також вираження густини струму провідності через параметри електромагнітного поля та середовища. Формально для ізотропного середовища маємо:

$$\vec{D} = \varepsilon \vec{E}, \quad \vec{B} = \mu \vec{H} \quad (5, 6).$$

Тут ε, μ – відповідно відносна діелектрична та відносна магнітна проникності середовища. Якщо друга зазвичай (для космічних систем) близька до одиниці, то перша становить проблему вже однією своєю назвою, оскільки чітко визначена лишень для діелектриків. Низькочастотна апроксимація ε для провідників через зведення струму зміщення до струму провідності [9] є абсолютно необґрунтованою і фіктивно подвоює останній. Нижче наводиться реальна альтернатива такому підходу, однак, почати процедуру замикання системи рівнянь Максвелла слід через відому формалізацію густини струму провідності:

$$\vec{j} = \sigma \left(\vec{E} + \frac{1}{c} [\vec{v} \times \vec{B}] \right) \quad (7).$$

тут σ – провідність середовища, $\vec{v}$ – швидкість елементарних об'ємів середовища. Цей вираз широко використовується в МГД, де саме струм провідності в рухомому середовищі і є джерелом магнітного поля [1–4]. На противагу до цього, врахуємо цілком альтернативну умову:

$$\vec{E} = -\frac{1}{c} [\vec{v} \times \vec{B}] \quad (8),$$

за якої струм провідності та сила Лоренца занолюються:

$$\vec{j} = 0, \quad \vec{F}_L = 0 \quad (9, 10).$$

В (8) $\vec{v}$ є полем швидкості контактної-наведених внутрішніх хвиль в космічному середовищі. В рамках МГД вираз (8) зазвичай трактується як умова т.з. “вмороженості” магнітного поля у високопровідне середовище [1–4]. Фактичне занулення струму провідності тут спекулятивно обходиться нескінченим значенням провідності σ [1–4], що не має зв'язку з реальністю. В противагу до цього, в наведеній тут моделі електромагнітне поле “розморожується”, утворюючи біжучі, або ж квазістоячі хвильові когерентні структури руху.

За умов (5,6,8) система рівнянь Максвелла зводиться до відомих хвильових рівнянь:

$$\Delta \vec{E} - \frac{\varepsilon \mu}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0, \quad \Delta \vec{H} - \frac{\varepsilon \mu}{c^2} \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} = 0 \quad (11, 12).$$

Конкретизуємо вираз для діелектричної проникності ε з умови рівності фазових швидкостей контактної-наведених внутрішніх (v_{int}) та відповідних їм електромагнітних ($v_{e/m}$) хвиль:

$$v_{e/m} = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon \mu}} = v_{\text{int}}, \quad \varepsilon \mu = c^2 / v_{\text{int}}^2 \quad (13, 14).$$

При $\mu \approx 1$, $v_{\text{int}} \ll c$ маємо: $\varepsilon \gg 1$.

Під внутрішніми хвилями тут розуміються не тільки відомі гравітаційні внутрішні хвилі в рідині [4], але й контактні-згенеровані хвилі іншого типу (зокрема, акустичні) – із заміною частоти плавучості Брента – Вайселя на частоту нормальних контактних коливань, бо ж на частоту накачки [5–8].

В умовах контактної-наведеної космічних турбулентності [5–8] поле швидкостей елементів середовища містить нескінчену кількість мод, а тому їх накладання унеможливорює одночасне виконання всіх умов виду (8) і повне занулення струмів провідності, пов'язаних з рухом інших мод в полі окремої форми руху. Це спричиняє дисипацію електромагнітної енергії.

За умови рівності густин електричної та магнітної енергії у хвилях матимемо:

$$\frac{\varepsilon E^2}{8\pi} = \frac{\mu H^2}{8\pi}, \quad \frac{E}{H} = \sqrt{\frac{\mu}{\varepsilon}} = \mu \frac{v_{\text{int}}}{c} \ll 1 \quad (15, 16).$$

Отже, напруженість магнітного поля у високопровідному середовищі (при малих швидкостях) значно перевищує напруженість електричного поля, що однак, в енергетичному контексті аж ніяк не зводить КЕМГД до МГД. Відносна малість електричної компоненти поля при $|\vec{v}| \ll c$ також безпосередньо слідує з умови (8).

Топологічне описання контактної-згенерованих когерентних космічних форм руху

За умови (8) з рівнянь (1-2) також слідує:

$$\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} = \text{rot} [\vec{v} \times \vec{B}] \quad (17),$$

що співпадає по формі з основним рівнянням ідеальної МГД [1–4] – з тією суттєвою різницею, що в (17) входить не конвективне, а хвильове поле швидкостей. Вираз (17) аналогічний рівнянню Ейлера для ідеальної рідини, записаному через завихореність $\vec{\Omega} = \text{rot} \vec{v}$ поля швидкостей:

$$\frac{\partial \vec{\Omega}}{\partial t} = \text{rot} [\vec{v} \times \vec{\Omega}] \quad (18).$$

В [10] відзначається, що така подібність має лишень поверхневий характер, оскільки топологічним аналогом $\vec{B}$ є не завихореність $\vec{\Omega}$, а сама швидкість $\vec{v}$. З цим важко погодитись, враховуючи те, що умова (8) зануляє відповідну силу Лоренца, яка ніби-то й повинна рухати рідину до гіпотетичного стану магнітостатичної рівноваги [10]. В дійсності ж, хвильова динамічна система є суттєво нерівноважною. Занулення сили Лоренца для окремої моди руху (у власному полі швидкостей моди) зберігає не тільки топологію електромагнітного поля, але й топологію завихореності $\vec{\Omega}$, що відсутньо в МГД. Таким чином, топологічним аналогом $\vec{B}$ є завихореність $\vec{\Omega}$, що підтверджується, зокрема, концентрацією магнітного поля на границях сонячних гранул та супергранул, де завихореність максимальна [4].

З такими зауваженнями використаємо тут окремі результати робіт [10, 11] щодо топології закручених трубок магнітного поля й топології вихрових трубок в ідеальній рідині. Топологічними

інваріантами тут виступають відповідно магнітна та гідродинамічна спіральність:

$$H_B = \int_D \vec{A} \cdot \vec{B} dV, \quad H_\Omega = \int_D \vec{v} \cdot \vec{\Omega} dV \quad (19, 20),$$

де $\vec{A}$ – вектор-потенціал магнітного поля ($\text{rot} \vec{A} = \vec{B}$), інтегрування ведеться по об'ємах D , зайнятих магнітним полем та завихореністю. Таким чином, аналогом $\vec{v}$ виступає тут не $\vec{B}$ [10], а вектор-потенціал магнітного поля $\vec{A}$. В силу аналогій між $\vec{A}$ та $\vec{v}$, $\vec{B}$ та $\vec{\Omega}$, зберігається і третій топологічний інваріант задачі – перехресна спіральність:

$$H_{vB} = \int_D \vec{v} \cdot \vec{B} dV \quad (21).$$

Рішення варіаційних задач щодо мінімізації функціоналів [10, 11] накладають обмеження на магнітну енергію та гідродинамічну енстрофію (інтегральний квадрат завихореності):

$$\int_D \frac{B^2}{2} dV \geq q_0 \cdot |H_B|, \quad \int_D \frac{\Omega^2}{2} dV \geq q'_0 \cdot |H_\Omega| \quad (22, 23).$$

Тут q_0, q'_0 – найменші власні значення (додатні) рішень варіаційних задач [10, 11]. При цьому зберігаються потоки магнітного поля (Φ_B) та завихореності (Φ_Ω) через перерізи трубок полів, об'єми трубок V_B та V_Ω , спіральності H_B та H_Ω , а також суми кручення (*Twist*) та згину (*Writhe*) для трубки магнітного поля і трубки завихореності [10].

$$h_B = T_w^B + W_r^B, \quad h_\Omega = T_w^\Omega + W_r^\Omega \quad (24, 25).$$

З міркувань розмірностей умовам (22-23) відповідають частоти:

$$\omega_B^n = \frac{1}{\sqrt{\rho}} \cdot \alpha_{k_n}(h_B) \cdot \Phi_B \cdot V_B^{-1}, \quad \omega_\Omega^n = \beta_{k_n}(h_\Omega) \cdot \Phi_\Omega \cdot V_\Omega^{-2/3} \quad (26, 27),$$

де $\alpha_{k_n}(h_B)$, $\beta_{k_n}(h_\Omega)$ – безрозмірні параметри, що залежать лише від топології (завузленості) полів $\vec{B}$ та $\vec{\Omega}$ [10]. На відміну від поля завихореності, частоти для магнітного поля залежить від густини середовища ρ , що спеціально обійдено в роботі [10], де використано суто формальне значення $\rho = 1$. Така “несамодостатність” магнітного поля опосередковано свідчить про первинну роль контактної-наведеної завихореності поля швидкостей у збереженні топологічних особливостей усієї когерентної структури руху.

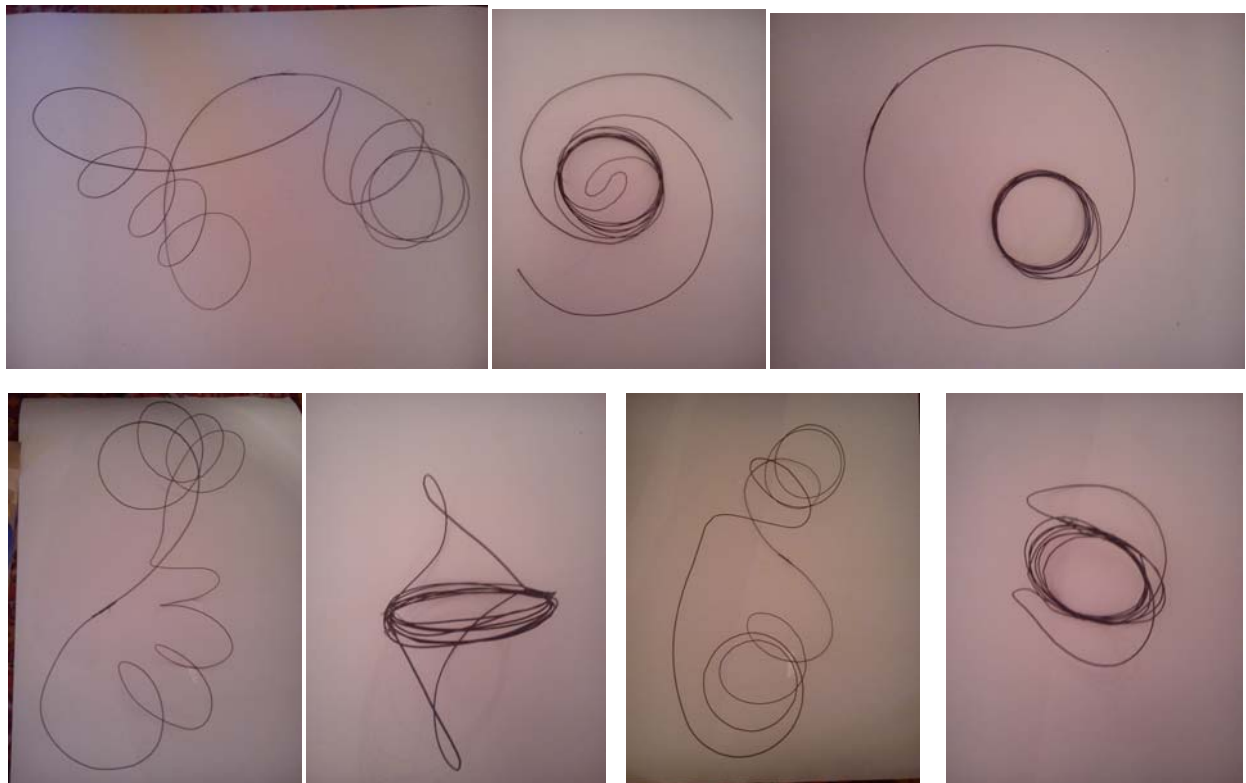


Рис. 1. Каркасні моделі когерентних структур руху, утворені з'єднанням двох різноіменних (верхній ряд) та двох однойменних (нижній ряд) спіралей

Питання взаємної адекватності топологічних частот виду (26, 27), отриманих методом мінімізації функціоналів магнітної енергії та гідродинамічної енстрофії, щодо характерних частот контактної-згенерованої турбулентності в космічних системах залишається відкритим. Справа у тому, що умова (22) традиційно трактується як наявність стійкого стану магнітостатичної рівноваги з мінімумом магнітної енергії [10, 11]. Повчаючи Кельвіна у цьому контексті, автор роботи [10] відмічає: “Зусилля Кельвіна були зупинені усвідомленням того факту, що всі тривимірні структури завихореності, за винятком найпростіших, є динамічно нестійкими...”. Однак, саме ця нестійкість і зближає підхід Кельвіна (а не К. Моффатта [10]) щодо збереження топології поля завихореності в ідеальній рідині з висловленими тут ідеями контактної-наведеної космічної турбулентності. Адже наявність когерентних космічних структур руху забезпечується не стійкістю у звичайному розумінні, а передусім, конкуренцією мод, яка веде до високої адаптивності цих структур. Електромагнітне поле згідно умови (8) практично підлаштовується під поле швидкості із відповідною завихореністю. При цьому мінімізується не енергія, а енергетичні втрати, пов’язані із струмами провідності.

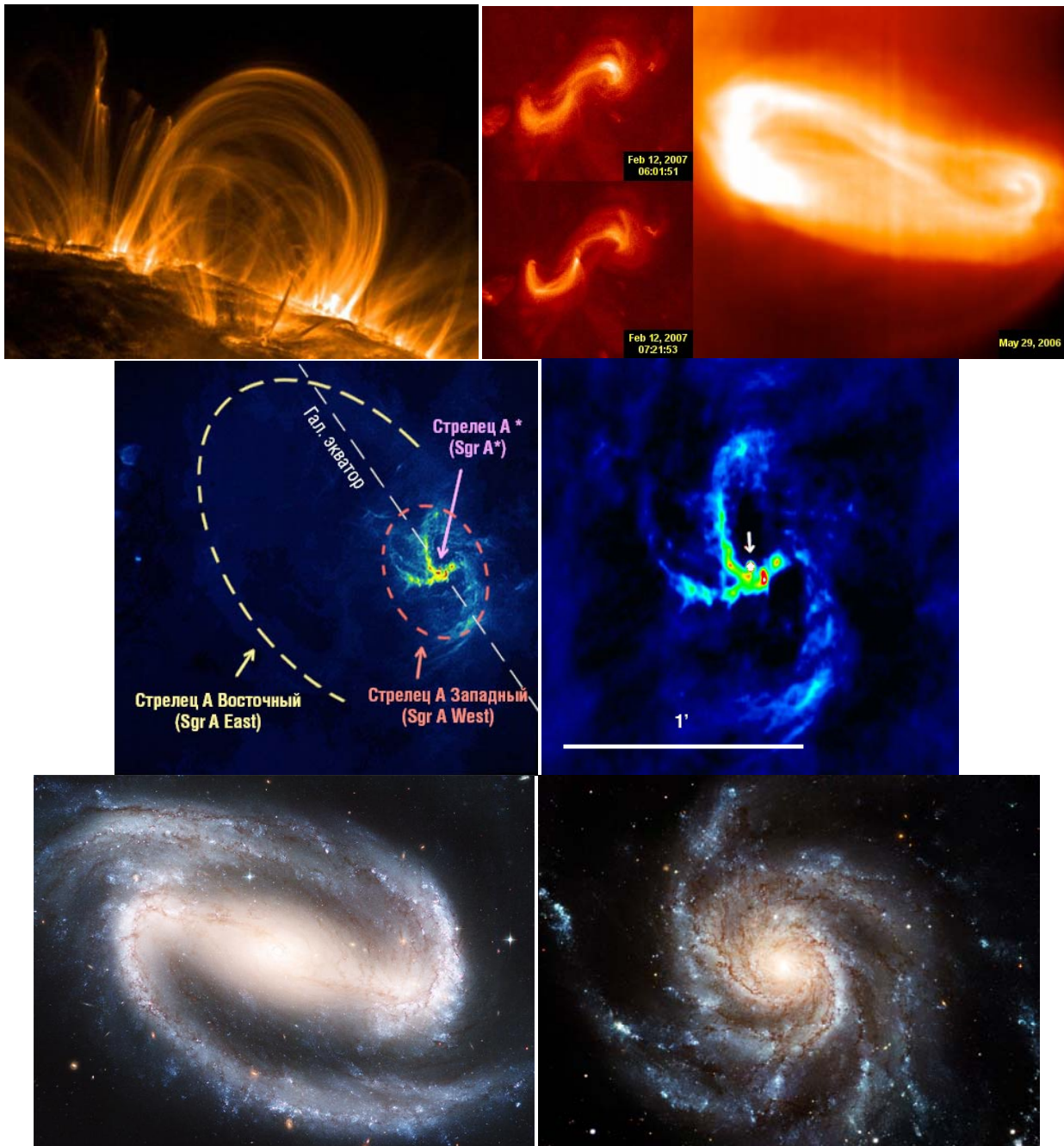


Рис. 2. Петельні та “сигмоїдні” структури в атмосфері Сонця [22] (верхній ряд), спіральні структури у внутрішньому диску Галактики Чумацький Шлях [23] (середній ряд) та у зовнішньому диску галактик (нижній ряд)

Широка поширеність спіральних топологічних структур у космосі дозволяє, принаймні, змодельювати їх особливості каркасним з’єднанням двох різноіменних (лівих та правих), або ж двох однойменних спіральних трубок магнітного поля та завихореності поля швидкостей – рис. 1. На рис. 2 для

порівняння показані спіральні та “сигмоїдні” електромагнітно-гідродинамічні когерентні структури руху в атмосфері Сонця, а також контактено-згенеровані спіральні структури у внутрішніх та зовнішніх галактичних дисках. Такого роду структури не мають адекватного пояснення ні в рамках МГД, ні в межах відомих теорій спіральних галактичних хвиль густини [4]. В дійсності ж, це захоплюючий прояв внутрішнього хвильового синтезу руху – електромагнітного та гідродинамічного.

Контактна генерація електромагнітних хвиль в технічних системах

Поширення електромагнітних хвиль в металах з нехтуванням струмом зміщення та абсолютизацією струму провідності традиційно обмежується скін-шаром [4, 9], що заводить у глухий кут, зокрема, проблему генерації геомагнітного поля, варіації якого за наявної електропровідності ядра аж ніяк не повинні були б спостерігатись на поверхні Землі [12]. Окремо обговорюється (в рамках того ж підходу) можливість поширення електромагнітних хвиль у металах за умови наявності сильного зовнішнього магнітного поля [13].

В протиріччя до цього, як було показано вище, в металах та плазмі можливе поширення (із спільною фазовою швидкістю) контактено-згенерованих внутрішніх та електромагнітних хвиль, не обмежених скін-шаром, або ж наявністю зовнішніх полів. Для демонстрації такої можливості на прикладі технічних систем були проведені спеціальні експериментальні дослідження, результати яких наводяться нижче.



Рис. 3. Фотографія експериментального вузла



Рис. 4. Фотографія детектора електромагнітного поля

Контактна взаємодія металевих тіл досліджувалась в умовах різання на токарному верстаті. У якості зразків використовувались як відносно м'які матеріали (латунь та титановий сплав), так і гартовані сталі середньої та підвищеної твердості: мартенситна (ферромагнітна) сталь 40X13 (мікротвердість HV 450) та аустенітна (парамагнітна, $\mu \leq 1,01$) сталь 12X18H12T (мікротвердість HV 620). Різання велось твердосплавним різцем марки BK6 (HV 1250). В процесі різання реєструвалась як акустична емісія, так і електромагнітне поле – рис. 3. Для детектування останнього був розроблений спеціальний пристрій (рис. 4) у вигляді виносної катушки індуктивності, з'єднаної паралельно з опором навантаження та під'єднаної до осцилографа. Внаслідок наявної електричної ємності з'єднувального кабелю така схема реєстрації мала резонансний характер з максимумом на частотах ≈ 15 кГц, що потребувало спеціальної калібровки сигналу, яка була проведена на окремому експериментальному стенді.

В процесі різання латуні та титанового сплаву електромагнітне поле в межах чутливості методу зареєстроване не було, а рівень акустичної емісії був низьким, що пояснюється в'язким демпфуванням відповідних хвильових процесів. На протиріччя до цього, різання сталей супроводжувалось гучним сигналом акустичної емісії з максимумом на частотах $\approx 5,7$ кГц (рис. 5,6), який на слух сприймався як свист. Характерно, що різання твердішої парамагнітної сталі давало більш стабільний і сильний акустичний сигнал (рис. 5), що відкидає сценарій ферромагнітного походження електромагнітного поля. Останнє, судячи з осцилограм (рис. 7) за своїм спектром повністю відповідало середньо- та височастотним складовим акустичних спектрів (низькочастотна складова поля маскувалась технічними завадами – рис. 7а). Це прямо підтверджує когерентність акустичних та електромагнітних хвиль, згенерованих в процесі контактної взаємодії різця та сталевих деталей. Про те, що реєструвались саме електромагнітні хвилі, а не поле термострумів [14], свідчить величина прийнятого сигналу, що відповідала магнітній індукції ~ 1 мкТл. Остання у випадку термострумів співвідноситься з величинами порядку десятих долей ампера, що нереально. Подібний за величиною сигнал електромагнітної емісії реєструвався також в процесі раптової руйнації чавунного зразка (марки СЧ-10) на гідравлічному пресі – рис. 8. У цьому випадку про термоструми, чи-то контактну різницю потенціалів [14], взагалі не варто вести мову. Отже, саме розривне за своєю величиною поле контактено-наведених напружень спричиняє генерацію електромагнітних хвиль в процесі контактної взаємодії металів.

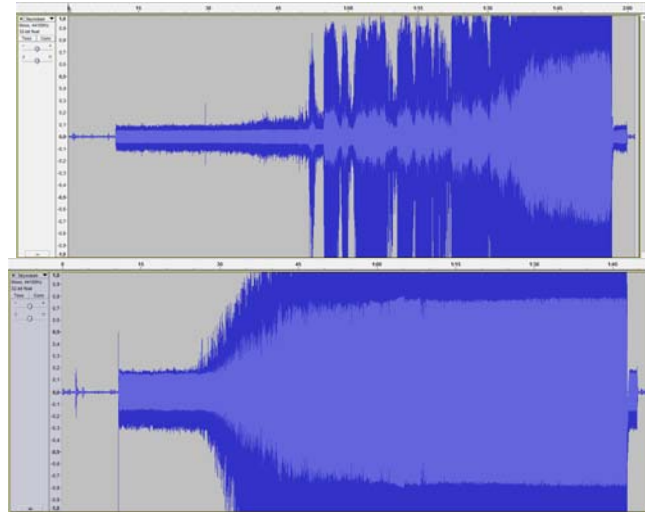


Рис. 5. Акустограми процесів різання ферромагнітної (а) та парамагнітної (б) сталей

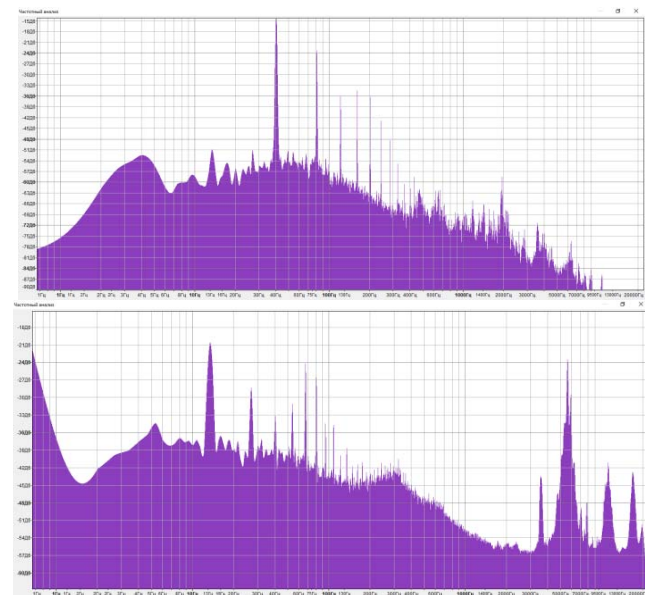


Рис. 6. Спектри Фур'є акустичних сигналів до (а) та в процесі (б) різання парамагнітної сталі

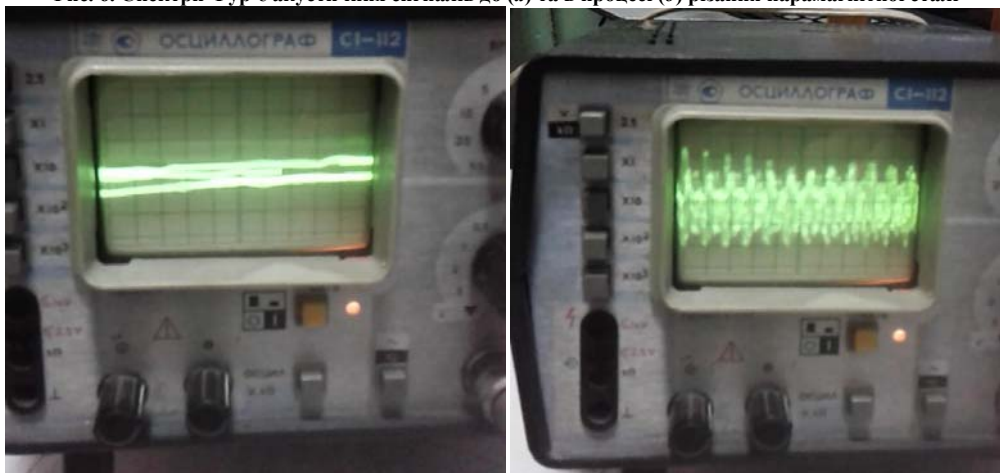


Рис. 7. Осцилограми сигналу з детектора електромагнітного поля до (а) та в процесі (б) різання парамагнітної сталі



Рис. 8. Осцилограми сигналу з детектора електромагнітного поля до (а) та в процесі (б) руйнування чавунного зразка на гідравлічному пресі

Турбулентна трансформація когерентних форм руху в космічних системах

Електромагнітно-гідродинамічні когерентні структури руху, згенеровані в контактних розривах ядер космічних систем, викидаються назовні з потоками плазми і проходять суттєву турбулентну трансформацію на периферії космічних систем. Ця трансформація пов'язана як із взаємним перетворенням форму руху, так і з зміною провідності середовища. Остання, не входячи явно у співвідношення (8–14), фігурує тут неявно через відносну діелектричну проникність ε . Отримані вище оцінки справедливі для високопровідного середовища, а тому зниження провідності плазми (внаслідок її охолодження) на периферії космічної системи, та відповідне зменшення величини ε , порушує умови (13, 14) когерентності електромагнітних та внутрішніх хвиль. Це веде до розпаду когерентних структур руху і випромінювання електромагнітної енергії у космос (або ж її теплового розсіяння). Саме такого роду процеси, з нашої точки зору, обумовлюють, зокрема, потужне електромагнітне випромінювання радіоґалактик, яке пов'язане в основному з т.з. периферійними “радіовухами” джетів (рис. 9а), в той час як самі галактичні ядра годі й розгледіти на радіокарті неба. Іншим прикладом є “ув'язнення” когерентних структур руху на поверхні Сонця – у вигляді плям та активних зон. Низька провідність фотосфери та нижньої хромосфери створює тут енергетичний бар'єр для просування цих структур в корону. Зміна їх топології, як уже відзначалось [5], викликає сонячні спалахи та гігантські виверження плазми. Периферійне обмеження геліосфери Сонця, очевидно, також обумовлене охолодженням плазми та відповідним зменшенням її електропровідності. Міжпланетне електромагнітне поле, що рухається від Сонця разом із плазмою, утворює у геліосфері відому спіраль Паркера [4], а також чисельні турбулентні конфігурації форм руху.

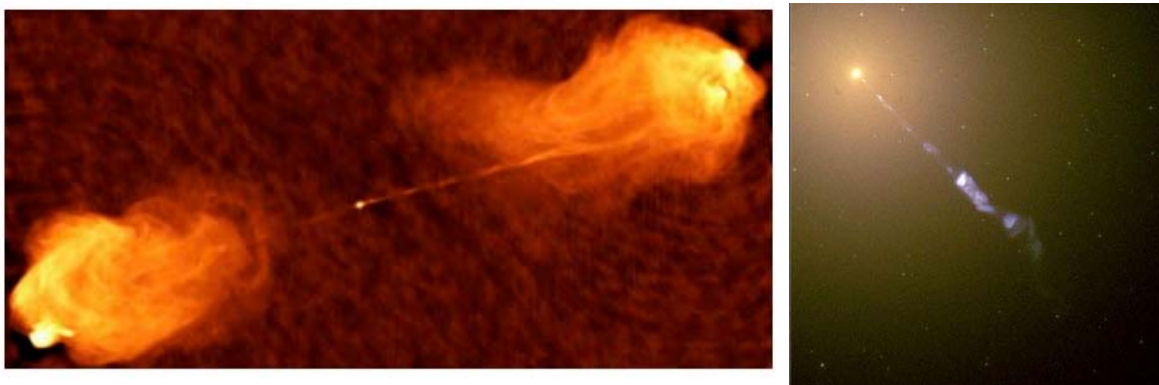


Рис. 9. Периферійний розпад когерентних структур руху на прикладі радіоґалактик Лебідь-А [24] (а) та Діва -А (M87) [24] (б)

Такого роду турбулентна трансформація суттєво приховує першопричину виникнення космічного електромагнітного поля – інтенсивну контактну взаємодію у внутрішніх розривах ядер космічних систем. Зокрема, відмічений вже топологічний зв'язок магнітної індукції із завихореністю хвильового поля швидкостей плазми створює ілюзію генерації поля на периферії космічних систем – в комірках сонячної грануляції, спіральних візерунках ґалактик і т.п. В дійсності ж тут лише перерозподіляється та концентрується гідродинамічними рухами (разом із завихореністю) вже згенероване попередньо в ядерних контактах електромагнітне поле. Такого роду ілюзії лежать, зокрема, в основі відомих гравітаційних та гравітаційно-гідродинамічних моделей генерації спіральних візерунків на дисках ґалактик [4, 5, 16].

Контактно-наведена космічна турбулентність містить когерентні форми руху широкого діапазону часових та просторових масштабів. Крупно масштабне електромагнітне поле, що вміщує дрібніші масштаби, обумовлює, з-поміж іншого, широковідоме магнітно-гальмівне (синхротронне) випромінювання електронів (та інших заряджених частинок) в космічних системах. Суттєвим моментом є наявність тут як магнітного,

так і електричного поля, яке, власне, і прискорює заряджені частинки до релятивістських та ультрарелятивістських швидкостей. Такий механізм не потребує гігантських глобальних магнітних полів (у гіпотетичних магнітарах), чорних дір та темної енергії, які ввижаються авторам сучасних ультрамодних антифізичних теорій [17–20].

Зниження електропровідності земної речовини по мірі просування когерентних структур руху від ядра на периферію обумовлює поступовий розпад цих структур та розсіяння електромагнітної енергії в мантії Землі [8]. Це прямо впливає на глибинну тектоніку, клімат та еволюцію життя на Землі, формуючи не тільки цикли геомагнітного поля, але й значно тривалішу циклічність льодовикових періодів, вулканічної активності (що їх регулює), та глобального руху континентів.

Повертаючись до ролі металізованого водневого активатора цих процесів [5–8], відмітимо, що саме вичерпання запасів цього активатора, найвірогідніше, й спричинило зникнення магнітного поля на Місяці та Венері – найближчих наших космічних сусідах. Навпаки, його наявність навіть на відносно невеликих (за космічними мірками) супутниках Юпітера – Іо та Ганімеді [21] – свідчить про те, що металічний водень у внутрішніх контактних розривах ядер цих супутників, запасений на початковому етапі гравітаційного колапсу, здатен залишатись у метастабільному стані при тисках принаймні в десятки гігапаскаль – на порядок нижчих за початкові [5–8].

Окремо слід відзначити особливу роль каскадних процесів перенесення енергії по спектру збурень контактної-наведеної космічної турбулентності [5–8]. Саме вони забезпечують грандіозний діапазон часових та просторових масштабів космічного контактного динамо, що перевищує п'ятдесят порядків величини – від трильйонів років для Метагалактики [6] до $\sim 10^{-35}$ секунди для частинок з енергією ~ 100 Дж на верхній зареєстрованій границі спектру космічних променів [8]. Турбулентне перенесення космічної енергії по спектру збурень цілком ігнорується апологетами присутності темної матерії і темної енергії, котрі вперто застосовують відому теорему віріала для побудови своїх ілюзорних моделей [20], забуваючи про те, що жодна система в Космосі не є ізольованою (де тільки й можливе застосування теореми віріала) [6]. В результаті, наприклад, далекий вихід спіральних галактичних структур за межі зоряної компоненти дисків у багатьох галактиках пояснюється ними присутністю “темного гало”, яке ніби-то продукує гравітаційні хвилі густини в газовому диску [20]. Розмах сучасної пропаганди усього “чорного” в космосі (дір, матерії, енергії) [18–20] дозволяє охарактеризувати її як третю диверсію в фізиці – після перших двох, що вже згадувались.

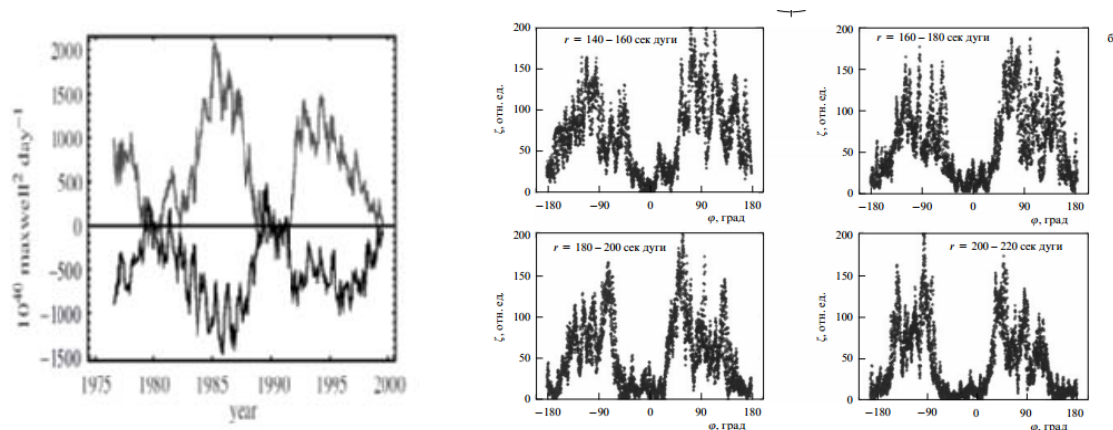


Рис. 10. Часова періодограма транспорту магнітної спіральності в атмосфері Сонця [22] (зліва) та просторова періодограма азимутального розподілу інтенсивності радіовипромінювання в лінії 21 см від спіральної галактики NGC 1365 на відстані r від центра Галактики [15] (справа)

На завершення цього розгляду в якості ілюстрації наведемо періодограми контактного динамо у часовому та просторовому вимірах для двох космічних систем різного масштабу – сонячного та галактичного – рис. 10. Ці періодограми, що описуються існуючими теоретичними моделями [15, 22] без будь-яких спільних точок дотику, повністю відповідають розглянутій тут моделі контактної генерації когерентних космічних форм руху.

Література

1. Эльзассер В.М. Магнитная гидродинамика / В.М. Эльзассер // УФН. – 1958. – Т. LXIV, № 3. – С. 529–588.
2. Сыроватский С.И. Магнитная гидродинамика / С.И. Сыроватский // УФН. – 1957. – Т. LXII, № 3. – С. 247–303.
3. Соколов Д.Д. Динамо: на пути от астрофизических моделей к лабораторному эксперименту / Д.Д. Соколов, Р.А. Степанов, П.Г. Фрик // УФН. – 2014. – Т. 184, № 3. – С. 313–335.
4. Физическая энциклопедия : в 5 томах / под ред. А.М. Прохорова. – М. : Большая рос. Энциклопедия, 1999. – 760 с.
5. Заспа Ю.П. Контактне динамо як генератор космічних форм руху та джерело планетарного,

сонячного і галактичного магнетизму. Частина I / Ю.П. Заспа // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2016, № 5 (229). – С. 106–118.

6. Заспа Ю.П. Контактне динамо як генератор когерентних космічних форм руху та джерело планетарного, сонячного, галактичного і метagalактичного магнетизму. Частина II / Ю.П. Заспа // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2016, № 2 (235). – С. 36–52.

7. Заспа Ю.П. Контактне динамо як генератор космічних форм руху та джерело планетарної, сонячної, галактичної і метagalактичної енергії та магнетизму. Частина V / Ю.П. Заспа // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2016, № 5 (241). – С. 198–208.

8. Заспа Ю.П. Контактне динамо як генератор когерентних космічних форм руху та джерело планетарної, сонячної, галактичної і метagalактичної енергії та магнетизму. Частина VI / Ю.П. Заспа // Вісник ХНУ. Технічні науки. – 2017, № 1 (245). – С. 221–231.

9. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Электродинамика сплошных сред / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1982. – 660 с.

10. Моффатт К. Вихревая динамика: наследие Гельмгольца и Кельвина / К. Моффатт // Нелинейная динамика. – 2006. – Т. 2, № 4. – С. 401–410.

11. Moffatt H.K. Helicity in laminar and turbulent flow / H.K. Moffatt, A. Tsinober // Annu. Rev. Fluid Mech. – 1992. – V. 24. – P. 281–312.

12. Кузнецов В.В. Введение в физику горячей Земли / Кузнецов В.В. – Камчатка : ИКИР, 2008. – 360 с.

13. Канер Э.А. Электромагнитные волны в металлах в магнитном поле / Э.А. Канер, В.Г. Скобов // УФН. – 1966. – Т. 89, № 3. – С. 367–408.

14. Акустические и электрические методы в триботехнике / Свириденко А.И., Мышкин Н.К., Калмыкова Т.Ф., Холодильников О.В. – Минск : Наука и техника, 1987. – 280 с.

15. Фридман А.М. Предсказание и открытие новых структур в спиральных галактиках / А.М. Фридман // УФН. – 2007. – Т. 177, № 2. – С. 121–148.

16. Beck R. Magnetic fields in spiral galaxies / R. Beck // Astron. Astrophys. Rev. – 2016. – V. 24, № 4. – P. 1–57.

17. Бескин В.С. Магнитогидродинамические модели астрофизических струйных выбросов / В.С. Бескин // УФН. – 2010. – Т. 180, № 2. – С. 1241–1278.

18. Докучаев В.И. Физическая лаборатория в центре Галактики / В.И. Докучаев, Ю.Н. Ерошенко // УФН. – 2015. – Т. 185, № 8. – С. 829–843.

19. Рябов В.А. Поиски частиц темной материи / В.А. Рябов, В.А. Царев, А.М. Цховребов // УФН. – 2008. – Т. 178, № 11. – С. 1129–1164.

20. Засов А.В. Темная материя в галактиках / А.В. Засов, А.С. Сабурова, А.В. Хоперсков, С.А. Хоперсков // УФН. – 2017. – Т. 187, № 1. – С. 3–44.

21. Showman A.P. The Galilean Satellites / A.P. Showman, R. Malhotra // Science. – 1999. – V. 286. – P. 77–84.

22. Berger M.A. Topological methods in astrophysics / M.A. Berger // Phil. Trans. R. Soc. Lond. A. – 2001. – V. 359. – P. 1439–1448.

23. Sgr A* (Стрелец A*) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.astronet.ru/db/msg/1195170>

24. Радиогалактики [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.astronet.ru/db/msg/1188595>

Отримана/Received : 8.5.2017 р. Надрукована/Printed : 10.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Диха О.В.

ОПТИМІЗАЦІЯ АЛФАВІТУ ІНФОРМАТИВНИХ ОЗНАК ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ РОЗПІЗНАВАННЯ МОВЦІВ КРИТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ

В результаті проведених досліджень виконано математичну постановку задачі ідентифікації оптимального алфавіту інформативних ознак для застосування у автоматизованих системах розпізнавання мовців критичного застосування. Для цього використано математичний апарат сингулярного аналізу до процесу екстрагування інформативних для розпізнавання мовця ознак із мовного сигналу і сформульовано алгоритм, який дозволяє як ранжувати інформативні ознаки за їх ефективністю для розпізнавання мовця так і, враховуючи комплексний характер інформативних ознак, – оптимізувати розмір їх алфавіту для прийняття рішень в задачі розпізнавання мовців. Запропонований метод базується на математичному перетворенні, функціями якого є власні вектори коваріаційної матриці вхідного сигналу, значення яких дозволяють виділити найменш корельовано інформативні для розпізнавання мовця ознаки. Алгоритм аналізу інформативних ознак на основі запропонованого методу адаптований для систем розпізнавання мовців критичного застосування із блоком прийняття рішень на основі нейромережевого класифікатора глибокого навчання.

Ключові слова: автоматизована система розпізнавання мовців критичного застосування, інформативні ознаки, загортальна нейронна мережа, сингулярний розклад, розклад Карунена-Лоева.

A.O. BEREZA, M.M. BYKOV, V.V. KOVTUN

Vinnitsia National Technical University

INFORMATION FEATURES ALPHABET OPTIMIZATION FOR THE AUTOMATED SPEAKER RECOGNITION SYSTEM OF CRITICAL USE

A research result is performed mathematical formulation of optimal information features alphabet. In result of research the mathematical formulation of the problem of informative features optimal alphabet identification for the use in the automated speaker recognition system of critical use. For this purpose the mathematical apparatus was used to the process of extracting of informative for speaker recognition features from speech signal and the algorithm that allows both ranking of informative features by their effectiveness for speaker recognition and, taking into account the complex nature of informative features, to optimize the size of their alphabet for making decisions in speaker recognition task. Offered method is based on mathematical transformation the functions of which are eigenvectors of the covariance matrix of the input signal values of which allow to select the least correlated informative for speaker recognition features. Algorithm of analysis of informative features based on offered method is adapted to speaker recognition systems of critical use with the making decision block on the base of neural network classifier of depth study.

Keywords: automated speaker recognition system of critical use, information features, convolution neural network, a singular transform, Karhunen-Loeve transform.

Вступ

Задача автоматизованого розпізнавання мовця, не дивлячись на свою актуальність, досі не розв'язана, що можна пояснити, в тому числі і її обчислювальною складністю. Існує значна кількість методів аналізу мовних сигналів у частотному та часовому просторах, які дозволяють виділити інформативні для розпізнавання мовця ознаки, але спільною рисою найефективніших з них (наприклад, кепстральні коефіцієнти, період і частота основного тону і т. ін.) є значна обчислювальна складність їх екстрагування та залежність отриманих значень інформативних ознак від якості мовного матеріалу та умов його запису.

В задачах розпізнавання образів знайшли своє застосування методи зменшення розмірності простору ознак, основними з яких є метод Карунена-Лоева [1, 2] (Karhunen-Loeve transform, KLT), метод сингулярного розкладу [3–5] (Singular value decomposition, SVD) та метод головних компонент [6,7] (Principal component analysis, PCA). Спільною рисою цих методів є застосування математичного перетворення, базисними функціями якого є власні вектори коваріаційної матриці вхідного сигналу, з метою виділення найменш корельованих його компонент. В техніці згадані методи в основному використовуються в задачах стиснення та знешумлення зображень та, меншою мірою, знешумлення мовних сигналів. Обмеженість використання цих методів пов'язана із їх значною обчислювальною складністю. Втім у системах автоматизованого розпізнавання останнім часом активно використовують нейромережі глибокого навчання (НМГН), процес навчання яких є складною та трудомісткою операцією. Отже, факторний аналіз інформативних ознак на основі згаданих методів, адаптований для оптимізації алфавіту інформативних ознак для систем розпізнавання мовців нейромережами глибокого навчання, стає ефективним порівняно з НМГН щодо економії обчислювальних ресурсів, що є особливо актуальним для автоматизованих систем критичного застосування.

Постановка завдання

Метою дослідження є отримання математичної постановки задачі ідентифікації оптимального алфавіту інформативних ознак для застосування у автоматизованих системах розпізнавання мовців критичного застосування. Для досягнення поставленої мети автори пропонують застосувати принципи факторного аналізу до процесу екстрагування інформативних для розпізнавання мовця ознак і

сформулювати алгоритм, який дозволить як ранжувати інформативні ознаки за їх ефективністю для розпізнавання мовця так і, враховуючи комплексний характер інформативних ознак, – оптимізувати розмір їх алфавіту для прийняття рішень в задачі розпізнавання мовців.

Математична постановка задачі факторного аналізу інформативних ознак для автоматизованих систем розпізнавання мовця критичного застосування

Нехай є M дискретизованих записів мовних сигналів, виголошених одним з m мовців, представлених у просторі інформативних ознак вектором X^m . Для кожного з m мовців відома навчальна вибірка $\{X_l^m\}$, $l=1, K$, де K – обсяг вибірки. Тоді середнє значення по множині записів, що утворюють вибірку для класифікації, $X_{em}^m = \frac{1}{K} \sum_{l=1}^K X_l^m$ буде вважатися оцінкою належності аналізованого сигналу до одного з m мовців.

Використовуючи можливості сингулярного розкладу можна отримати оператор розкладу $B^m = [B_1^m, B_2^m, \dots, B_N^m]^T$ для класів m , якщо для рядків B_i^m матриці B^m виконується умова ортонормованості.

Виконаємо екстрагування інформативних для розпізнавання мовців ознак з вектора вихідних даних X^m :

$$Y^m = \frac{1}{N} B^m X^m, \quad (1)$$

де Y^m – вектор інформативних для розпізнавання мовців коефіцієнтів, перетворений за системою ортогональних функцій B^m для класу m .

Для кожного вектора X^m , який належить класу m векторів вихідних даних, отримаємо $Y^m = B^m X^m$, де $X^m = [x_1^m, x_2^m, \dots, x_N^m]$, $Y^m = [y_1^m, y_2^m, \dots, y_N^m]$, тоді процес обчислення X^m можна представити відношенням

$$X^m = \sum_{i=1}^N y_i^m B_i^m. \quad (2)$$

Мінімізуючи обсяг алфавіту інформативних ознак необхідно не втратити адекватності опису класів мовців представлених вектором вихідних даних X^m . Використаємо середньоквадратичний критерій для оцінювання адекватності перетворення. Отримаємо оцінку $\tilde{X}^m$ вектора X^m , представивши його M членами, замінивши решту $N \times M$ членів y_i^m константами c_i^m :

$$\tilde{X}^m = \sum_{i=1}^M y_i^m B_i^m + \sum_{i=1}^N c_i^m B_i^m. \quad (3)$$

Похибка опису вектора X^m його оцінкою $\tilde{X}^m$ описується вектором похибки

$$\Delta X^m = X^m - \tilde{X}^m. \quad (4)$$

Тоді середньоквадратична похибка матиме вид:

$$\sigma^m = \sum_{i=M+1}^N B_i^{mT} K_x^m B_i^m, \quad (5)$$

де K_x^m – коваріаційна матриця.

Інформативність коефіцієнтів ознак, виділених із мовного сигналу, при розкладі вектора вихідних даних X^m в ортогональному базисі (1) можна оцінити відповідним значенням дисперсії $(\sigma_i^m)^2$ і узагальнити у вигляді характеристики

$$\Phi_r^m(Y^m) = \frac{\sum_{i=1}^p (y_i^m)^2}{\sum_{i=1}^p (\sigma_i^m)^2}, \quad (6)$$

де $(\sigma_i^m)^2$ – дисперсія коефіцієнтів інформативних ознак. Характеристику $\Phi_r^m(Y^m)$ називатимемо оптимальним розкладом. При певному виборі розмірності підпростору інформативних ознак r

запропонована характеристика $\Phi_r^m(Y^m)$ має екстремальні властивості, що дозволяє використовувати її в тому числі і для класифікації. Якщо вектор X^q розкладається в базисі B^m класу m , то такий розклад буде найбільш точним при $q = m$ і $X^q \in \{X_i^m\}$. Характеристика $\Phi_r^m(Y^m)$ при цьому буде максимальною. Дане твердження справедливе для всіх векторів навчальної вибірки, тому характеристику $\Phi_r^m(Y^m)$ можна використана для формулювання критерію класифікації, що враховує оптимальність представлення вектора вихідних даних: якщо $\Phi^{mq} = \Phi_r^m - \Phi_r^q > 0$ для всіх $q = \overline{1, M}$, ($q \neq m$), то $X \in \{X^m\}$.

Для ефективної класифікації із використанням запропонованого критерію необхідно, щоб характеристика Φ^{mq} була максимальною за всіма векторами навчальної вибірки і по всіх парах різних класів. Для вибору розмірності підпросторів p_M сформулюємо функцію для максимізації Φ^{mq} :

$$F(r_j) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{1}{M-1} \sum_{\substack{q=1 \\ (q \neq m)}}^M \Phi^{mq} \rightarrow \max, j = \overline{1, M}. \quad (7)$$

Оптимальні розмірності підпросторів r_M можна отримати, підставивши у функцію (7) рівняння для Φ^{mq} і розв'язавши отримані задачі максимізації. Нехай розклад векторів X^q за всіма базисами B^q , окрім базису, побудованого для векторів q -го класу, матиме рівномірний розподіл. Тоді математичне очікування коефіцієнтів інформативних ознак буде наближатися до рівномірного, що робить припустимим таке співвідношення:

$$E\left(\left(y_i^q\right)^2\right) = \frac{\|Y^q\|^2}{N}. \quad (8)$$

Підставимо значення математичного очікування (8) у (7), вважаючи при цьому, що норма вектора вихідних даних $\|Y^q\| = 1$. В результаті функція (7) набудатиме виду

$$F(r_j) = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \frac{1}{M-1} \sum_{\substack{q=1 \\ (q \neq m)}}^M \left(\sum_{i=1}^{r_s} \frac{(y_i^m)^2}{(\sigma_i^m)^2} - \frac{r_s}{N} \sum_{i=1}^{r_s} \frac{1}{(\sigma_i^m)^2} \right), j = \overline{1, M}. \quad (9)$$

Отже, задача максимізації функції (9) представляється множиною задач максимізації функцій однієї змінної:

$$F_q(r_q) = \sum_{i=1}^{r_q} \frac{(y_i^m)^2}{(\sigma_i^m)^2} - \frac{r_q}{N} \sum_{i=1}^{r_q} \frac{1}{(\sigma_i^m)^2}. \quad (10)$$

Значення розмірності підпросторів, при яких функції (10) набувають своїх максимальних значень, можна оцінити урахуванням умови (8) і припущенням, що розклад векторів навчальної вибірки, які належать m -му класу, у базисі B^m , буде відповідати умові (6), і буде виконується умова $(y_1^m)^2 \geq (y_2^m)^2 \geq \dots \geq (y_N^m)^2 \geq 0$. Приріст для функцій $F_q(r_q)$ із зростанням розмірності перестає бути позитивним, якщо виконується умова $(y_i^m)^2 \geq \frac{1}{N} \geq (y_{i+1}^m)^2$.

Множина функцій (10) має екстремальну властивість, що дозволяє використовувати їх в якості критеріїв класифікації дискретних сигналів за коефіцієнтами розкладів у базисах, субоптимальних за сингулярним розкладом. Запропонований критерій не враховує значень $N - r$ коефіцієнтів інформативних ознак.

Алгоритм факторного аналізу інформативних ознак для автоматизованих систем розпізнавання мовців критичного застосування

Узагальнимо запропоновані теоретичні дослідження застосування сингулярного розкладу для оптимізації алфавіту інформативних ознак для розпізнавання мовців у вигляді алгоритму, адаптованого до застосування у автоматизованих системах розпізнавання мовців критичного застосування в умовах ризику (статистичної невизначеності):

1. Задаємо мінімально допустиму середньоквадратичну помилку класифікації мовців, обумовлену виключенням частини ознак із вихідної їх множини – $(\sigma_i^m)^2$;
2. Центруємо векторні вибіркові дані вимірювань інформативних ознак;

3. Обчислюємо вибірккову коваріаційну матрицю K_x^m для центрованих векторних вибіркових даних $X^m = [x_1^m, x_2^m, \dots, x_N^m]$:

$$K_x = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i^m X_i^{mT};$$

4. Обчислюємо власні значення p_i і власні вектори $V_i, i = \overline{1, N}$ коваріаційної матриці K_x^m :

$$K_x V_i = p_i V_i, i, j = \overline{1, N},$$

де

$$(V_i, V_j) = \begin{cases} a_i, & \text{якщо } i = j, \\ 0, & \text{якщо } i \neq j; \end{cases}$$

5. Нормуємо власні вектори;

6. Впорядковуємо власні значення за спаданням;

7. Виключаємо з подальшого розгляду власні значення з індексами $i = \overline{m+1, N}$ згідно з заданою середньоквадратичною помилкою

$$(\sigma_i^m)^2 = \sum_{i=m+1}^N p_i;$$

8. Формуємо базис із власних векторів, які відповідають власним значенням $p_1, p_2, \dots, p_m$, які залишилися;

9. Обчислюємо компоненти $Y_i, i = \overline{1, m}$, в сформованому базисі із власних векторів V_i :

$$Y_i = V_i X, i = \overline{1, m}.$$

Отримані в результаті роботи алгоритму результати є розв'язком задачі вибору оптимального алфавіту інформативних ознак для класифікації мовців.

Експериментальні дослідження

Проведемо обчислювальний експеримент застосування запропонованого алгоритму оптимізації алфавіту барк-кепстрального аналізу записів мовних сигналів, використовуючи який модуль прийняття рішень автоматизованої системи розпізнавання мовців критичного використання здійснюватиме процес розпізнавання.

В якості бази еталонних записів використано безкоштовну базу даних NOIZEUS [8] – спеціалізовану базу даних Школи інжинірингу та комп'ютерних наук Еріка Джонсона при Університеті Техасу в Далласі, США, яка використовується для дослідження алгоритмів покращення звуку і складається з 30 речень англійської розмовної мови, вимовлених трьома чоловіками та трьома жінками (по 5 на кожного мовця, частота дискретизації записів складає 25 кГц, але задля додавання шуму була зменшена до 8 кГц) та записів типових побутових та техногенних шумів. В ході експерименту систему автоматизованого розпізнавання мовців критичного застосування навчали як записами чистих парольних фраз, так і парольними фразами із додаванням шуму. В першому випадку навчальна вибірка містила 18 парольних фраз, в другому – 576, де до чистого сигналу додавався штучний шум з рівнями шум/сигнал 0 дБ, 5 дБ, 10 дБ, 15 дБ відповідно.

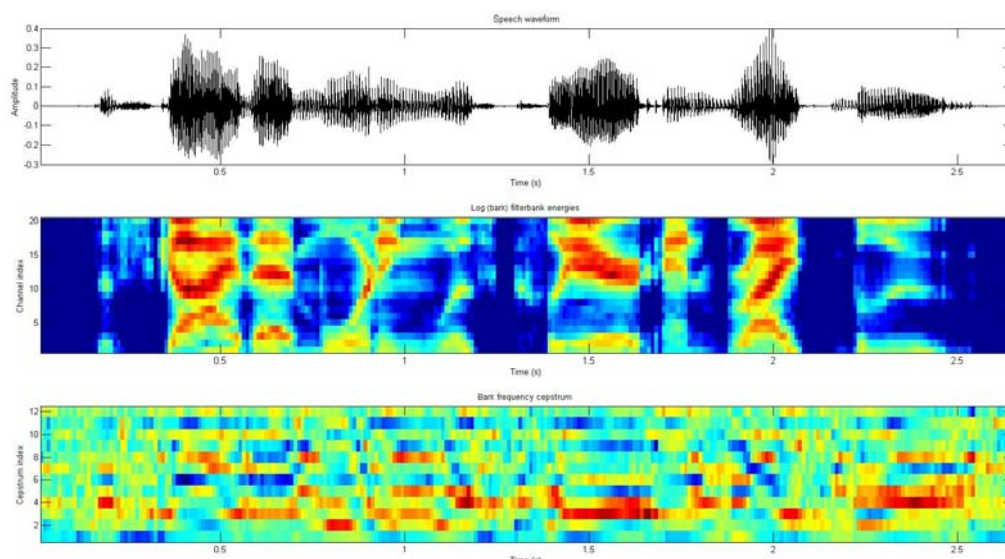


Рис. 1. Приклад роботи модуля виділення барк-кепстральних коефіцієнтів мовного сигналу

Для отримання кепстральних коефіцієнтів вхідний сигнал поділявся на кадри, тривалістю 20 мс, з кожного з яких виділялися 12 кепстральних коефіцієнтів, 12 дельта-коефіцієнтів (перша похідна) і 12 подвійних дельта кепстральних коефіцієнтів (друга похідна). Гребінка 20 трикутних смугових фільтрів перекривала частотний діапазон 40-8000 Гц, координати точок фільтрів визначалися так, щоб кожна пара фільтрів перекривалася на половину і на викривленій частотній шкалі кожен фільтр починається і закінчується в центрі сусідньої фільтру. Приклад роботи модуля виділення барк-кепстральних коефіцієнтів з мовного сигналу наведено на рисунку 1.

В результаті роботи запропонованого алгоритму оптимізації алфавіту інформативної ознаки проводиться селекція частотних смуг за принципом мінімізації коефіцієнтів матриці міжсмугової кореляції, що дозволяє відсіяти менш інформативні смуги і проводити навчання класифікатору на максимально інформативному матеріалі. Для розпізнавання мовців за оптимізованим алфавітом інформативної ознаки використано згортальну нейромережу [9], архітектура якої наведена на рисунку 2. Практичну реалізацію загортальної нейромережі глибокого навчання виконано засобами кросплатформних бібліотек Caffe [10] із відкритим програмним кодом. На розпізнавання мовців нейромережу було навчено із використанням алгоритму стохастичного градієнтного спуску (Stochastic Gradient Descent Algorithm) [11].

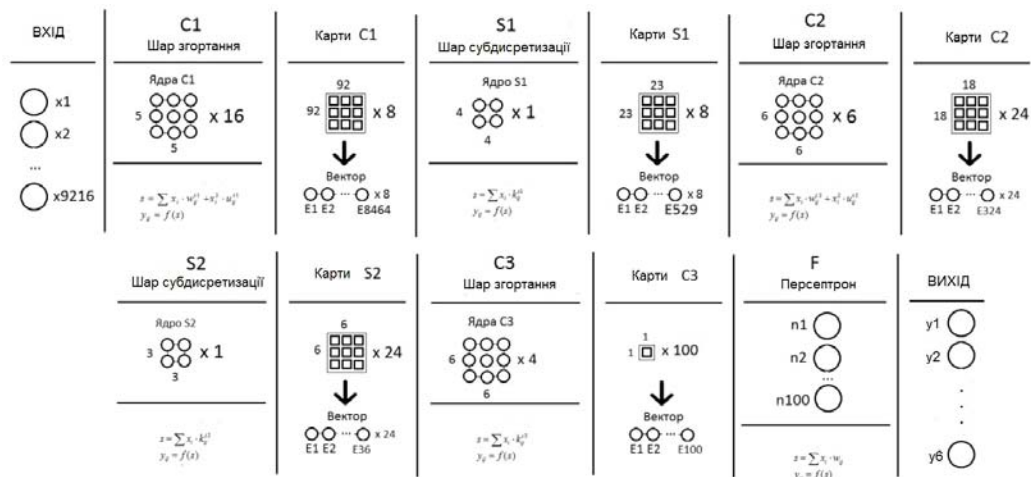


Рис. 2. Архітектура згортальної нейромережі глибокого навчання для розпізнавання мовців за оптимізованими інформативними ознаками

Для навчання нейромережі використано 60% обсягу бази аудіозаписів, в яку увійшли екземпляри записів без шумів та із різним рівнем шум/сигнал (5, 10, 15 дБ) відповідно. Тестуюча вибірка складала решту 40% аудіозаписів. Узагальнені результати експерименту представлено на рисунку 3, де імовірність правильного розпізнавання розраховувалася за формулою

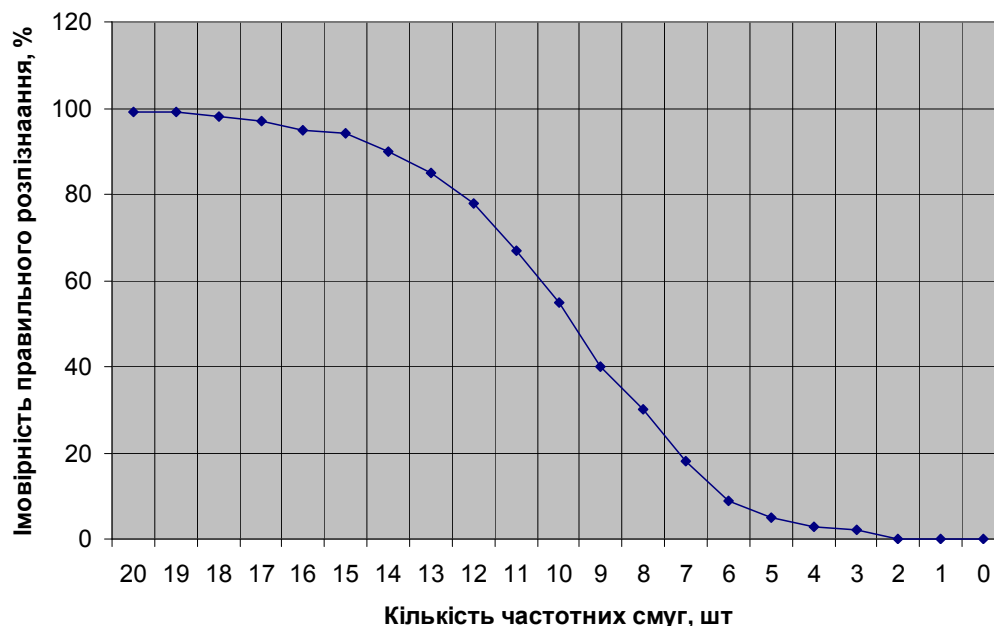


Рис. 3. Залежність імовірності правильного розпізнавання мовців від кількості частотних смуг, інформативні ознаки з яких використовувалися для розпізнавання

$$P_{pr} = \frac{\sum_i (Np_i)}{N}, \quad (11)$$

де Np_i – кількість правильних результатів розпізнавання i -го мовця, N – загальна кількість експериментів.

Як видно з рисунка, імовірність правильного розпізнавання мовців перевищувала 90% при використанні для розпізнавання 14 частотних смуг із початкових 20 і перевищувала 95% при кількості частотних смуг рівній 16. Така інформація дозволяє зменшити обсяг навчальної вибірки на 30% або 20% відповідно із прогнозованою втратою імовірності правильного розпізнавання. Такою виявилось, що визначені алгоритмом як менш інформативні для розпізнавання мовців є частотні смуги розташовані в 4200-8000 Гц.

Висновки

Отже, авторами здійснено математичну постановку задачі ідентифікації оптимального алфавіту інформативних ознак для застосування у автоматизованих систем розпізнавання мовців критичного застосування. Для цього автори застосували принципи сингулярного аналізу до процесу екстрагування інформативних для розпізнавання мовця ознак і сформулювати алгоритм, який дозволить як ранжувати інформативні ознаки за їх ефективністю для розпізнавання мовця так і, враховуючи комплексний характер інформативних ознак, – оптимізувати розмір їх алфавіту для прийняття рішень в задачі розпізнавання мовців.

Експериментальні дослідження довели працездатність запропонованого алгоритму на прикладі оптимізації алфавіту барк-кепстру мовних сигналів, коефіцієнти якого використовувалися для розпізнавання мовців загортальною нейромережею. Застосування алгоритму дозволило виявити залежність між імовірністю правильного розпізнавання мовця і кількістю частих смуг, в яких виділялася інформативна ознака, а також визначити менш інформативні частотні смуги.

Література

1. Dony R.D. Optimally adaptive transform coding / Dony R.D., Haykin S. // IEEE Trans. Image Processing, 1995. – 4(10). – P. 1358–1370.
2. Moulin P. The role of linear semi-infinite programming in signal-adapted QMF bank design / Moulin P., Anitescu M., Kortanek K.O., Potra F. // IEEE Trans. Signal Processing. – 1997. – Vol. 45. – P. 2160–2174.
3. Abdallah S. A. Application of geometric dependency analysis to the separation of convolved mixtures / Abdallah S. A., Plumbley M. D. // Proc. of the International Conference on Independent Component Analysis and Blind Signal Separation (ICA 2004), Granada, Spain, 2004. – P. 22–24.
4. Jafari M. G. Sparse coding for convolutive blind audio separation / Jafari M. G., Abdallah S. A., Plumbley M. D., Davies M. E. – Springer-Verlag, Berlin. Proc. ICA, 2006. – P. 132–139.
5. Michal A. K-SVD: An algorithm for designing overcomplete dictionaries for sparse representations / Michal A., Michael E., Bruckstein A. // IEEE Trans. on Signal Processing. – 2006. – Vol. 54. – P. 4311–4322.
6. Gorban A. N. Principal Manifolds for Data Visualisation and Dimension Reduction, Series: Lecture Notes in Computational Science and Engineering 58, Springer, Berlin / Gorban A. N., Kegl B., Wunsch D., Zinovyev A. Y. – Heidelberg. – New York, 2007, XXIV. – 340 p. – ISBN 978-3-540-73749-0.
7. Jolliffe I.T. Principal Component Analysis, Series: Springer Series in Statistics, 2nd ed. – Springer, NY, 2002. – 487 p. – ISBN 978-0-387-95442-4
8. NOIZEUS: Noisy speech corpus - Univ. Texas-Dallas [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://ecs.utdallas.edu/loizou/speech/noizeus/>.
9. CS231n: Convolutional Neural Networks for Visual Recognition [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://cs231n.github.io/convolutional-networks/>
10. Caffe | Deep Learning Framework [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://caffe.berkeleyvision.org/>.
11. An overview of gradient descent optimization algorithms [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://sebastianruder.com/optimizing-gradient-descent/>.

Отримана/Received : 8.5.2017 р. Надрукована/Printed : 10.6.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Бісікало О.В.

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ АРХІТЕКТУРИ КОРПОРАТИВНОГО ДОДАТКУ НА ПРИКЛАДІ СИСТЕМИ ОБЛІКУ РОБІТ ПІДПРИЄМСТВА

В роботі проведено опис критеріїв, яким повинно задовольняти програмне забезпечення обліку робіт аграрного підприємства. Здійснено визначення предметних підобластей та взаємозв'язків між ними, на основі яких розроблено архітектуру програмного забезпечення обліку робіт аграрного підприємства. Використовуючи спроектовану архітектуру, було розроблено програмне забезпечення обліку робіт аграрного підприємства.

Ключові слова: архітектура програмного додатку, модульність, аграрне підприємство.

O.V. IVANOV, A.O. NICHEPORUK, R.YE. BEL'FER, B.O. SAVENKO

Khmelnitskyi National University

DESIGN FEATURES AN ARCHITECTURE OF ENTERPRISE APPLICATION BASED ON THE EXAMPLE OF THE ACCOUNTING WORKS ENTERPRISES

The paper presents a description of the criteria which must be met by software registration of work of the agrarian enterprise. Implemented definition of the subject sub areas and relationships between them on the basis of which developed a software architecture included in the work of the agrarian enterprise. Using the designed architecture has been developed accounting software of work of the agrarian enterprise.

Keywords: software application architecture, modularity, agricultural company.

Вступ. Проектування архітектури програмного забезпечення є важливим етапом розробки для проектів зі складною внутрішньою структурою і численними внутрішніми зв'язками. Помилка у виборі способу розв'язання конкретного модулю може сильно вплинути на подальший розвиток проекту, привести до лавиноподібного зростання складнощів та помилок. При невірному або несвоєчасному проектуванні архітектури програмного забезпечення можливий момент, коли стає економічно та ресурсоефективно заново переробити програмне забезпечення, ніж виконувати пошук помилок та здійснювати перепроєктування розроблених компонентів. Тому, проектування архітектури є важливим етапом розробки програмного забезпечення, виконання якого дозволяє підвищити загальну ефективність проектування програмних додатків.

Критерії, яким повинно задовольняти програмне забезпечення обліку робіт аграрного підприємства. З метою забезпечення гнучкості при написанні, тестуванні та відлагодженні, виокремимо набір критеріїв, яким повинно задовольняти програмне забезпечення обліку робіт аграрного підприємства [1–5]:

Ефективність системи. В першу чергу, програмне забезпечення повинно вирішувати поставлені завдання та якісно виконувати закладені функції, враховуючи різні умови використання. До цього критерію можна віднести такі характеристики як надійність, безпеку, продуктивність, здатність справлятися зі збільшенням навантаження (масштабованість) і т.д.

Гнучкість системи. Будь-який програмний додаток доводиться змінювати з часом – змінювати вимоги, додавати нові. Чим швидше і зручніше можна внести зміни в існуючий функціонал та чим менше проблем і помилок це викличе – тим гнучкіше і конкурентоздатною виявиться система. При виконанні проектування програмних систем слід передбачати ситуації при якій, наприклад, архітектурне рішення виявиться невірним, і яку кількість коду при цьому необхідно переписати.

Можливість розширення системи. Можливість додавати в систему нові сутності та функції, не порушуючи її основної структури. На початковому етапі в систему має сенс закладати лише основний і самий необхідний функціонал (принцип YAGNI) Але при цьому архітектура повинна дозволяти легко нарощувати додатковий функціонал в міру необхідності. Причому так, щоб внесення найбільш ймовірних змін вимагало найменших зусиль. Це означає, що додаток слід проектувати так, щоб зміна його поведінки і додавання нових функцій було б досягнуто за допомогою написання нового коду (розширення), і при цьому не доводилося б змінювати вже існуючий код. В такому випадку поява нових вимог не спричинить за собою модифікацію існуючої логіки, а зможе бути реалізовано перш за все за рахунок її розширення.

Масштабованість процесу розробки. Можливість скоротити термін розробки за рахунок додавання до проекту нових розробників. Архітектура повинна дозволяти розпаралелювання процесу розробки, так щоб багато розробників могли працювати над програмою одночасно.

Тестопридатність. Код, який легше тестувати, буде містити менше помилок і надійніше працювати. Але тести не тільки покращують якість коду. Багато розробники приходять до висновку, що вимога «гарна тестованість» є також спрямовуючою силою, що автоматично веде до хорошого дизайну, і одночасно одним з найважливіших критеріїв, що дозволяють оцінити його якість.

Супровід. Над програмою, як правило, працює багато людей - одні йдуть, приходять нові. Після написання супроводжувати програму теж, як правило, доводиться людям, які не брали участі в її розробці.

*Тому хороша архітектура повинна давати можливість відносно легко і швидко розібратися в системі новим

людей. Проект повинен бути добре структурований, не містити дублювання, мати добре оформлений код і бажано документацію. І по можливості, в системі слід застосовувати стандартні, загальноприйняті рішення, що звичайні для програмістів. Чим екзотичніше система, тим складніше її зрозуміти іншим (Принцип найменшого подиву – Principle of least astonishment; зазвичай, він використовується відносно призначеного для користувача інтерфейсу, але застосуємо і до написання коду).

Особливості проектування архітектури корпоративного додатку на прикладі системи обліку робіт аграрного підприємства. Аграрна галузь є однією з найскладніших галузей промисловості. Вона об'єднує у собі до прикладу автомобільну, геодезичну, біологічну сфери, сферу документообігу, складського обліку та безлічі інших. Саме тому першим кроком проектування архітектури корпоративного додатку є виявлення предметних підобластей та встановлення зв'язків між ними. У таблиці 1 представлено визначення предметних підобластей та взаємозв'язків між ними.

Таблиця 1

Визначення предметних підобластей

Предметна підобласть	Контекст підобласті
Транспорт	Типи, підтипи, моделі, транспортних засобів, типи та моделі агрегатів
Об'єкти	Контурні об'єкти, поля, склади, адміністративні одиниці, тощо
Культури	Культури що вирощуються на полях
Матеріали	Паливо, насіння, хімічні добрива, тощо
Документація	Види робіт, фази обробітку, наряди на виконання робіт, облікові листи, тощо

Таблиця 2

Визначення взаємозв'язків між підобластями в аграрній галузі

	Транспорт	Об'єкти	Культури	Матеріали	Документація
Транспорт					X
Об'єкти			X		X
Культури		X		X	X
Матеріали			X		X
Документація	X	X	X	X	

Основна взаємодія між підобластями відбувається завдяки підобласті «Документація» яка являється своєрідним буфером між іншими підобластями накопичуючи та розподіляючи інформацію про контексти інших підобластей. Окрім цієї основної зв'язки існує ще дві: зв'язка «Матеріали – Культури» та зв'язка «Культури - Об'єкти». Відношенням «Матеріали – Культури» є, до прикладу, наявність у контексті матеріалів насіння певної культури, а відношенням «Культури - Об'єкти» – належність певної культури до контуру поля, на якому вона вирощується.

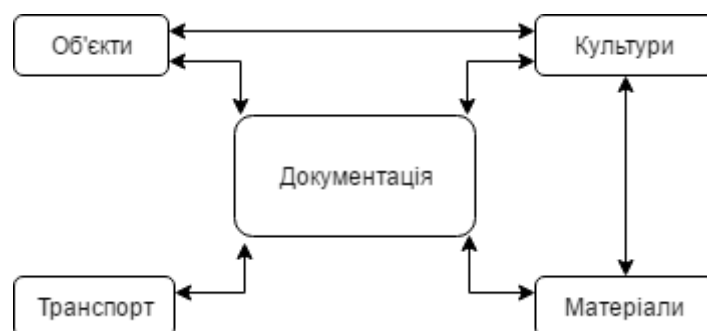


Рис. 1. Карта контекстних областей предметної області

На рис. 2 наведено архітектуру програмного додатку для обліку аграрного підприємства.

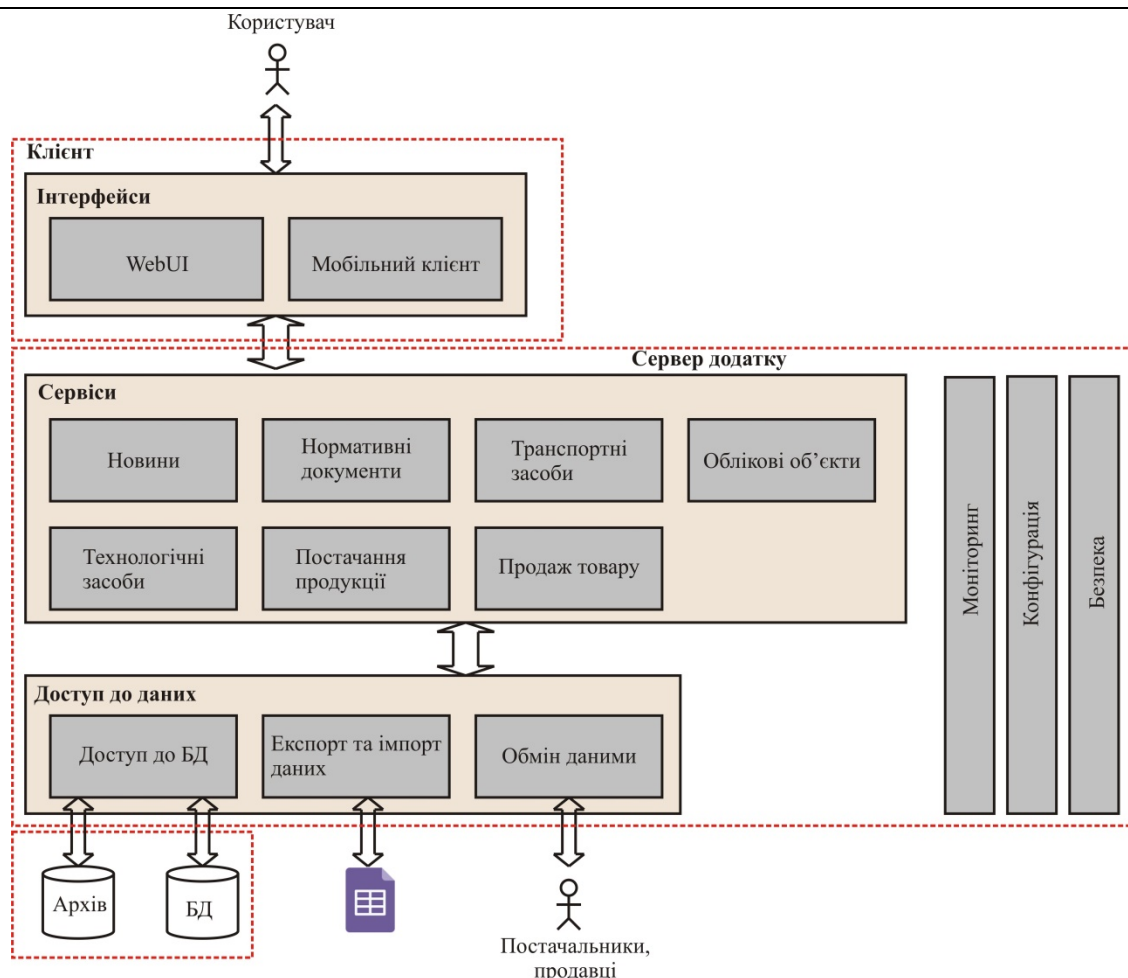


Рис. 2. архітектура програмного додатку для обліку аграрного підприємства

д)

Рис. 3. Віконні форми програмного додатку обліку аграрного підприємства: а) форма визначення початкової інформації, б) форма вибору технічної операції, в) Форма вибору транспортних засобів, г) форма вибору облікових об'єктів, д) форма вибору облікових об'єктів (для базових операцій)

При проектуванні програмного додатку облік нарядів повинен бути у вигляді списку де

відображатиметься базова інформація про роботи. Іншою вимогою є забезпечення детального перегляду кожного наряду де відображатиметься повна та детальна інформація. Також необхідно передбачити відображення активних нарядів у режимі реального часу та відображення історії скасованих та завершених нарядів використовуючи сторінкову навігацію. Окрім того, додаток повинен містити можливість фільтрації нарядів за основними інформативними полями. Редактор нарядів повинен складатись з декількох вкладок - для кожного виду робіт: основної механізованої, допоміжної механізованої та допоміжної ручної. Віконні форми розробленого додатку обліку аграрного підприємства наведено на рис. 3.

Висновок

В роботі проведено опис критеріїв, яким повинно задовольняти програмне забезпечення обліку робіт аграрного підприємства. Здійснено визначення предметних підобластей та взаємозв'язків між ними на основі яких розроблено архітектуру програмного забезпечення обліку робіт аграрного підприємства. Використовуючи спроектовану архітектуру було розроблено програмне забезпечення обліку робіт аграрного підприємства.

Література

1. Fowler, M., Rice D., Foemmel, M., Hieatt, E., Mee, Stafford, R.: Patterns of Enterprise Application Architecture, Addison-Wesley, pp. 533 (2014).
2. Gramma, E., Helm, R., Johnson, R., Vlissides J.: Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software, Addison-Wesley, pp. 403 (2000).
3. Richter, J.: CLR via C# (Developer Reference), 4th Edition, Microsoft Press, pp. 896-902 (2012).
4. Garlan, D., Shaw, M.: An Introduction to Software Architecture, Technical Report, University Pittsburgh, PA, USA, pp. 457 (1994).
5. Clements, P.C., Heitmeyer, C.L., Labaw, B.G., Rose, A.T.: MT: A toolset for specifying and analyzing real-time systems, In Proc. of the Real-Time Systems Symposium 93, pp. 12-22 (1993).

Отримана/Received : 15.5.2017 р. Надрукована/Printed : 10.6.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Боровик О.В.

УДК 004.415

О.А. КРАВЧУК

Хмельницький національний університет

ПРАКТИЧНИЙ ОГЛЯД PHP 7

В статті розглядається PHP7 – мова програмування загального призначення з відкритим вихідним кодом. PHP сконструйований спеціально для ведення веб-розробок. PHP – це кросплатформенна технологія. Дистрибутив PHP доступний для більшості операційних систем, включаючи Linux, багатьох модифікацій Unix, Microsoft Windows, Mac OS. PHP підтримується на більшості веб-серверів, таких як Apache, Nginx, Microsoft Internet Information Server (IIS), Microsoft Personal Web Server та інших.

Ключові слова: PHP7, мова програмування, 7 версія, висока швидкодія, оптимізація, мультиплексування, веб-сервер, відкритий код, веб-розробка.

О.А. KRAVCHUK

Khmelnytsky National University

PRACTICAL PHP 7 REVIEW

In the article we review PHP7 - general-purpose programming language. It is open source software. PHP is designed specifically for web development. PHP it is cross-platform technology. Distribution PHP is available for most operating systems, including Linux, many modifications of Unix, Microsoft Windows, Mac OS. PHP is supported on most web servers such as Apache, Nginx, Microsoft Internet Information Server (IIS), Microsoft Personal Web Server, and many others. The most easily recognizable advantage of the new PHPNG engine is the significant performance improvement. The development team of PHPNG refactored the Zend Engine, and remarkably optimized memory usage. By using PHP 7 not only your code will be executed faster but you will also need fewer servers to serve the same amount of users.

Keywords: PHP7, programming language, version 7, high performance, optimization, multiplexing, Web server, open source, web development.

Постановка проблеми. Однією з найбільш значних подій, що відбулися в світі програмування, став випуск PHP 7. Цілих 10 років відділяють його від випуску першого релізу PHP з номером 5. Зі збільшенням першої цифри в номері версії, в PHP 7 з'явилася маса нововведень, збільшилася й швидкість роботи.

Практично всі оновлення додавали невеликі поліпшення продуктивності PHP. Однак на цей раз продуктивність PHP, в порівнянні з ранніми версіями, зросла куди значно більше, ставши однією з найочікуваніших особливостей PHP 7. Це було частиною проекту "PHPNG" ("php new generation"), яка

зачепила власне сам Zend Engine [2].

Рефакторинг внутрішніх структур даних і додавання додаткового етапу перед компіляцією коду у вигляді абстрактного синтаксичного дерева – Abstract Syntax Tree (AST) привели до надзвичайної продуктивності та більш ефективному розподілу пам'яті. Цифри самі по собі виглядають багатообіцяюче – тести, виконані на реальних додатках показують, що PHP 7 в середньому вдвічі швидше PHP 5.6, а також використовує на 50% менше пам'яті під час обробки запитів, що робить PHP 7 сильним суперником для компілятора HHVM JIT від Facebook.

В сьомій версії є лише один недолік, оскільки була прибрана застаріла функціональність, це призвело до деяких проблем з зворотною сумісністю, ускладнивши переведення старих додатків на нову версію.

Аналіз досліджень. Якщо ви якийсь час не працювали з PHP, ви можете здивуватися, куди ж пропав PHP 6, чому відбувся стрибок з PHP 5 відразу на PHP 7? Випуск PHP шостої версії не відбувся. Головною особливістю версії 6 була підтримка символів Unicode, оскільки в основному PHP використовується в веб-розробці, вебу ж потрібна підтримка Unicode, тому її реалізація мала сенс [3].

Ідея була в тому, щоб реалізувати підтримку Unicode безпосередньо в ядрі. Такий підхід мав розширити можливості мови – від використання неоднозначних емоджі, як імена змінних і функцій, до потужної функціональності інтернаціональних рядків. На жаль, цей амбітний план мав куди більше проблем, ніж очікувалося. Велика частина кодової бази повинна була бути перенесена для підтримки Unicode, як у випадку ядра, так і в разі важливих розширень, що виявилось дуже важкою і непростою справою. Це уповільнило процес розробки інших можливостей мови, що засмутило багатьох PHP-розробників. З'явилися і інші бар'єри, що призвело до падіння інтересу до розробки вбудованої підтримки Unicode, а згодом проект і зовсім виявився анти-продуктивним [4]. А оскільки маса ресурсів, таких як книги і статті, були написані з використанням назви PHP 6 новій версії було вирішено присвоїти ім'я PHP 7 – просто для того, щоб уникнути непорозумінь.

Формулювання цілей статті. Мета дослідження – огляд та аналіз нововведень мови програмування PHP7 та проблеми, які можуть виникнути при перенесенні веб-додатків на дану версію.

Виклад основного матеріалу дослідження. PHP – це мова програмування, яка в основному застосовується в веб-розробці, як правило, в частині back-end. PHP має досить довгу історію – його перша версія з'явилася більше 20 років тому, в 1995 році. За цей час було випущено 7 версій PHP, остання з яких з'явилася в грудні 2015 року. Про неї і піде мова в цій статті.

Реліз PHP 7.0 став у своєму роді проривом, оскільки він ґрунтувався на phpng – експериментальному і активно прогресуючому проекті PHP, назва якого розшифровується як "PHP Next Generation" – «Наступне покоління PHP». Дану технологію можна було впровадити і в попередніх версіях PHP, проте саме в PHP 7 вона була введена як осново-утворююча. При її розробці була поставлена мета підвищити продуктивність PHP, і при цьому не втратити сумісність.

PHP 7 заснований на третій версії Zend Engine, в якій був розвинений проект phpng. В першу чергу, нововведення в PHP 7 торкнулися найважливіших для розробки додатків параметрів – це продуктивність і споживання пам'яті.

Основна зміна, про який в першу чергу згадують в розмові про PHP 7, це поліпшення продуктивності: показники PHP 7 наближені до показників HHVM (розробленої Facebook системи, яка дозволяє прискорити перетворення PHP-коду в кілька разів). Не останньою причиною цього стало те, що співзасновник Zend Technologies (компанії-розробника ядра PHP) Зеєв Сураські розглядає HHVM як одного з конкурентів Zend. А провідний розробник PHP 7 компанії Zend Technologies і автор phpng Дмитро Стогів запевняє, що різниця в продуктивності PHP 5.0 і PHP 7 на синтетичному тесті Bench PHP становить 14 раз. На практиці більшість користувачів схилиються до думки, що PHP 7 приблизно в два рази швидше попередньої версії.

HHVM використовує так звану JIT (Just-In-Time) компіляцію для перетворення коду – незважаючи на те, що JIT в 7 версії PHP не з'явився, PHP 7 підтримує більш хорошу міграцію, яка і дозволяє поліпшити продуктивність в рази. Саме новий рівень продуктивності Дмитро Стогів виділяє в якості головної особливості PHP 7.

Поліпшення продуктивності вдалося домогтися і завдяки тому, що компілятор тепер генерує більше ефективний і короткий байт-код.

В наш час вкрай важливо думати про користувачів не тільки стаціонарних, але і мобільних пристроїв, тому розробники PHP 7 поліпшили виконання операцій ядра і знизили споживання пам'яті, а також додали можливість використовувати нативне локальне сховище. До того ж PHP 7 дозволяє виконувати асинхронні завдання. До речі, при розробці враховувалися і популярні тенденції щодо скорочення споживання ресурсів планети, тому PHP 7 має можливість обробляти більше трафіку, використовуючи все ті ж ресурси сервера.

Розглянемо основні нововведення сьомої версії. У PHP 7 з'явилося кілька нових синтаксичних особливостей, одним з них є групування оголошень імпорту. Тепер синтаксис мови дозволяє групувати оголошення імпорту класів, які перебувають в одному просторі імен, в одному рядку. Це допоможе нам вирівняти декларації якимось, наділеним сенсом, чином або ж просто заощадить пару байт вашого коду.

Наприклад:

```
use Framework \ Module \ Foo;
use Framework \ Module \ Bar;
use Framework \ Module \ Baz;
```

У PHP 7 можна написати:

```
use Framework \ Module \ {Foo, Bar, Baz};
```

Або ж, якщо ви віддаєте перевагу багатостроковому стилю:

```
use Framework \ Module {
    Foo,
    Bar,
    Baz
};
```

Наступним нововведенням є Null-коалесцентний оператор. Він вирішує поширену проблему в PHP. Вона виникає в разі, якщо ми хочемо мати значення змінної, яке присвоєно іншій змінній, але якщо останній змінній значення не було присвоєно, то привласнити якесь явне значення. Часто виявляється необхідна при роботі з призначенням для користувача вводом даних.

Нижче наведено приклад виникнення такої ситуації:

До PHP 7:

```
if (isset ($ foo)) {
    $ Bar = $ foo;
} Else {
    $ Bar = 'default'; // Присвоюємо $ bar значення 'default' якщо $ foo дорівнює NULL
}
```

У PHP 7 дана конструкція має наступний вигляд:

```
$ Bar = $ foo ?? 'Default';
```

Цей вираз можна використовувати з ланцюжком змінних:

```
$ Bar = $ foo ?? $ Baz ?? 'Default';
```

Також новим в синтаксисі є оператор `<=>`. Він дозволяє проводити тривірневе порівняння двох значень, дозволяючи розуміти не тільки їх рівність чи нерівність, а й те, яке з них більше при нерівності, повертаючи 1, 0 або -1.

У цьому випадку ми можемо робити різні дії в залежності від того, як розрізняються значення, нижче наведений приклад коду:

```
switch ($ bar <=> $ foo) {
    case 0:
        echo '$ bar і $ foo рівні';
    case -1:
        echo '$ foo більше';
    case 1:
        echo '$ bar більше';
}
```

Порівнювані значення можуть мати тип integer, float, string і навіть бути масивами.

У PHP 7 розширили раніше існуюче оголошення параметрів в методах (класах, інтерфейсах і масивах) шляхом додавання чотирьох скалярних типів – цілого (int), з плаваючою комою (float), логічного (bool) і строкового (string) в якості можливого типу параметра.

Крім того, опціонально ми можемо вказати тип результату, що повертається функцією або методом. Підтримуються типи bool, int, float, string, array, callable, ім'я класу або інтерфейсу і parent (для методів класу).

Наведемо приклад для цього нововведення:

```
class Calculator
{
    // Оголошуємо, що параметри мають цілий тип integer
    public function addTwoInts (int $ x, int $ y): int {
    // Явно оголошуємо, що метод повертає ціле
        return $ x + $ y;
    }
}
```

Оголошення типів дозволить будувати прозорі виклики, уникаючи передачі та повернення невірних значень при роботі з функціями. Інші плюси – поява аналізаторів статичного коду і IDE, що пропонують більш чітке відображення коду при відсутності документуючих приміток DocBlocks.

Оскільки PHP слабо типізована мова, деякі значення параметрів і типів будуть приводитися виходячи з контексту. Якщо ми передаємо значення "3" в функцію, що має оголошений параметр типу int, інтерпретатор розглядатиме його як ціле і не згенерує помилку. Якщо вас не влаштовує така поведінка, ви можете працювати в суворому режимі – strict mode – завдяки додаванню відповідної директиви в параметрах середовища.

```
declare (strict_types = 1);
```

Дана опція встановлюється окремо для кожного файлу, оскільки глобальна опція розділила б сховища коду на такі, в яких файли розроблялися з включеною опцією і ті, де вона була б відключена, що

привело б до непередбачуваної поведінки при роботі з кодом з двох сховищ з різними налаштуваннями.

Наступним важливим нововведенням PHP 7 є обробка винятків рівня ядра.

З появою винятків рівня ядра, фатальні помилки, які раніше могли призвести до зупинки виконання коду, тепер можуть бути легко перехоплені і оброблені.

Помилки, такі як виклик неіснуючого методу, тепер не зупинять скрипт, замість цього буде згенеровано виняток, який можна обробити в блоці try catch, що явно покращує обробку помилок у вашому додатку. Це важливо для деяких типів додатків, серверів і демонів, оскільки фатальні помилки, в іншому випадку, цілком могли привести до необхідності їх рестарту. Тести в PHPUnit також повинні стати більш зручними у використанні, оскільки фатальні помилки могли зупинити весь тестувальний проект. Винятки, на відміну від помилок, можуть бути оброблені для кожного тесту окремо.

У PHP 7 з'явилося досить багато нових класів винятків, покликаних обробляти типи помилок, з якими ви можете зіткнутися. Для забезпечення сумісності між версіями, доданий новий інтерфейс Throwable, він може бути реалізований як винятками рівня ядра, так і користувацькими винятками. Такий підхід реалізований з метою недопущення спадкування базового класу винятків винятками ядра, що призвело б до появи винятків в попередньо написаному коді, яких раніше не було. Наведемо приклад.

До PHP 7 такий код привів би до фатальної помилки виконання:

```
try {
    thisFunctionDoesNotExist (); // ЭтаФункцияДажеНеСуществует ()
} catch (\ EngineException $ e) {
    // Підчищаємо за собою і записуємо інформацію про помилку в лог
    echo $ e-> getMessage ();
}
```

Наступне нововведення в PHP 7 – це анонімні класи. Анонімні класи – двоюрідні брати анонімних функцій, які ви могли використовувати при створенні функціональності коротких об'єктів. Анонімні класи легко створюються і використовуються так само, як і звичайні об'єкти. Ось приклад з документації:

До PHP 7:

```
class MyLogger {
    public function log ($ msg) {
        print_r ($ msg. "\ n");
    }
}

$ Pusher-> setLogger (new MyLogger ());
```

Використання анонімного класу:

```
$ Pusher-> setLogger (new class {
    public function log ($ msg) {
        print_r ($ msg. "\ n");
    }
});
```

Анонімні класи корисні при тестуванні юнітами, зокрема при мокінгу (імітації поведінки реального об'єкта) при тестуванні об'єктів і сервісів. Їх наявність дозволить нам уникнути використання великих мокінг-бібліотек і фреймворків шляхом створення простого об'єкта, що підтримує інтерфейс, який ми можемо використовувати для мокінгу.

Нововведення торкнулися також і блоку криптографічних функцій, а саме це дві нових функції для генерації криптографічно безпечних рядків і цілих. Перша повертає випадковий рядок довжиною \$ len:

```
random_bytes (int $ len);
```

Друга повертає число в діапазоні \$ min ... \$ max.

```
random_int (int $ min, int $ max);
```

Дані функції дозволять зробити більш безпечною роботу при авторизації в додатках. Також оновлені генератори. Генератори в PHP теж отримали кілька приємних нових можливостей. Тепер у них з'явився оператор return, який може бути використаний для видачі деякого фінального значення, актуального на момент завершення ітерації. Його можна використовувати для перевірки коректності виконання генератора. Наприклад, дізнатися, виконався він без помилок, що дозволить коду, який викликав генератор, коректно обробити будь-яку ситуацію, що виникла.

Більше того, генератори можуть повертати і видавати вирази з інших генераторів. Таким чином можна розбивати складні операції на більш прості, наведемо відповідні приклади:

```
function genA () {
    yield 2;
    yield 3;
    yield 4;
}

function genB () {
    yield 1;
```



```
yield from genA (); // 'GenA' викликається і відпрацьовує в цьому місці  
yield 5;  
return 'success'; // Фінальний результат, який ми пізніше можемо перевірити  
}  
  
foreach (genB () as $ val) {  
    echo "\ n $ val"; // Видасть значення від 1 до 5  
}  
  
$ GenB () -> getReturn (); // Поверне 'success' при відсутності помилок
```

В 7 версії PHP також доданий синтаксис Escape-коду для Unicode. На відміну від багатьох інших мов, до PHP версії 7, в PHP не було способу вказати в рядку escape-послідовність для Unicode символу. Тепер за допомогою escape-послідовності `\u` можна генерувати такі символи за допомогою їх кодів з набору UTF-8. Це краще, ніж безпосередня вставка символів, краще контролюються невидимі символи і символи, які мають графічне відображення відмінне від значення, приклад:

```
echo "\ u {1F602}"; // Виводить смайлик
```

До нововведень також відносяться «Очікування» (expectations) – поліпшення функції `assert ()` зі збереженням зворотної сумісності. Вони дозволяють використовувати затвердження з нульовою вартістю (zero-cost assertions) в робочому коді і підтримують можливість генерації користувацького виключення при виникненні помилки при відпрацюванні твердження, що може бути корисно при розробці.

Функція `assert ()` стала мовною конструкцією в PHP 7. Твердження повинні бути використані тільки під час розробки та тестування з метою налагодження. Для настройки її поведінки ми повинні використовувати дві директиви.

```
zend.assertions
```

1: генеруємо і виконуємо код (режим розробки) (значення за замовчуванням);

0: генерує код, але обходить його під час виконання;

-1: Не генерує код, роблячи його кодом з нульовою вартістю (режим робочого коду).

```
assert.exception
```

1: генерується при помилці затвердження шляхом створення відповідного об'єкта виключення або ж шляхом генерації об'єкта `AssertionError`, якщо такий об'єкт не був створений

0: використовує або генерує `Throwable` так, але генерується тільки попередження (warning) на базі того об'єкта, а не генерація виключення з його допомогою.

Готуємося до переходу від PHP 5 до PHP 7.

Поява версії PHP з номером 7 надало можливість зміни / оновлення і навіть видалення функціональності, яка вважалася застарілою або, деякий час, вже непотрібною. Такі зміни можуть призвести до проблем зі зворотним сумісністю старих додатків.

Інша проблема, що виникає при появі подібних версій, полягає в тому, що бібліотеки і фреймворки, які для вас важливі, можуть не мати оновлень, сумісних з новим релізом. Команда розробників PHP намагалася вносити зміни якомога більш високого ступеня зберігши зворотну сумісність для того, щоб міграція на нову версію була якомога менш трудомісткою. Відносно нові і вчасно оновлювані програми, швидше за все, буде простіше перевести на сьому версію, тоді як для старих додатків необхідно зважене рішення – чи варті витрачені зусилля отриманих можливостей або ж краще і зовсім не оновлюватися, значна частина проблем невеликих об'ємів і можуть бути легко усунені, в той час як інші можуть зажадати куди більше часу і зусиль. В цілому, якщо ви бачили попередження про використання застарілих функцій до установки PHP 7, то ви, швидше за все, побачите повідомлення про помилки, які припинять виконання вашої програми до їх усунення.

Куди важливішим є той факт, що були прибрані старі і непотрібні SAPI, наприклад такі як розширення `mysql`. Повний список розширень і можливостей, які були видалені, ви можете подивитися тут і тут.

Інші розширення і SAPI були перенести на PHP 7.

Багато сервісів хостингу додали підтримку PHP 7. Це хороша звістка для провайдерів `shared-хостингу`, оскільки збільшення продуктивності дозволить їм збільшити число клієнтських веб-сайтів без поновлення заліза, зменшивши поточні витрати і збільшивши доходи. Що до клієнтів, то вони не повинні чекати різкого збільшення продуктивності в цих умовах, та й, відверто кажучи, `shared-хостинг` в будь-якому разі не опція в разі застосування, орієнтованого на продуктивність.

З іншого боку, сервіси, які пропонують приватні віртуальні сервера або виділені сервери, отримують всю красу зростання продуктивності. Деякі PaaS-сервіси, такі як `Heroku`, давно підтримують PHP 7, інші ж, типу `AWS Beanstalk` і `Oracle OpenShift`, плетуться позаду. Переконайтеся на веб-сайті вашого PaaS-провайдера, чи є у нього підтримка PHP 7 або ж вона планується в найближчому майбутньому.

На додачу до сумісності з інфраструктурою, вам також необхідно пам'ятати про потенційні проблеми сумісності з програмним забезпеченням. Відомі CMS типу `WordPress`, `Joomla` і `Drupal` вже додали підтримку PHP 7. Основні фреймворки, такі як `Symfony` і `Laravel` теж зробили це.

Однак настав час застережень. Ця підтримка не поширюється на код третіх осіб у вигляді доповнень, плагінів, пакетів і т.п., до чого звертається ваш CMS або фреймворк. Проблеми можуть бути, і ваше завдання полягає в тому, щоб переконатися – все готово для роботи під PHP 7.

Висновки. Таким чином, у PHP 7 був прибрааний застарілий код, а також було дано «зелене світло» новим можливостям і майбутнім поліпшенням в області ефективності. Плюс, PHP незабаром повинен отримати оптимізацію продуктивності. Незважаючи на часткову втрату зворотної сумісності з попередніми версіями, більшість виникаючих проблем легко вирішувати.

Бібліотеки та фреймворки мігрують на PHP 7, що призводить до появи їх нових версій. Я закликаю вас спробувати свою версію і оцінити отримані результати. Може бути, ваш додаток вже сумісний з новою версією і готовий працювати на PHP 7, отримуючи вигоди від його використання.

Література

1. Пелешишин А.М. Позиціонування сайтів у глобальному інформаційному середовищі / А.М. Пелешишин. – Львів : Вид-во Національного університету "Львівська політехніка", 2007. – 258 с.
2. Steve Prettyman. Learn PHP 7: Object Oriented Modular Programming using HTML5, CSS3, JavaScript, XML, JSON, and MySQL. 2016. 308 p.
3. Antonio Lopez. Learning PHP 7. 2016. 414 p.
4. Mikael Olsson. PHP 7 Quick Scripting Reference, Second Edition. 2016. 136 p.

Отримана/Received : 24.4.2017 р. Надрукована/Printed : 11.6.2017 р.

Рецензент: д.ф.м.н., проф.Бедратюк Л.П.

УДК 004.056

О.П. ВОЙТОВИЧ, М.В. ГУРСЬКИЙ, Л.М. КУПЕРШТЕЙН

Вінницький національний технічний університет

Д.С. СНИГОВИЙ

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"

ЗАСІБ МОНІТОРИНГУ ДЛЯ ОПЕРАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ANDROID

На основі аналізу основних методів та шляхів поширення шкідливого програмного забезпечення в ОС Android, розроблено програмний засіб для моніторингу вхідного/вихідного трафіку усіх системних та встановлених програмних застосунків.

Ключові слова: операційна система Android, загрози та вразливості, інформаційна безпека, система моніторингу, шкідливе програмне забезпечення.

O.P. VOITOVYCH, M.V. HURSKYI, D.S. SNIGOVYY

Vinnitsya National Technical University

L.M. KUPERSHTEIN

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

MONITORING TOOL FOR ANDROID OPERATING SYSTEM

A purpose of this article is the improvement of information security of mobile devices using analysis of main threats, their ways of penetrating the system using monitoring of installed applications. Due to the high popularity of Android devices where getting root privilege's is very simple the problem of installing software from untrusted sources and increasing the likelihood of inadvertent introduction of malicious code into mobile device is actual as never before. The problem is getting even worse with that fact that a big part of used devices are personal which means that user can use them as he want, for example, connect to production servers with trade secrets, accounting, bank accounts, etc. In this article architecture and main problems of protecting Android operation systems such as types of malware and methods of their spreading were reviewed. Based on detected ways a policy that will minimize the likelihood of malware to device and save private data from leaks was developed. One of the methods is to use monitoring software. Using it user can analyze all of the systems and minimize risks. Developed software tool allows real-time monitoring of the system and all installed applications connections to the Internet.

Keywords: operating system Android, threat and vulnerability, information security, monitoring system, malware.

Вступ

На сьогоднішній день ринок мобільних пристроїв вже обігнав ринок персональних комп'ютерів. В той же час стрімке зростання обчислювальної потужності і можливостей мобільних пристроїв ставлять нові питання і проблеми в галузі забезпечення інформаційної безпеки. Поширення мобільних пристроїв тягне за собою зростання бажання заволодіти як фізично цими самими пристроями, так і інформацією, яка зберігається на них. Найбільше хакерів приваблює операційна система Android в силу своєї відкритості та широкої розповсюдженості [1]. Обсяги шкідливого коду ростуть з роками майже в геометричній прогресії. У зв'язку з високою популярністю пристроїв Android, в якому отримання root-прав робиться в пару дотиків, проблема встановлення додатків з недовіраних джерел, і, як наслідок, збільшення ймовірності ненавмисного впровадження шкідливого коду на мобільний пристрій, актуальна як ніколи [2].

У своїх дослідженнях В. В. Казимир та І. І. Карпачев [3] довели, що, на практиці, антивірусний захист надає обмежену безпеку, або навіть її ілюзію, а Saad M. H., Serageldin A., Salama G. [4] у своїй праці довели, що лише користувач є винним у несанкціонованому доступі до власних даних, винятком є лише вразливості у оновленнях ОС. На сьогоднішній день існує багато програмних та організаційних методів, в

яких розглядаються питання забезпечення безпеки, проте основна проблема посилюється так само тим, що значна кількість використовуваних пристроїв є особистими, а це означає, що працівник може обходитися з ним на власний розсуд, і, разом з тим, звертатися до робочих серверів з чутливими даними, таємницями, бухгалтерією, банківськими рахунками, тощо.

Метою статті є покращення стану інформаційної безпеки мобільних пристроїв, шляхом аналізу головних загроз, способів їх проникнення в систему за рахунок моніторингу та аудиту програмних додатків, встановлених на мобільних пристроях.

Аналіз ОС Android

ОС Android за невеликий проміжок часу стала однією з найпопулярніших систем для різноманітних мобільних пристроїв [1]. Її використовують як великі виробники зі світовим ім'ям, так і невеликі компанії, тому ціновий діапазон готової продукції, такої як смартфони і планшетні комп'ютери, дозволяє задовольнити потреби споживачів практично на сто відсотків. Саме широкий асортимент, гнучке ціноутворення та підтримка платформи з боку значного числа виробників стали одними з головних чинників успіху і дозволили системі зайняти нинішній стан на ринку.

Однак така величезна кількість користувачів просто не могла залишитися без уваги з боку зловмисників. Побудувавши на розробці і поширенні шкідливих програм цілу індустрію зі своїми законами, вони стали вкрай небайдужі до будь-яких джерел легкої наживи. Разом із розвитком технологій створюються нові типи шкідливого програмного забезпечення. Більша частина ШПЗ створюється як для розповсюдження реклами, так і використовуючи вразливості у системі або неухважність користувача, для серйозних атак, наприклад на системи мобільного банкінгу або проникнення у корпоративні системи. На рис. 1 зображено найбільш розповсюджені типи ШПЗ за 2015-2016 рр. [2].

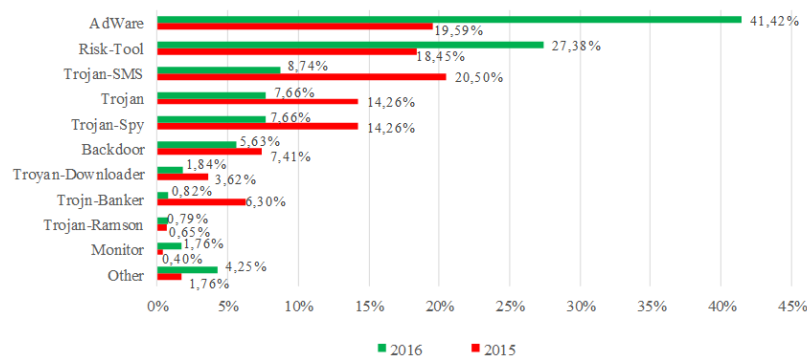


Рис. 1. Розподілення мобільних загроз за типами за 2015-2016 рр.

Таке розповсюдження ШПЗ розробленого під ОС Android зумовлено, зокрема, архітектурою (рис. 2).

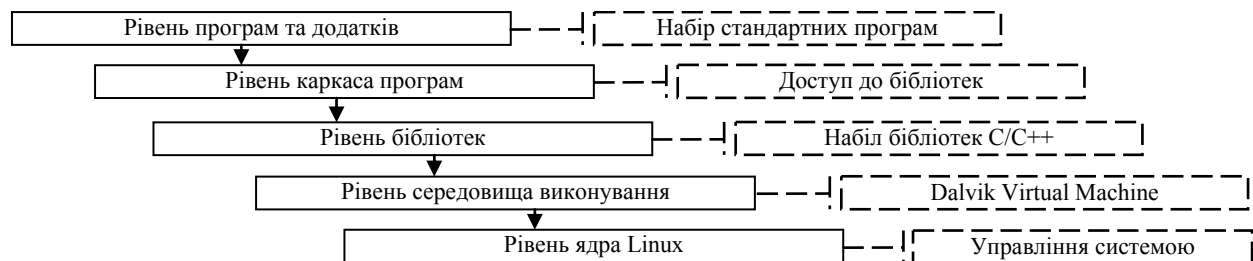


Рис. 2. Архітектура ОС Android

Архітектура ОС Android побудована таким чином, що всі програми працюють з обмеженими правами і не мають доступу до захищених даних інших додатків [5].

На рівні ядра розташовуються основні служби управління процесами, пам'яттю, файловою системою. Хоча і створено ядро Android на ядрі Linux, сама ж система Android не є чистою Linux-системою, вона містить деякі відмінності і має додаткові специфічні розширення ядра - власні механізми розподілу пам'яті, взаємодії процесів тощо [5].

Середовище виконання – це віртуальна машина DalvikVirtualMachine, яка грає роль деякого шлюзу. Дозволяє програмам отримувати доступ до кореневих бібліотек ОС Android, забезпечуючи тим самим необхідну функціональність Java-програм [6]. Хоча Dalvik VM істотно відрізняється від Java VM. Над системними бібліотеками і функціональними бібліотеками віртуальної машини розташовуються основні служби управління операційної системи. Це так звані «менеджери», кожен з яких відповідає за свої операції, використовувани програмами. Виконувани програми можуть включати в себе набір менеджерів взаємодії (менеджери діяльності, пакетів, вікон, ресурсів тощо) [7].

Набір бібліотек C/C++, таких як OpenGL, SGL 2-D графіки, WebKit, бібліотеки шрифтів, SSL,

бібліотеки підтримки *libc*, баз даних *SQLite* і мультимедіа-бібліотек (*MediaFramework*) використовуються різними компонентами ОС *Android*. Їх ще називають «кореновими бібліотеками» [8].

Використання каркаса додатків *ApplicationFramework* дозволяє отримати розробникам доступ до функцій цих бібліотек, основними з яких є *SSL* (забезпечує безпечну передачу даних по мережі) та *MediaFramework* (потрібні для реалізації задач запису та відтворення аудіо- та відеоконтенту).

Під рівнем додатків мається на увазі набір стандартних програм для пристроїв, за допомогою яких можна здійснювати основні характерні для них операції: програма для управління контактами, телефонії і *SMS*, поштовий клієнт, вбудований браузер, програми для визначення місця розташування, пошуку адрес на карті, калькулятор, організатор тощо [9].

Однією з особливостей ОС *Android*, яка зумовлює проблеми з безпекою, є те, що стандартні програми не відрізняються пріоритетом від стороннього ПЗ призначеного для користувача рівня додатків, а тому перші можна замінити альтернативними, на свій смак, проте такий підхід дозволяє зловмисникам впроваджувати ШПЗ у ОС *Android* і отримувати ті самі права, що і легальне ПЗ.

Шляхи потрапляння ШПЗ можуть бути різними (рис. 3): від звичайного *SMS*-повідомлення до заздалегідь розробленої та точної атаки на конкретну людину.

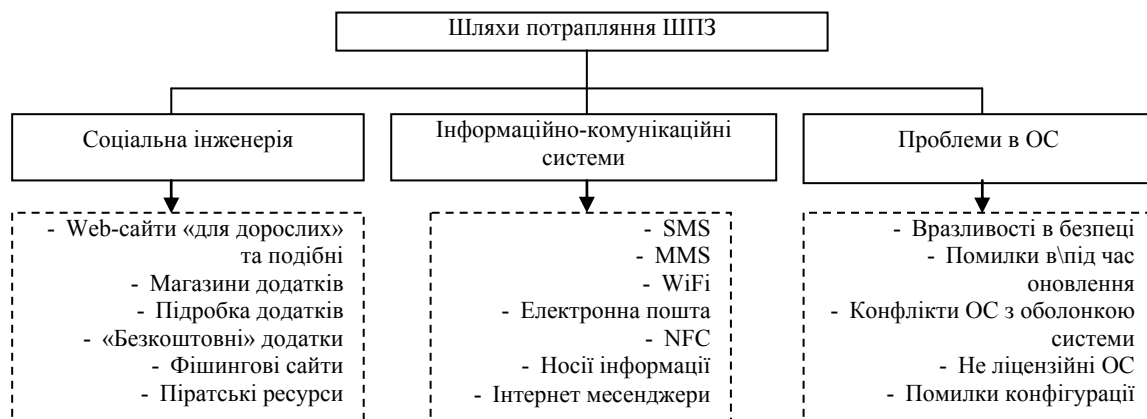


Рис. 3. Шляхи потрапляння ШПЗ на *Android*-пристрій

Щороку з'являються нові технології, які впроваджуються розробниками пристроїв та активно використовуються користувачами в подальшому. Кожна така технологія не може одразу тестуватися в усіх ймовірних сценаріях роботи, тому, зазвичай, саме в них міститься найбільша кількість вразливостей. Також, часто розробники встановлюють поверх самої ОС *Android* власну графічну оболонку з ексклюзивними налаштуваннями та функціями, які можуть суперечити політиці *Google* та конкурувати з їх сервісами [10]. Проте найбільш небезпечними залишаються методи соціальної інженерії, оскільки вони опираються на психологічні особливості людини. Часто, отримуючи ту чи іншу інформацію за допомогою різних сервісів миттєвих повідомлень, можна також отримати небажаних «гостей» на власний пристрій. Велику небезпеку становлять публічні або недовірені мережі, оскільки будь-хто може перехоплювати або змінювати інформацію під час сеансу [11].

Після потрапляння будь-якого ШПЗ на *Android*-пристрій, жертва ще довго може нічого не знати про це. Більшість таких додатків маскуються та чекають нагоди для виконання своїх задач. Так, деякі з них, можуть при підключенні до мережі Інтернет одразу надіслати вкрадену конфіденційну інформацію, а інші чекають, наприклад, поки користувач не використає свої банківські реквізити.

Можна виділити декілька факторів, які допоможуть визначити, що пристрій було уражено [8, 9, 11–13]: великі рахунки за телефон (*SMS*, *MMS*, трафік тощо), обмеження доступу до даних, витрати мережевого трафіку, великі витрати заряду акумулятора, увімкнення сервісів без відома власника, зниження продуктивності пристрою, велика кількість реклами, поява великих банерів з різними вимогами оплати, постійні помилки та припинення роботи додатків, неможливість увімкнення/вимкнення окремих функцій пристрою, поява незнайомих додатків, неможливість видалення додатків.

Однією з головних проблем безпеки при роботі з ОС *Android*, завжди залишався людський фактор. Якою б захищеною не була операційна система, безтурботність, неуважність, самовпевненість і проста необізнаність рано чи пізно може зіграти поганий жарт з користувачем. Наприклад, впевненість користувача в тому, що йому нічого не загрожує, змушує його ігнорувати засоби безпеки, такі як додатки з невідомих джерел. У разі застосування зловмисниками привабливих пропозицій, наприклад, завантаження безкоштовних версій платних додатків та ігор, використовується прагнення людей отримати вигоду без втрат для себе. Коли підробляється відомий сайт, гра або додаток, а користувач при цьому недосвідчений, він може і не усвідомлювати, що піддається якомусь ризику, встановлюючи ту чи іншу програму або вводячи свою конфіденційну інформацію. Само по собі ШПЗ не може потрапити на пристрій жертви, тому в своєму арсеналі зловмисники завжди мають методи соціальної інженерії [12].

Відомо, що антивірусні засоби в ОС *Android* не завжди виконують поставлені на них задачі, а за часто і самі містять функції шкідливого програмного забезпечення [7]. Найбільш дієвим захистом є

уважність користувача, адже саме він завантажує та дозволяє, в тому числі, підозрілі функції. Для того, щоб уникнути зараження ШПЗ в першу чергу необхідно дотримуватися таких рекомендацій [12–14]:

- не переходити за невідомими джерелами, особливо тим, які отримали в SMS, е-пошти тощо;
- не встановлювати недовірені («кастомні») прошивки;
- без необхідності та досвіду, не отримувати права суперкористувача;
- увімкнути функції «Блокування повторної активації» та «Заборона додатків з невідомих джерел»;
- користуватися перевіркою безпеки додатків Google;
- вимикати послугу автоотримання MMS;
- перевіряти права доступу при встановленні додатків;
- завжди встановлювати найактуальніші оновлення;
- не вмикати функцію «автоплатіж» з банківських, чи інших карт;
- не користуватися публічними або недовіреними мережами;
- періодично робити backup важливої інформації;
- використовувати шифрування;
- використовувати засоби для моніторингу.

Якщо ж ШПЗ потрапило на пристрій, в залежності, що це саме за додаток, є різні методи його видалення, але найбільш дієвим завжди було та є повне скидання до заводських налаштувань.

Розробка засобу для моніторингу

Хоч і антивіруси не в змозі повністю захистити від ШПЗ, але деякі типи програмного засобу допоможуть у виявленні таких додатків, а саме засоби моніторингу процесів та ресурсів [14].

Засоби для моніторингу призначені для того, щоб в режимі реального часу можна було бачити, що відбувається з системою та її складовими. Наприклад, моніторинг використання пам'яті, енергій акумулятора, активності тощо. Часто записи здійснені під час моніторингу використовують при поломці або у випадку некоректної роботи пристрою. Моніторинг може бути активним і пасивним, під час якого здійснюється цілодобове спостереження та логування усіх дій системи, від зміни файлу до перепадів температури акумулятора, для подальшого аудиту. Активний моніторинг передбачає імітацію реального втручання або атаки на систему [15].

Саме тому, що системи моніторингу здатні слідкувати за будь-якими діями та змінами в системі, вони є найбільш дієвим засобом захисту від зламу мобільних пристроїв.

Розроблений засіб для моніторингу дозволяє отримувати інформацію про вхідний/вихідний трафік кожного системного або встановленого додатку з правами на використання мережі Інтернет. Більшості ШПЗ потрібно мати вихід до мережі для завантаження додатків, файлів, отримання інструкцій від розробника, передавання конфіденційної інформації тощо.

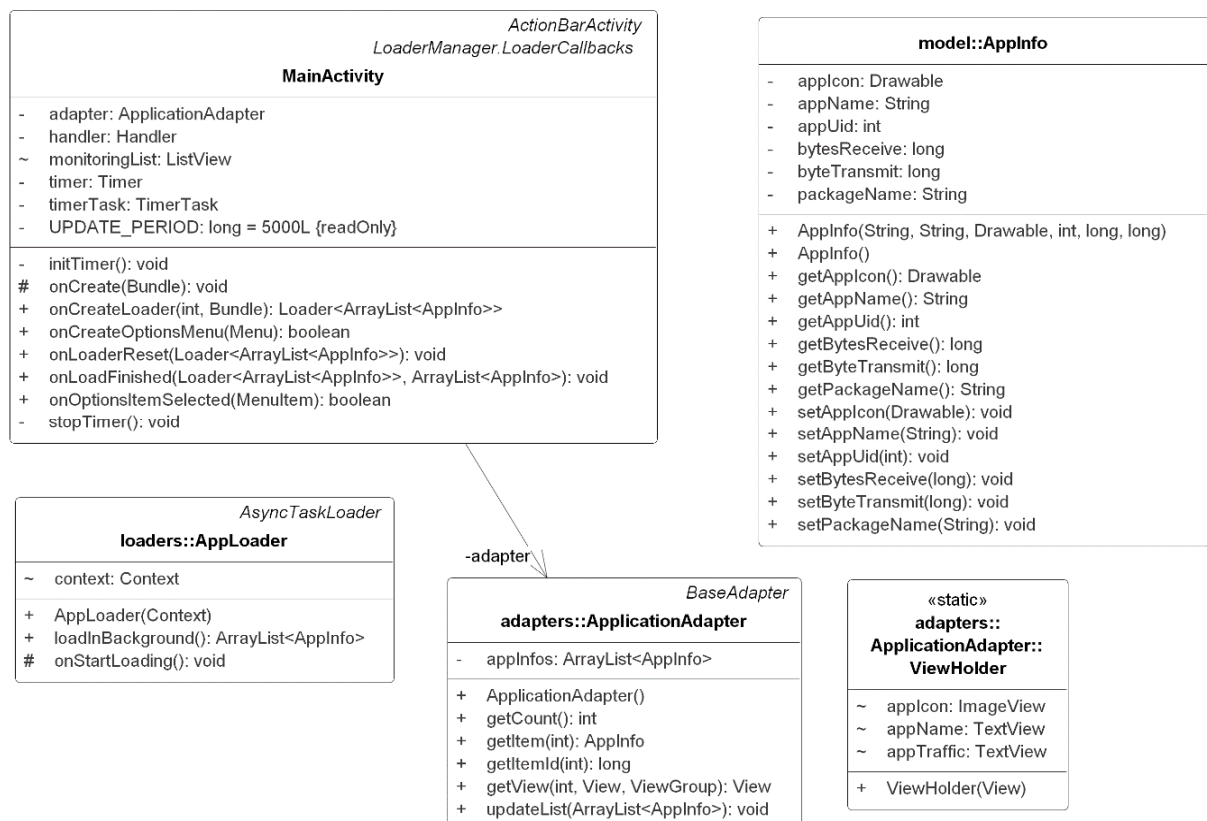


Рис. 4. UML-діаграма додатку для моніторингу

Для роботи програмному засобу для моніторингу необхідно отримати від операційної системи повний список усіх встановлених та системних програмних пакетів. Для аналізу отриманого списку додатків на наявність у них прав для доступу до мережі Інтернет, програмний засіб звертається до менеджера додатків із запитом перевірки системи дозволів кожного додатку. Отримавши інформацію, формується новий список, в якому відсіюються додатки без доступу до мережі Інтернет, і потім виводиться у сортованому вигляді на інтерфейс користувача та додається інформація про вхідні/вихідні дані кожного додатку. UML-діаграму розробленого додатку зображено на рис. 4.

Відповідно до структури, додаток поділено на частини (модулі), в яких відбуваються спеціалізовані процедури. В класі MainActivity відбувається пошук додатків, ініціалізація таймерів, слухачів, завантажувачів, прив'язка графічної частини до коду і вся обробка даних. В класі AppLoader відбувається пошук додатків, які використовують мережу Інтернет в окремому потоці. Клас ApplicationAdapter виконує обробку даних для створення списку. Клас ViewHolder формує і обробляє кожен елемент списку. Клас AppInfo це аналог класу POJO, тобто клас створений лише для збереження даних (Data class).

Розробка даних програмних продуктів була проведена за допомогою об'єктно-орієнтованої мови програмування Java у середовищі програмування AndroidStudio. Після встановлення та запуску, додаток автоматично відфільтрує та відсортує усі програмні засоби та відобразить їх у зручній для користувача формі (рис. 5, а).

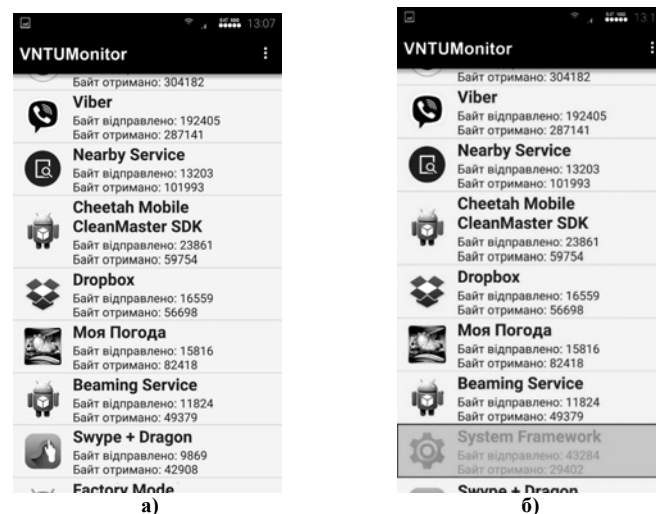


Рис. 5. Вигляд вікна з функціонуванням додатку
(а – при запуску додатку; б – із появою нового шпигуна)

Для тестування було створено програмний засіб для несанкціонованого отримання конфіденційної інформації. Додаток створений без інтерфейсу, не відображається у «Меню додатків» пристрою та має системну назву та іконку. Після встановлення, засіб одразу передає конфіденційну інформацію на сервер.

Кожного разу, після запуску додатку для моніторингу відбувається повторна перевірка системи на наявність нових додатків. Якщо такі є, то, для зручності аналізу, такі додатки підсвічені іншим кольором. Як видно із рис. 5, б, новий додаток було одразу ідентифіковано.

Таким чином, разом із користувачем, додаток може забезпечити досить надійний захист від несанкціонованого доступу до персональних даних. Звісно від зараження пристрою, крім людської уважності, не може захистити нічого, але, якщо все ж таке станеться, то розроблений програмний засіб допоможе знайти та позбутися шкідливого додатку.

Висновки

Отже, було розглянуто основні проблеми захисту ОС Android, а саме види шкідливого програмного забезпечення та способи їх поширення. На основі виявлених причин розроблено рекомендації, дотримання яких дозволить зменшити ймовірність потрапляння ШПЗ на пристрій та зберегти конфіденційні дані від витоку. Показано, що існуючі методи не можуть гарантувати повної захищеності, оскільки однією з головних проблем безпеки при роботі з ОС Android є людський фактор. Якою б захищеною не була операційна система, безтурботність, неуважність, самовпевненість і проста необізнаність рано чи пізно піддає небезпеці власника смартфона. Будь-який ліцензійний, або навіть додаток для захисту самого ж пристрою, може нести в собі додаткову приховану функцію.

Одним із методів вирішення проблеми є використання програм-моніторів. З їх допомогою користувач може самостійно аналізувати усі дії системи. Реалізований програмний засіб дозволяє у режимі реального часу слідкувати за доступом до мережі Інтернет усіх встановлених та системних додатків. Це дає можливість проведення аудиту інформаційної безпеки мобільного пристрою та дослідження комп'ютерних інцидентів.

Література

1. AndroidSecurityBulletin — January 2017 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://source.android.com/security/bulletin/2017-01-01.html> – Назва з екрану
2. Мобильные вирусы и угрозы. Статистика [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.kaspersky.ua/internet-security-center/threats/mobile/>
3. Karpachev I., Kazymyr V. Functional security in an ANDROID mobile architecture / I. Karpachev, V. Kazymyr // Вісник Чернігівського державного технологічного університету. – 2015. – № 1 (77).
4. Saad M. H., Serageldin A., Salama G. I. Android spyware disease and medication / M. H. Saad, A. Serageldin, G. I. Salama // Information Security and Cyber Forensics (InfoSec), 2015 Second International Conference on. – IEEE, 2015. – С. 118–125.
5. Mark L. Murphy. The Busy Coder's Guide to Android Development / Mark L. Murphy // Commonsware, LLC. – 2013. – 443 p.
6. Understanding security on Android. URL: <http://www.ibm.com/developerworks/library/x-androidsecurity>.
7. Fedler R. Android OS security: risks and limitations / R. Fedler, C. Banse, C. Kraub, V. Fuesing. – 2012. – P. 19–27.
8. Mobile application security on android, context on android security / J. Burns // BlackHat. – 2009. – 27 p.
9. Ratazzietal P. A systematic security evaluation of android's multiuser framework / P. Ratazzietal // Proc. IEEE MoST, 2014. – P. 1–10.
10. Fedler R. Effectiveness of malware protection on android and evaluation of android antivirus apps / R. Fedler, J. Schutte, M. Kulicke // Applied and integrated security. – 2014. – P. 7–13, 26–32.
11. Мелешко О. О. Способи захисту інформації з обмеженим доступом в мобільних пристроях від витоку / О. О. Мелешко, О. С. Болотнікова // Сучасний захист інформації. – 2016. – № 1.
12. Войтович О. П. Дослідження інцидентів безпеки в ОС Android / О. П. Войтович, М. В. Гурський // Тези доповідей XLV Науково-технічної конф. Вінницького національного технічного університету / ФІТКІ – Вінниця, 2016.
13. Вирусология от SAMSUNG [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.samsung.com/ru/support/skp/faq/1095966> – Назва з екрану
14. Zhou Y. Dissecting android malware: Characterization and evolution / Y. Zhou, X. Jiang // Security and Privacy (SP), 2015 IEEE Symposium on. – IEEE, 2015. – С. 95–109.
15. Мельников Д. А. Информационная безопасность открытых систем : учебник / Мельников Д. А. – М. : ФЛИНТА, 2013. – 442 с.

Отримана/Received : 9.5.2017 р. Надрукована/Printed : 11.6.2017 р.
Рецензент: д.т.н., проф. Мартинюк Т.Б.

ВПРОВАДЖЕННЯ СТАНДАРТУ IEEE 1901 ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ ПО ПРОВОДОВИХ ЛІНІЯХ

Для забезпечення послуг телекомунікацій розроблено та впроваджено сучасні протоколи передачі інформації через проводові лінії. Представлено застосування протоколів IEEE 1901 для організації телекомунікаційних мереж із застосуванням існуючих силових ліній.

Ключові слова: проводова лінія, силова лінія, телекомунікації

K.L. HORIASCHENKO, V.P. NEZDOROVIN, V.S. KOVAL
Khmelnytskyi National University

IMPLEMENTATION OF IEEE 1901 FOR DATA TRANSFER OVER POWERLINES

Modern protocols were developed to provide support for communications over conductor lines. One of the new telecommunication protocol known as IEEE 1901 used to create telecommunication web over power lines.

Keywords: conductor line, power line, communications.

У 2000 році група мережевих і електронних фірм, створили альянс HomePlug Powerline Alliance з метою стандартизувати powerline технології для домашніх мереж. Ця група підготувала ряд технічних стандартів названих "HomePlug." Перше покоління HomePlug 1.0, була завершена в 2001 році забезпечувала пікову швидкість 14 Мбіт/с, стандарт другого покоління отримав ім'я HomePlug AV, був введений в серпні 2005 року, забезпечував достатню високу пропускну спроможність для додатків, таких як HDTV і VOIP. HomePlug AV пропонує пікову швидкість передачі даних 200 -500 Мбіт/с. Специфікація HomePlug AV2 була введена в січні 2012 року, вона сумісний з HomePlug AV і підтримує швидкість до 1 Гбіт/с.

У основі передачі інформації по електропроводці лежить принцип частотного розділення сигналу: високошвидкісний потік даних розбивається на декілька повільніших потоків, кожен з яких передається в окремій смузі частот, накладаючись на несучу частоту (рис. 1).

Проблема загасання сигналу на певній частоті вирішується шляхом динамічного включення і виключення передачі. На практиці пристрій HomePlug AV в режимі реального часу стежить за каналом передачі даних і у разі виявлення ділянки частотного спектру із затухаючим сигналом тимчасово припиняє його використання. Саме тому адаптери HomePlug AV не можуть працювати через мережеві фільтри (хоча випускаються фільтри, сумісні з HomePlug) і джерела безперебійного живлення, а вимагають включення безпосередньо в розетку електромережі. Підвищення швидкості з'єднання досягається приблизно також, як в мережах Wi-Fi 802.11n, збільшенням ширини використовуваного діапазону, при цьому, на відміну від безпроводних мереж, розробникам не доводиться займатися пошуком вільних частот і їх ліцензуванням, значення мають лише фізичні характеристики електропроводки. Відмітимо, що дроти, прокладені в різних країнах в різні роки, вельми розрізняються, що безпосередньо впливає на досяжну швидкість і надійність зв'язку. [1]

Для кращого розуміння розглянемо технологію PLC, розділивши її на два види — вузькосмугову і широкосмугову PLC. Вузькосмугова технологія PLC застосовується на частотах 3–500 кГц, характеризується відносно невисокими швидкостями передачі даних (до 100 Кбіт/с) і достатньо великим радіусом дії (до декількох кілометрів), який збільшується за рахунок повторителів. Широкасмугова PLC застосовується на вищих частотах (1,8–250 МГц, до 100 Мбіт/с) і працює на відносно невеликих відстанях (див. табл. 1).

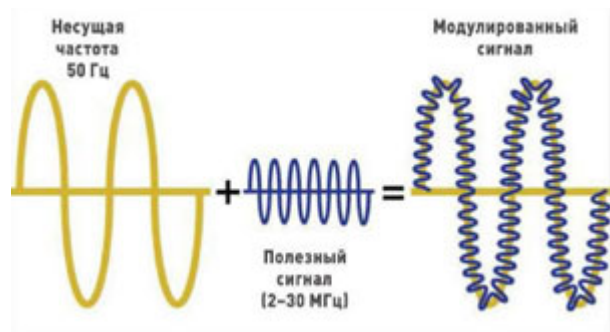


Рис. 1. Принцип формування сигналу

Таблиця 1

Класифікація PLC-технологій за швидкостями передачі даних

	Низька швидкість	Середня швидкість	Висока швидкість
Швидкість передачі даних	0–10 Кбіт/с	10 Кбіт/с. 1 Мбіт/с	> 1 Мбіт/с
Модуляція	BPSK, FSK, SFSK, QAM	PSK+OFDM	PSK+OFDM
Стандарти	IEC 61334, ANSI/EIA 709.1, .2, UPB	PRIME, G3, P1901.2	G.hn, IEEE 1901
Діапазон частот	До 500 кГц	До 500 кГц	Одиниці МГц
Додатки	Управління і контроль	Управління і контроль; голосові дані	Широкасмугова передача даних по електромережі; домашні мережі

У PLC-связи використовується безліч схем модуляції. До найбільш відомих з них відносяться OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), BPSK (Binary Phase Shift Keying), FSK (Frequency Shift Keying), S-FSK (SPREAD-FSK), а також запатентовані схеми, наприклад, DCSK (Differential Code Shift Keying) компанії Yitran. У таблиці 2 схеми BPSK, FSK, SFSK і OFDM порівнюються по двох основних критеріях — ефективності використання смуги частот і вартості.

Таблиця 2

Параметри стандартів для вузькосмугового PLC-связи

Стандарт	Технологія	Смуга частот, кГц	Швидкість передачі, Кбіт/с
G3-PLC	OFDM	36–90,6	5,6–45
PRIME	OFDM	42–89	21,4–128,6
IEEE P1901.2	OFDM	9–500	очікується
ANSI/EIA 709.1, .2	BPSK	86, 131	3,6–5,4
KNX	S-FSK	125–140	1,2
IEC61334	S-FSK	CENELEC-A	2,4

Наприклад, OFDM забезпечує високу швидкість передачі даних, але вимагає великої обчислювальної потужності для виконання БПФ (швидких перетворень Фур'є) і зворотних БПФ. З іншого боку, простішими і надійнішими методами є BPSK і FSK, які, проте, характеризуються відносно низькими швидкостями передачі даних. В даний час склалася тенденція переходу на OFDM з PSK-модуляцією (G3 і, ймовірно, P1901.2). Для таких ресурсоемних обчислень потрібний DSP, тоді як модуляція виду FSK, PSK і SFSK здійснюється за допомогою мікроконтролера.

Для реалізації надійного зв'язку і технологічної сумісності, в першу чергу, для інтелектуальних мереж електроживлення і домашніх мереж, було розроблено немало стандартів (див. табл. 3).

Таблиця 3

Діапазони частот, виділені під вузькосмуговий PLC-связь в різних регіонах миру

Регіон	Регулюючий орган	Смуга частот, кГц	Примітка
Європа	CENELEC*	3–95	A — постачальники енергії
		95–125	B — призначений для користувача резерв
		125–140	C — призначений для користувача резерв, рег. CSMA-доступ
		140–148,5	D — призначений для користувача резерв
Японія	ARIB**	10–450	
Китай	EPRI***	3–90, 3–500	Нерегульований
США	FCC****	10–490	

Для сіток Cenelec A, B, D рівень протоколу визначається стандартами або патентами. Для сітки Cenelec C визначений доступ за стандартом CSMA (Carrier Sense Multiple Access – множинний доступ з контролем тієї, що несе).

Основними областями застосування PLC модемів є

- Лічильники електроенергії
- Управління освітленням
- Домашня автоматика
- Промислова автоматика
- Сонячна енергетика
- Зарядні пристрої для електромобілів (EVSE)

Інтерес до узкополосной технології PLC зростає завдяки її застосуванню в інтелектуальних енергомережах. Цей вид PLC також використовується в інтелектуальних системах генерації, зокрема, в мікроінверторах для панелей сонячних батарей.

Щодо практичної сторони, впровадження протоколу IEEE1901 PLC знайшло своє відображення в практичному створенні апаратної реалізації готових чипсетів. Наприклад Qualcomm QCA7450 [2] фірми Qualcomm Technologies, Inc. сумісний з протоколами IEEE 1901 та HomePlug AV2 та вже впроваджені HomePlug AV1, та за інформацією виробника здатний забезпечити швидкість потоку до 500 Мбіт/с. Серед виробників, що підтримують стандарт PLC є цілий ряд відомих фірм, це: Cypress Semiconductor; Echelon; ST Microelectronics; Yitran; Texas Instruments; Maxim; Semitech Semiconductor; Ariane Controls; ADD Semiconductor; Microchip.

Як приклад, на основі Qualcomm QCA7450 створено Powerline-адаптер (мост) TP-LINK TL-PA6010 при вартості від \$20, параметри якого наведено в таблиці 3.

Параметри адаптера TP-LINK TL-PA6010

Параметр	Значення
Стандарти	HomePlug AV 1.0 (частично 2.0), IEEE802.3 (u/ab), IEEE1901
Чипсет/контроллер	Qualcomm QCA7450
Пам'ять	RAM 16 Мбайт/ROM 1 Мбайт
Шифрування	AES-128
Максимальна швидкість	до 600 Мбит/с; підтримка QoS, IGMP; відстань до 300 м
Інтерфейси	1 x 10/100/1000 Мбит/с; вилка CEE 7/16
Потужність споживання	До 3 Вт

Широкопasmовий PLC-зв'язок, головним чином, знаходить застосування в рішеннях останньої милі для інтернет-мереж. Оскільки цей вид PLC забезпечує високі швидкості передачі даних і не вимагає додаткової прокладки кабелів [4], цей зв'язок є найбільш ефективною для мультимедійних побутових додатків, що підтверджується кількома нещодавніми поглинаннями відповідних компаній в сегменті домашніх мереж. Так, наприклад, Atheros придбала Intellon; Sigma - Coppergate; Marvell - DS2, а Broadcom - компанію Giga-Byte.

Впровадження стандарту PLC для промислової автоматизації

Технологія PLC використовується для створення інтелектуальної енергомережі [3]. У новій інфраструктурі введено двосторонній зв'язок між споживачами і комунальним підприємством. Споживачі користуються домашніми мережами для зняття показань інтелектуального лічильника, дані з якого надходять в компанію з енергозбуту.

Поняття інтелектуальної мережі не обмежено новими можливостями споживання - електроенергія, вироблена сонячними панелями або вітровими турбінами також надходить в загальну електромережу. Система розподілених джерел генерації енергії реалізує концепцію V2G (vehicle-to-grid) - концепцію двостороннього використання електромобілів і гібридів, що припускає не тільки підключення машини в загальну мережу для підзарядки, а й віддачу зайвої електроенергії.

Архітектура мережі автоматизованого зв'язку приладів обліку

PLC-системи дуже популярні у багатьох енергокомпаніях, тому що забезпечують надійну передачу даних по контрольованій інфраструктурі. Ці компанії можуть також використовувати стільникові мережі загального користування для доставки даних АМІ завдяки малим витратам і низькою щомісячній платі. Однак у багатьох випадках стільникові мережі не забезпечують стовідсоткового покриття всіх споживачів електроенергії.

Інфраструктура АМІ являє собою систему для вимірювання та збору даних, в яку входять лічильники споживача, мережі зв'язку між споживачем і постачальником послуг з постачання електрикою, газом або водою, а також системи прийому даних і управління, які доставляють інформацію постачальнику. Інтелектуальні лічильники передають зібрані дані по існуючим PLC-мережах, мережах з фіксованою радіочастотою і мережах загального користування (наземним, стільниковим і пейджинговим). Ці дані збираються концентратором, відправляються в компанію з енергозбуту, а потім в систему управління даними приладів обліку для зберігання, аналізу і білінгу.

Дослідження показали, що вузькосмугові PLC-мережі найкращим чином підходять для інфраструктури АМІ, яка налічує на поточний момент понад 100 млн встановлених пристроїв по всьому світу. У системи АМІ компанії інвестують мільярди доларів.

На відміну від бездротових технологій, PLC-рішення для передачі даних не вимагають створення нової інфраструктури, оскільки використовують існуючі силові кабелі. Використання бездротових мереж, РЧ-рішень або PLC-зв'язку для передачі даних може стати доступним альтернативним рішенням.

Одним з найбільш важливих питань при експлуатації інтелектуальної енергомережі є необхідність знизити її інформаційне перевантаження. Особливо цікава стійкість PLC мережі до збоїв за умов постійного включення різноманітного силового обладнання до такої мережі [5]. Проте у порівнянні з бездротовими рішеннями на основі ZigBee або Wi-Fi, інфраструктура АМІ на базі PLC-технології вже на практиці довела, що вона в більшій мірі дозволяє уникнути такого перевантаження. Крім того, лінії електропередачі дозволяють з меншими витратами виконати ще одну поширену вимогу до побудови каналів зв'язку – забезпечити їх надлишковість.

PLC-зв'язок використовується для: дистанційного контролю; управління подачею електрики (включаючи виявлення збоїв в роботі обладнання); управління споживчим попитом у відповідності з умовами подачі електроенергії мережею; виявлення і відключення подачі електроенергії в неконтрольовані ділянки мережі і виявлення фактів шахрайства або крадіжки.

Негативні очікування впровадження технології PLC

По-перше, мережі електроживлення не пристосовані під передачу даних і поводяться як НЧ-фільтри [4]. Моделювання каналів зв'язку за такими лініями ускладнене зашумленою середовищем передачі, частотної

вибірковістю каналів, нестаціонарністю, флуктуаційним шумом і імпульсними завадами. Для збереження цілісності сигналу по лініях електропередачі потрібні надійні технології передачі даних і обладнання.

По-друге, структура мережі електроживлення в різних країнах різна. Те ж саме відноситься і до мережі всередині будинку. Не існує універсального стандарту ні для PLC-зв'язку, ні для енергомереж. Необхідно вжити заходів щодо забезпечення сумісності різних пристроїв.

По-третє, при відправці інформації особистого характеру по мереж електропередачі потрібно забезпечити її захищеність.

По-четверте, PLC-зв'язок має конкуренцію з боку інших засобів зв'язку як дротових так і бездротових. Вибір найкращої технології робиться виходячи з декількох критеріїв - вартості, складності системи і її можливості бути реалізованим. В даний час головними конкурентами узкополосной PLC-зв'язку є технології Zigbee, Wi-Fi, GPRS і RS-232.

Висновок

Таким чином, за останнє десятиліття широкий розвиток отримали технології передачі інформації по силових лініях для забезпечення як специфічних функцій – наприклад передачі інформації від лічильників, так і для реалізації задач побудови телекомунікаційних мереж широкого застосування. Як результат, контроль сталості первинних та вторинних параметрів силових ліній в часі також можна віднести до актуальних задач контролю проводних ліній зв'язку.

Література

1. AFE031. Powerline Communications Analog Front End. Datasheet. <http://www.ti.com/lit/gpn/afe031>.
2. Qualcomm Atheros Broadens HomePlug Portfolio with Introduction of New AV2 Chipset. [електронний ресурс] <https://www.qualcomm.com/news/releases/2012/10/16/qualcomm-atheros-broadens-homeplug-portfolio-introduction-new-av2-chipset>
3. Горященко К.Л. Провідникова лінія передачі як система / К.Л. Горященко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2014. – №2. – С. 182-186
4. Горященко К.Л. Огляд сучасних моделей провідникових ліній / К.Л. Горященко, В.С. Климчук // Вісник Хмельницького національного університету. – 2014. – №3. – С. 69-74
5. Горященко К.Л. Проблеми застосування фазового методу для визначення відстаней до пошкоджень в провідникових лініях / К.Л. Горященко // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2015. – №1. – С. 118-121

Отримана/Received : 25.4.2017 р. Надрукована/Printed : 11.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Троцишин І.В.

УДК 004.055

Є.Г. ГНАТЧУК, С.А. ДИКУН
Хмельницький національний університет

МОДЕЛЬ ОПРАЦЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ МОНІТОРИНГУ ДАНИХ КОРИСТУВАЧА В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОННОГО НАВЧАННЯ

В статті розглянуто принципи організації навчання на платформах e-learning з точки зору вимог та потреб користувача та проаналізовано поняття та склад моніторингу. На основі проведеного дослідження запропоновано модель опрацювання результатів моніторингу даних користувача в системах електронного навчання ґрунтується на основі нечіткої логіки та дає можливість враховувати вимоги користувачів, а не тільки розробників курсів та викладачів. Це досягається за рахунок врахування запропонованих критеріїв, що дають змогу видавати навчальний контент кожному конкретному користувачу за результатами моніторингу даних цього користувача.

Ключові слова: моніторинг, системи електронного навчання, модель опрацювання результатів, контент.

E.G. GNATCHUK, S.A. DYKUN
Khmelnitsky National University

MODEL OF ANALYSIS RESULTS THE MONITORING RESULTS OF USER DATA IN E-LEARNING SYSTEMS

The aim of research the principles of learning to e-learning platforms in terms of the requirements and needs of the user and analyzes the concept and content monitoring. Monitoring may be subject to user activity or competence. Based on the research of the model study results of the monitoring of user data in the e-learning system based on fuzzy logic, since not all of the criteria can be represented as numerical values. The model makes it possible to consider the proposed criteria for the formation of learning content any particular user of the monitored data and takes into account the requirements of users, not just developers of courses and teachers.

Keywords : monitoring, e-learning systems, model of analysis results, content.

Вступ. Лідером по використанню e-learning систем є США та Канада, а серед європейських країн – Великобританія, Німеччина, Італія та Франція. В США електронне навчання пропонують більше 200 університетів та тисяча коледжів, а кількість онлайн-курсів збільшується приблизно на 30–40%

щорічно. Ринок онлайн-освіти достатньо довгий час знаходився в стадії зародження, хоча перші спроби з'явилися ще в 90-і роки, а перший значний проєкт (MIT OpenCourseWare) з'явився у 2002 році, справжній злет ринку стався у 2012 році, коли були запуснені три найкрупніші проєкти: Coursera, EdX та Udacity [1]. Це призвело до того, що онлайн-освіта одразу стала популярною, а ринок онлайн-освіти зацікавив багатьох інвесторів.

За останні роки онлайн-освіта набула такої популярності, за якої проблема моніторингу та контролю навчальної діяльності користувачів є однією з ключових при проектуванні навчальних курсів та їх впровадженні.

З моніторингом даних користувача в системах e-learning виникають наступні питання, що саме моніторити:

1. Моніторинг активності користувача. При такому підході, користувачу, щоб йому був зарахований курс, необхідно пройти певну кількість навчального матеріалу та пройти поточний контроль. Такий підхід є самим простим в реалізації, але його недоліком є відсутність гарантії, що користувач дійсно отримує необхідні йому знання.

2. Моніторинг компетентності користувача у вивчаємому курсі, тобто важливим є не те, скільки занять пройшов користувач, а саме те, наскільки добре він орієнтується в матеріалі та вміє його використовувати.

Принципи організації навчання на платформах e-learning. Саме зараз постають надзвичайно актуальні питання персоналізації та оптимальності контенту який надається користувачеві. Ці питання можуть вирішити адаптивні освітні технології такі, як сервіси, додатки, програми та платформи адаптивного навчання, в яких електронний навчальний контент підстроюється під користувачів, тобто надається в потрібній формі, в потрібний момент та в оптимальній послідовності. Адаптивне навчання в загальному вигляді будується по одній схемі [2]. Спочатку виконується збір інформації про те, як навчається користувач, в яких задачах які помилки робить, з якою швидкістю читає, на якій картинці затримує увагу, тощо, потім за допомогою спеціальних математичних моделей та алгоритмів проводиться аналіз цієї інформації, і на останньому етапі відбувається підбір навчального контенту у відповідності з отриманими даними аналізу. На даний момент проєктів по адаптивному навчанню дуже мало, і основною особливістю є те, що всі існуючі проєкти не є конкурентними одне одному, так як використовують різний підхід. Наприклад, www.mathsgarden.com підбирає для молодших школярів оптимальні за складністю математичні задачі, www.cerego.com аналізує контент з точки зору запам'ятовування і пропонує студентам індивідуальний план по його вивченню. Потужна аналітична платформа Knewton збирає дані про навчання тисяч студентів і на основі їх опрацювання підбирає індивідуальні завдання, дає підказки та рекомендує партнерів для навчання [3]. За підтримки центру моніторингу якості освіти Вищої школи економіки науковий співробітник Дмитро Аббакумов розробляє програму Adaptivity Guide, яка має допомогти авторам курсів вносити в контент зміни, щоб покращити його засвоєння студентами на основі психометричних профілів студентів [4]. Під психометричними профілями студентів розуміється предметна підготовленість студентів, їх здатність до швидкої обробки інформації, збереженню концентрації уваги, до роботи з складною текстовою інформацією.

Поняття та склад моніторингу. Моніторинг – комплекс наукових, технічних, технологічних, організаційних та інших засобів, які забезпечують систематичний контроль (стеження) за станом та тенденціями розвитку природних, техногенних та суспільних процесів [2].

Методологічно моніторинг – це проведення низки однотипних замірів досліджуваного об'єкта і подальший аналіз, оцінка, порівняння отриманих результатів для виявлення певних закономірностей, тенденцій, змінних та їх динаміки [2].

Залежно від методології, моніторинг поділяється на:

- динамічний – аналізуються дані про динаміку розвитку або зміни об'єкта, явища або певної характеристики. Це найпростіший спосіб моніторингу, який використовується для аналізу відносно простих систем. Основною ціллю такого дослідження є встановлення тенденцій, а не виявлення їх причин чи передумов;

- конкурентний – паралельно за даною методологією досліджуються одна, кілька чи низка ідентичних або подібних систем. Дає можливість оцінити і порівняти показники систем, виявити різницю між ними, встановити переваги та недоліки;

- порівняльний – порівнюються окремі показники або результати більш комплексних досліджень, проведених за ідентичними критеріями, кількох систем одного рівня або вищих і нижчих систем. Такий підхід дає можливість рандомізувати показники, виявити причини, що збільшують або зменшують різницю між ними;

- комплексний – поєднує в собі методи дослідження, що використовуються у різних видах моніторингів.

Залежно від цілей моніторинг поділяється на:

- інформаційний – полягає у структуризації, накопиченні і розповсюдженні інформації;
- базовий (фоновий) – виявляє нові проблеми, небезпеки, тенденції до того, як вони стануть осмисленими на рівні управління. За об'єктом моніторингу організовується постійне спостереження з періодичним вимірюванням показників;

- проблемний – з'ясування закономірностей, процесів, небезпек, проблем, які вже відомі, і розуміння, усунення та коригування яких є важливим з погляду управління.

Налагоджування системи та здійснення процесу моніторингу передбачає виконання таких етапів: планування; підготовка та збір даних; аналіз даних; звітування; використання результатів.

Концептуальна модель опрацювання результатів моніторингу даних користувача. З точки зору авторів, в якості моніторингу, пропонується вести аналіз навчальної діяльності користувачів і використовувати для цього наступні критерії: комфортність; активність; ефективність; успішність; швидкість.

Визначимо зміст кожного критерію:

- 1) комфортність – максимальна кількість однакових типів файлів по скачуваності (визначається тип файлу комфортний для даного користувача);
- 2) швидкість – час переміщення користувача між темами в межах курсу;
- 3) успішність – успішне проходження двох третин курсу;
- 4) активність – кількість переходів користувача на сайті (число переходів);
- 5) ефективність – максимальна кількість однакових типів файлів по скачуваності та 50% успішно зданих тестів.

У загальному вигляді моніторинг, як метод збору інформації являє собою дослід, що періодично повторюється та надають об'єктивну інформацію про зміни об'єкта, який вивчається.

Таким чином, з точки зору процесу, моніторинг даних користувача представляється у вигляді послідовних процедур, зображених на рис. 1.

Можна зробити висновок, що при правильній, логічній організації навчального контенту користувач може легко, в будь-який, потрібний йому момент знайти та скористатися необхідною інформацією.

Важливим елементом є систематизація навчального контенту. Для користувача це надзвичайно економить час та збільшує продуктивність при пошуку та вивченні потрібних даних. Для розробників впорядкованість даних є не менш важливою ніж для користувача, адже він може в найкоротші терміни додати нову інформацію в потрібний розділ, або змінити дані, які не є сталими, а редагуються відповідно до змін у світі. Вимогою до наданої в навчальному контенті інформації є точність. Оскільки курси вивчають такі користувачі, більшість з яких не стикалася раніше з подібною інформацією, то викладені теми формують базові знання та процес майбутнього навчання. Саме тому, важливо не лише перевіряти усе, що вноситься до навчального контенту, а й постійно оновлювати дані, та розміщувати їх в порядку оновлення, аби користувач вчасно міг помітити ці зміни. Більшість доступних користувачеві курсів взаємопов'язані між собою, а також доповнюють один одного. Тож дані в них не повинні бути суперечливими. Враховуючи те, що в різних підручниках можуть бути викладені різні точки зору кожного окремого вченого при організації навчального контенту потрібно подавати інформацію не суб'єктивно, а об'єктивно. Це забезпечить користувачеві можливість вибору при вивченні різного роду питань.



Рис. 1. Процес моніторингу даних користувача

Отже, модель опрацювання результатів моніторингу даних користувача спрямована на скорочення часу роботи та підвищення продуктивності праці під час сприйняття інформації користувачем, на основі запропонованих критеріїв, а також формування якісної бази знань системи електронного навчання.

Модель опрацювання результатів моніторингу даних користувача будується на основі запропонованих критеріїв. Оскільки не всі зазначені критерії можна оцінити за допомогою чітких чисел, то пропонується використовувати нечітку логіку, а саме нечіткі правила продукції, які дозволять врахувати інформацію всіх видів, яка виявляється в процесі моніторингу.

Модель опрацювання результатів моніторингу даних користувача на основі нечіткої логіки зображено у вигляді формули 1.

$$M_{nk} = (B_d, B_z, N_{pr}, V_{sv}), \quad (1)$$

де B_d – база даних користувача та результатів моніторингу, де дані організовані за певними правилами;

B_z – база знань, які містять інформацію щодо критеріїв;

N_{pr} – нечіткі правила, які використовуються при врахуванні критеріїв, що використовуються при формуванні результатів моніторингу;

V_{sv} – результати взаємозв'язку між системою та користувачем.

Отже, запропонована модель опрацювання результатів моніторингу даних користувача в системах електронного навчання ґрунтується на основі нечіткої логіки та дає можливість враховувати вимоги користувачів, а не тільки розробників курсів та викладачів. Це досягається за рахунок врахування запропонованих критеріїв, що дають змогу видавати навчальний контент кожному конкретному користувачу за результатами моніторингу даних цього користувача.

Висновки. Проведений аналіз показав, що системи електронного навчання дозволяють реалізувати додаткові можливості традиційного навчання, а також вирішити проблеми з навчанням географічно розподіленим персоналом, партнерами, клієнтами. На основі проведеного дослідження запропоновано модель опрацювання результатів моніторингу даних користувача в системах електронного навчання ґрунтується на основі нечіткої логіки та дає можливість враховувати вимоги користувачів, а не тільки розробників курсів та викладачів. Це досягається за рахунок врахування запропонованих критеріїв, що дають змогу видавати навчальний контент кожному конкретному користувачу за результатами моніторингу даних цього користувача.

Література

1. Advanced Distributed Learning. Sharable Content Object Reference Model (SCORM) 2004 / [перевод с англ. Е.В. Кузьминой]. – М. : ФГУ ГНИИ ИТТ "Информика", 2005. – 29 с.
2. Варенко В. М. Інформаційно-аналітична діяльність : навч. посіб. / В. М. Варенко. – К. : Університет «Україна», 2014. – 417 с.
3. Success for every student [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.knewton.com/results/>
4. Образование. Новости [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <https://www.hse.ru/news/edu/>

Отримана/Received : 14.4.2017 р. Надрукована/Printed : 11.6.2017 р.

Рецензент: д.т.н., проф. Мартинюк В.В.

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 № 13 від 25.05.2017 р.

Підп. до друку 28.5.2017 р. Ум.друк.арк. 19,63 Обл.-вид.арк. 25,53

Формат 30х42/4, папір офсетний. Друк різнографією.

Наклад 100, зам. № _____

Тиражування здійснено з оригінал-макету, виготовленого
редакцією журналу “Вісник Хмельницького національного університету”
редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63